특집논문-10-15-6-10

지상파 3D HDTV 전송을 위한 수정된 ATSC 전송 시스템의 프레임 구조에 관한 연구

오종규^{a)}, 김준태^{a)†}

A Frame Structure of Modified ATSC Transmission Systems for Terrestrial 3D HDTV Broadcasting

Jong Gyu Oh^{a)} and Joon Tae Kim^{a)†}

요 약

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 적절한 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.

Abstract

In this paper, we propose a frame structure for modified ATSC transmission systems which is used for a terrestrial 3D HDTV broadcasting. The modified ATSC transmission systems [2] see the potential of increasing a transmission capacity at reasonable TOV (Threshold of Visibility) by modifying channel codes of conventional ATSC systems and varying modulations. We use PN symbols (Pseudorandom Noise) in a guard interval which is used for avoiding the ISI (Inter Symbol Interference) to estimate and compensate the time-varying multi path channel effectively with a maximum transmission payload. With PN symbols in the guard interval, a CIR (Channel Impulse Response) in a time domain can be estimated and a compensation in a frequency domain can be achieved for the accurate channel estimation and compensation. The proposed frame structure is applied to the modified ATSC systems and computer simulations are performed for SER (Symbol Error Rate) performances in TU (Typical Urban)-6 Channel.

Keyword: Terrestrial 3D HDTV broadcasting, Modified ATSC system, Frame structure

a) 건국대학교 전자공학과 차세대방송통신연구실

Department of Electronic Engineering, Konkuk University

† 교신저자 : 김준태(jtkim@konkuk.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1001-0006)

· 접수일(2010년9월7일), 수정일(2010년10월21일), 게재확정일(2010년10월21일)

1. 서론

최근 들어 3D TV에 대한 연구가 영상 획득, 영상 압축, 그리고 영상 디스플레이 분야에 걸쳐 매우 활발하게 이루어지고 있다^{[3][4][5]}. 특히 디스플레이 분야에서는 능동식 혹은 수동식 편광 안경을 착용하고 시청 가능한 상용 3D HDTV 제품들이 현재 출시되고 있다^[6]. 또한 한국정보통신 기술협회 (TTA)를 중심으로 3D HDTV 서비스를 위한 동영상 압축방식, 전송 방식, 그리고 디스플레이 인터페이스에 관한 표준화의 필요성을 인식하고 이를 위한 표준화 위원회가 설립되었다^[7]. 그러나 지상파로 어떤 전송 기술을 사용하고 어떻게 채널을 할당하여 3D HDTV 를 서비스 할 것인지에 대한 논의는 아직 미미한 상태이다.

국내에서는 미국 ATSC (Advanced Television Systems Committee)에서 제정한 8-VSB (Vestigial Side Band) 전송 시스템 [1]을 국내 지상파 방송 표준으로 사용하고 있으며 6MHz 의 TV 채널 대역폭에서 약 19.2 Mbps의 데이터를 전송할 수 있다. 그러나 이 전송방식에 사용된 요소기술들은 이미 20년 전에 사용되어 만들어 지던 것으로 차세대 실감 방송 (3D 혹은 UD)을 위한 전송 기술로 적합하지 않다. 이에 논문 [2]에서는 3D HDTV 방송 서비스를 제공하기 위해 필요한 데이터를 단일 지상파 채널을 통하여 전송하기 위해서, 기존의 지상파 HD 방송 전송시스템인 ATSC 8-VSB 시스템 [1]의 채널 부호화부를 수정하고 변조 성상도를 증가 시키면서 적절한 수준의 끊어짐 없는 영상을 수신하기 위한 최소 채널의 신호 대 잡음 비(TOV : Threshold of Visibility)에서의 전송 용량 증대 가능성을 확인하였다. 국내에서 원천기술 및 특허를 보유하고 있는 VSB 변조 기반의 전송 시스템인 기존 ATSC 시스템의 확장 및 수정을 통해서 지상파 3D HDTV 방송 전송 시스템을 개발한다면, 3D HDTV 전송 기술의 원천기술 및 특허 분야에서의 우위를 국내에서 취할 수 있으리라 예상된다. 기존의 ATSC 8-VSB새로운 전송 시스템을 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]. [2]에서 제안된 시스템은 고정 지상파 3D HDTV 방송 수신뿐만 아니라, 이동수신환경에서의 방

송 수신을 같이 고려하고 있다.

