# 지상파 3D HDTV 방송을 위한 수정된 ATSC 전송 시스템의 프레임 구조에 대한 연구

*오종규 **김준태

건국대학교

*riza@konkuk.ac.kr **jtkim@konkuk.ac.kr

# A frame structure of modified ATSC system for terrestial 3D HDTV broadcasting

*Oh, Jong-Gyu **Kim, Joon-Tae

Konkuk University

## 요약

본 논문에서는 지상파 3D HDTV 방송 서비스를 제공하기 위해 수정된 ATSC (Advanced Television Systems Committee) 전송 시스템 [2]을 위한 시변다중경로채널에 강인한 프레임 구조를 제안하고 성능을 측정하였다. 수정된 ATSC 전송 시스템 [2]은 기존 ATSC 전송 시스템[1]의 채널 부호화부를 수정하고, 변조 성상도를 증가 시키면서 적정한 수준의 TOV (Threshold of Visibility)에서의 전송 용량 증대 가능성을 확인하였다. 이를 토대로, 증가된 전송 데이터 전송률에 대한 순수 데이터 전송률을 최대한 보장하면서 시변다중경로채널에서 효율적으로 채널을 추정하고 복구하기 위해, ISI (Inter Symbol Interference)를 방지하기 위한 프레임 헤더의 보호구간에 알려진 PN (Pseudorandom Noise) 심벌을 삽입하였다. PN 심벌을 보호 구간에 이용할 경우 시간 영역에서 채널 임펄스 응답 (CIR: Channel Impulse Response)을 추정하여, 주파수 영역에서의 채널 보상을 가능케 하여 정확한 채널 추정 및 보상을 수행할 수 있다. 또한 수신기의 속도에 따른 다양한 최대 도플러 주파수가 존재하는 채널에 강인한 프레임 구조들을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 수정된 ATSC 전송 시스템에 제안된 프레임 구조를 적용하여 TU (Typical Urban)-6 채널에서의 SER (Symbol Error Rate) 성능을 측정하였다.

## 1. 서론

최근 들어 3D TV에 대한 연구가 영상 획득, 영상 압축, 그리고 영상 디스플레이 분야에 걸쳐 매우 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 지상파로 어떤 전송 기술을 사용하고 어떻게 채널을 할당하여 3D HDTV 를 서비스 할 것인지에 대한 논의는 아직 미미한 상태이다. 이에 논문 [2]에서는 3D HDTV 방송 서비스를 제공하기 위해 필요한 데이터를 단일 지상파 채널을 통하여 전송하기 위해서, 기존 ATSC 전송 시스템 [1]의 채널 부호화부를 수정하고 변조 성상도를 증가 시키면서 적정한 수준의 끊김 없는 영상을 수신하기 위한 최소 채널의 신호 대 잡음 비(TOV : Threshold of Visibility)에서의 전송 용량 증대 가능성을 확인하였다. 그 결과 TOV 값이 15.1 dB 일 때 24.11 Mbps, 그리고 TOV 값이 16.77 dB일 때 26.82 Mbps의 데이터 전송률을 가지는 수정된 ATSC 전송 시스템을 제안하였다 [2].

기존의 OFDM 전송 시스템이 ISI (Inter Symbol Interference)를 방지하기 위한 보호 구간에 사이클릭 프리픽스 (CP: Cyclic Prefix)를 삽입한고 채널 추정을 위해 프레임 바디 내에 알려진 파일럿 신호를 삽입한 것과는 달리, TDS (Time Domain Synchronous)-OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송 시스템에서는 보호 구간에만 시간 축에서의 PN (Pseudorandom Noise) 심벌을 삽입하여 ISI를 방지하고 채널 추정 또한 가능케 하였다 [3]. 이를 통해 기존의 OFDM 전송 시스템에 비해 순수 페이로드 전송률을 높일 수 있는 장점을 가지고 있다. 수정된 ATSC 전송 시스템과 OFDM 시스템이 변조 방식은 틀리지만, TDS-OFDM 전송 시스템의 보호 구간에 삽입되는 PN 심벌은 시간 축에서 전송이 되므로 수정된 ATSC 전송 시스템의 프레임 구조에 이용될 수 있다. 또한 PN 심벌을 보호 구간에 이용할 경우 시간 영역에서 채널 임펄스 응답 (CIR: Channel Impulse Response)을 추정하여, 주파수 영역에서의 채널 보상을 가능케 하여 정확한 채널 추정 및 보상을 수행할 수 있다.

본 논문에서는 지상파 3D HDTV 방송 서비스를 제공하기 위해 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 시변다중경로채널에 강인한 프레임 구조를 제안하고, 성능을 측정하였다. ISI (Inter Symbol Interference)를 방지하기 위한 보호구간에 PN 심벌을 삽입하여, 순수 데이터 전송률을 최대한 보장하면서 시변다중경로채널에서 효율적으로 채널을 추정하고 복구하는데 이용할 수 있도록 하였다. 또한 수신기의 속도에 따른 다양한 최대 도플러 주파수가 존재하는 채널에서도 강인한 프레임 구조를 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 수정된 ATSC 전송 시스템에 제안된 프레임 구조를 적용하여, TU (Typical Urban)-6 채널에서의 SER (Symbol Error Rate) 성능을 측정하였다.

## 2. 수정된 ATSC 전송 시스템

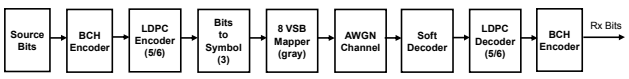


**그림 1. 수정된 ATSC 시스템의 구성도**

그림 1은 논문 [2]에서 제안된 수정된 ATSC 전송 시스템의 구성도를 나타낸 그림이다. 기존의 ATSC 시스템이 8-VSB로 성상도를 고정시키고 채널 부호화 기술로 채용한 RS + TCM 부호를 채택한 반면,

논문 [2]에서는 성상도를 변화시키고 최근에 제정되는 표준안에서 채택되는 강력한 채널 부호화 방식인 BCH + LDPC 부호를 채택하여 부호율을 변화시켜 이에 따르는 성능의 변화 및 전송용량의 증가를 확인하였다. 표<1>은 논문 [2]에서 제안된 수정된 ATSC 전송 시스템의 성능을 나타낸 표이다.

**표<1> 수정된 ATSC 시스템의 성능**

| 시스템 | 채널 코딩 & 변조 방식 | SNR (TOV) dB | 데이터 전송율 Mbps | TOV 이득/손실 dB |
|---|---|---|---|---|
| 기존의 ATSC 부호율 9/10 | RS & TCM, 8 PAM | 14.5(기준) | 19.44 | 0.00 (기준) |
| 수정된 ATSC 부호율 3/4 | LDPC & BCH, 8 PAM | 15.10 | 24.11 | 0.6 |
| 수정된 ATSC 부호율 5/6 | LDPC & BCH 8 PAM | 16.77 | 26.82 | 2.27 |

## 3. PN 심벌 프레임 헤더의 구조 및 특성

논문 [2]에서처럼 최적의 전송 시스템 사양 (부호화율 및 성상도의 개수)이 결정되고 나면 시변다중경로 채널에서도 그 성능이 크게 감소되지 않도록 채널을 추정하고 보상할 수 있는 파일럿 데이터를 순수 데이터의 일부분을 대신해서 삽입하여 보내야 한다. 삽입률은 전송 시스템이 겪는 채널의 시간적 변화율 및 최대 지연 경로에서 생기는 주파수 대역의 변화율에 따라서 달라진다. 예를 들면 DVB-T 의 경우 가드영역 및 부반송파 파일럿 삽입으로 도움 데이터가 약 30% 를 차지하고 있는 반면에 ATSC 시스템의 경우는 313 세그먼트 중에 한 개의 필드 세그먼트 및 832 개의 심벌 중에 4개의 데이터 세그먼트 심벌로 약 1% 의 도움데이터가 삽입되어 있다. 따라서 ATSC 시스템은 AWGN 채널에서는 대역 효율이 좋았던 반면에 다중경로 채널이나 시변 채널에서의 성능은 크게 떨어지는 단점을 가진다.

기존의 OFDM 전송 시스템이 ISI를 방지하기 위한 보호 구간에 사이클릭 프리픽스를 삽입한고 채널 추정을 위해 프레임 바디 내에 알려진 파일럿 신호를 삽입한 것과는 달리, TDS-OFDM 전송 시스템에서는 보호 구간에만 시간 축에서의 PN 심벌을 삽입하여 ISI를 방지하고 채널 추정 또한 가능케 하였다 [3]. 이를 통해 기존의 OFDM 전송 시스템에 비해 순수 페이로드 전송률을 높일 수 있는 장점을 가지고 있다. ATSC 전송 시스템과 OFDM 시스템이 변조 방식은 틀리지만 TDS-OFDM 전송 시스템의 보호 구간에 삽입되는 PN 심벌은 시간 축에서 전송이 되므로, 최대한의 순수 페이로드 전송률을 높이기 위해 TDS-OFDM 전송 시스템의 보호구간에 사용되는 PN 심벌 구조를 수정된 ATSC 전송 시스템의 프레임 헤더 (Header)의 구조에 이용할 수 있다.

프레임 헤더에 사용되는 PN 심벌은 이진 사이클릭 선형 피드백 쉬프트 레지스터(CLFSR: Cyclic Linear Feedback Shift Register)을 이용하여 생성되며, $2^M-1$의 최대 주기를 가지는 사이클릭 M-Sequence의 특성을 가진다 [4]. M-Sequence는 $2^M-1$의 최대 주기를 가지며, 한 주기가 끝나면 다시 주기의 맨 처음 비트가 생성되는 사이클릭한 특성을 가진다. 상관 (Correlation) 특성에 있어서는 동일한 CFLSR에 의해서 생성된 M-Sequence라도 오직 위상이 일치할 때에만 $2^M-1$의 값을 가지고, 위상이 일치하지 않을 때에는 모든 위상에서 -1 의 값을 가진다 [11]. 상관 값을 $R(n)$이라 하고, 한 주기의 M-Sequence를 $PN(i)$이라고 할 때 상관 특성을 나타내면 식(1)과 같다.

$$R(n)=\sum_{i=0}^{(2^M-1)-1} PN(i)P((n+i)_{2^M-1})=\begin{cases}2^M-1, n=0\\ -1\ , n\neq 0\end{cases} \quad (1)$$
$$n=0,\ldots,(2^M-1)-1$$

이러한 M-Sequence의 특성을 이용하여 PN 헤더 구조를 그림 2와 같이 구성할 수 있다.

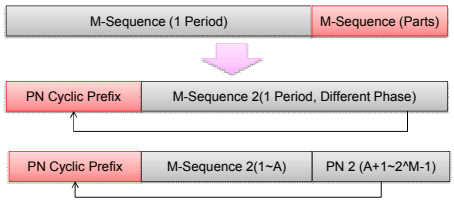


**그림 2. M-Sequence를 이용한 PN 헤더 구조**

그림 2의 윗부분과 같이, $2^M-1$ 주기의 M-Sequence 나타나고 연이어 동일한 M-Sequence의 일부가 나타나도록 PN 헤더를 구성한다. 이 때, 연이어 존재하는 M-Sequence는 $(2^M-1)-1$개까지 구성될 수 있다. 이러한 구성은 그림 2의 아랫부분과 같이 해석될 수 있다. M-Sequence는 사이클릭한 특성을 가지므로, PN 헤더의 뒤의 $2^M-1$의 M-Sequence는 그림 2의 윗부분의 M-Sequence와는 다른 위상을 가지는 $2^M-1$ 주기의 M-Sequence이다 (편의상 M-Sequence 2라고 명명한다). 또한 M-Sequence 2의 앞에 존재하는 M-Sequence의 일부분은 M-Sequence 2의 뒤의 PN 심벌이 복사된 일종의 사이클릭 프리픽스 (CP: Cyclic Prefix)로 여길 수 있다. 이와 같이 PN 헤더 구조를 구성할 때, M-Sequence의 상관 특성을 이용하여 채널을 추정할 수 있다 [4].

## 4. 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 프레임 구조

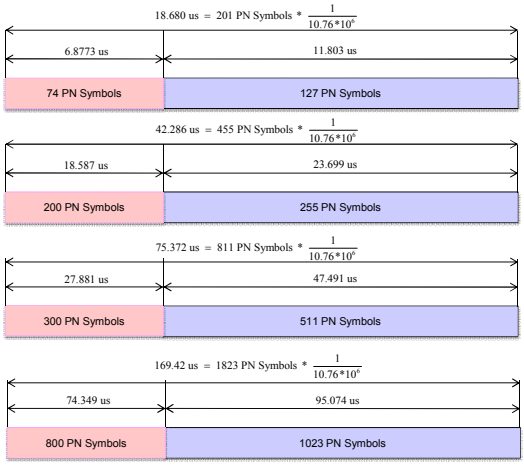


**그림 3. 수정된 ATSC 시스템을 위한 프레임 헤더 구조**

기존의 디지털 방송 전송 시스템의 프레임 길이 및 보호구간의 길이를 참고하여, 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 프레임 헤더(보호

구간)의 구조를 그림 3과 같이 제안하였다. 하나의 보호 구간에 $2^M-1$의 주기를 가지는 두 M-Sequence가 존재하면 채널 추정이 불가능해지므로, 하나의 보호 구간에는 $2^M-1$개의 M-Sequence가 존재하고, 한 주기에 못 미치는 M-Sequence가 연속으로 존재하도록 구성하였다. 그리고 다양한 채널 상황에 대응하기 위해서, 4가지 종류의 프레임 헤더를 제안하였다.

PN 심벌을 보호 구간에 삽입하는 중요한 이점 중 하나는 시간 영역에서 CIR을 효과적으로 추정할 수 있다는 장점이다. 이를 통해 추정된 CIR을 이용하여, 주파수 영역에서 채널 추정을 수행할 수 있다. 이를 위해서는 데이터 심벌의 DFT (Discrete Fourier Transform) 연산을 수행하여야 한다. 그러나 하드웨어 구현의 편이 및 용이성을 위해서는 DFT 연산 대신 FFT 연산을 수행하는 것이 바람직하다. FFT 연산을 수행하기 위해서는 데이터 심벌의 크기가 $2^M-1$의 크기를 가져야만 한다. 이러한 점들을 고려하여, 프레임 바디(Body)의 구조를 그림 4와 같이 제안하였다.

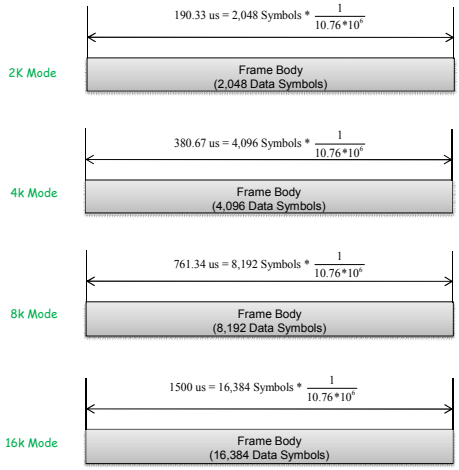


**그림 4. 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 프레임 바디 구조**

## 5. 모의실험 결과

제안된 프레임 구조를 수정된 ATSC 시스템에 적용하여, TU (Typical Urban)-6 채널에서의 SER 성능을 측정해 보았다. 프레임 동기, 심벌 타이밍 동기, 그리고 반송파 주파수 동기가 이상적이라고 가정하였다. CIR 추정 방법 및 주파수 영역에서의 채널 보상을 위한 TCCR (Tail Cancellation and Cyclic Restoration) 방법은 논문 [5]에 의한 방법으로 진행되었다. 모의실험은 4096 데이터 심볼에 455 개의 PN 심벌을 보호 구간에 삽입한 프레임 구조를 이용하여 비부호화 SER (Symbol Error Rate)를 측정하였고, 그림 와 같다.

## 6. 결론

본 논문에서는 지상파 3D HDTV 방송 서비스를 제공하기 위해 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 시변다중경로채널에 강인한 프레임 구조를 제안하고, 성능을 측정하였다. 우선, 논문[2]에서 제안된 수정된 ATSC 시스템에 대해서 소개하고, 그 전송 성능을 바탕으로 하였다. 그리고 $2^M-1$의 최대 주기를 가지는 M-Sequence의 특성을 소개한 뒤, ISI (Inter Symbol Interference)를 방지하기 위한 보호구간에 PN 심벌을 삽입하여 순수 데이터 전송률을 최대한 보장하면서 시변다중경로채널에서 효율적으로 채널을 추정하고 복구하는데 이용할 수 있도록 하였다. 또한 알려진 시스템들을 분석하여 수신기의 속도에 따른 다양한 최대 도플러 주파수가 존재하는 채널에서도 강인한 프레임 구조를 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 수정된 ATSC 전송 시스템에 제안된 프레임 구조를 적용하여, TU (Typical Urban)-6 채널에서의 SER (Symbol Error Rate) 성능을 측정하였다.

이 후 수정된 시스템을 위한 VSB 변조 방식에서의 동기적인 측면에서의 연구가 진행되어야 할 것이다. 시변다중경로 채널에서도 견고하게 심벌 타이밍, 프레임 동기, 그리고 반송파 주파수 복구를 수행하도록 하는 부분에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

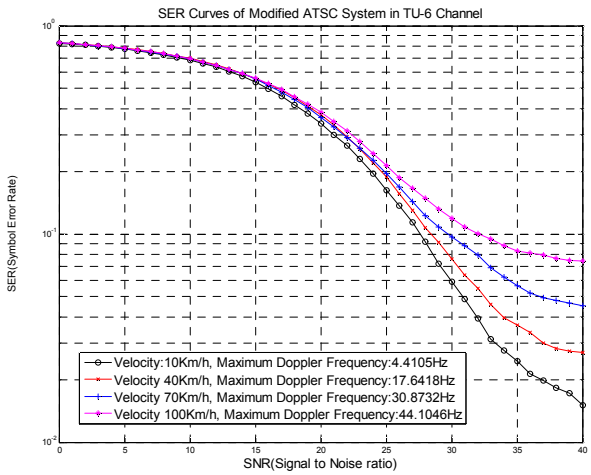


**그림 11. TU-6 채널에서의 수정된 ATSC 전송 시스템의 SER 성능**


### Acknowledgement

본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI0010035618, 차세대 지상파 3D HDTV를 위한 고효율 전송기술 개발]


### 참조 문헌


[1] *ATSC, ATSC DIGITAL TELEVISION STANDARD,* Doc. A/53, sep.

[2] 오종규, 김준태, "지상파 3D HDTV 전송을 위한 확장된 ATSC 전송 시스템에 대한 연구", 한국방송공학회 2010 하계 학술대회, 2010년 7월.

[3] J. Wang, Z.X. Yang, C.Y. Pan, M. Han, and L. Yang, "A combined code acquisition and symbol timing recovery method for TDS-OFDM," IEEE Trans. Broadcasting, Vol. 49, pp. 304-308, Sept. 2003.

[4] Dilip V. Sarwate and Michael B. Pursley, "Corsscorrelation properties of pseudorandom and related sequences", Proceedings of the IEEE, Vol. 68, No. 5, pp. 593~619, May 1980.

[5] Bowei Song, Lin Gui, Yunfeng and Wenjun Zhang, "On channel estimation and equalization in TDS-OFDM based terrestrial HDTV broadcasting system", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 51, No. 3, pp. 790-797, August 2005.