기존의 OFDM 전송 시스템^[9]이 ISI (Inter Symbol Interference)를 방지하기 위한 보호 구간에 사이클릭 프리픽스 (CP: Cyclic Prefix)를 삽입하고 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^[10]. 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.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서는 논문 [2]에서 제안된 지상파로 3D HDTV 방송 서비스를 위한 수정된 ATSC 전송 시스템에 대해서 간단하게 소개하고자 한다. 3장에서는 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 프레임 구조의 보호구간에 삽입될 PN 심벌 구조의 특성에 대해서 설명할 것이다. 최대 주기를 가지는 PN 심벌의 상관 특성

을 소개하고, 이를 이용한 채널 추정 방법에 대해 얘기할 것이다. 이어서 4 장에서는 앞서 소개한 PN 심벌 구조의 프레임 헤더로 가지며, 다양한 최대 도플러 주파수가 존재하는 채널에서도 강인한 프레임 구조를 제안할 것이다. 5 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 수정된 ATSC 전송 시스템에 제안된 프레임 구조를 적용하여 TU-6 채널에서의 SER (Symbol Error Rate) 성능을 살펴보고, 앞으로 추가 연구되어야 할 부분에 대하여 기술하며 본 논문의 끝을 맺는다.

II. 수정된 ATSC 전송 시스템

본 장에서는 기존의 8-VSB ATSC 전송 시스템의 성능 및 데이터 전송률을 간단히 살펴보고, 논문 [2]에서 제안된 지상파 3D HDTV 방송 서비스를 위한 수정된 ATSC 전송 시스템에 대해서 소개하며 전송 성능에 대해서 살펴보고자 한다.

그림 1(a)는 지상파 HD 방송에 사용되는 기존의 8-VSB ATSC 시스템을 나타낸 그림이고, 그림 1(b)는 논문 [2]에서 제안한 수정된 ATSC 시스템을 나타낸 그림이다.

기존의 8-VSB ATSC 전송 시스템은 채널 부호로 RS (Reed-Solomon) 및 TCM (Trellis Coded Modulation) 부호를 채택하였고, 변조 방식은 8-VSB (Vestigial Side Band) 방식을 사용한다. 이 시스템의 심벌 데이터 전송률(Data Rate)은 10.76 MHz 이며 Roll-Off 값이 0.1152이다. 이 시스템에서의 순수 데이터 전송률은 19.44 Mbps이며, 실제 동기 및 채널 추정을 위한 세그먼트 동기 신호를 고려한다면 실제 데이터 전송률은 19.28 Mbps 이다^[2]. 이를 통해 전체 페이로드 데이터의 약 1% 정도가 부가 데이터로 보내지고 있음을 알 수 있다^[1]. 즉, ATSC 8-VSB 시스템은 부호화율 0.9 의 값으로 19.44 Mbps 의 데이터를 Roll-Off 값 0.1152 를 사용하여 6MHz의 대역폭을 통해 전송하고 있으며 이 중 실제 페이로드 데이터는 약 99%를 차지하고 수신단의 동기 복구를 위한 보조데이터는 약 1% 미만을 차지하는 것으로 볼 수 있다.

그림 1. 기존의 ATSC 8-VSB 시스템 (a)과 수정된 ATSC 시스템 (b)의 구성도

Fig. 1. Block diagrams of conventional ATSC 8-VSB system (a) and Modified ATSC system (b)

표 1. 논문 [2]에서 제안된 수정된 ATSC 시스템의 성능

Table 1. The performance of Modified ATSC Transmission systems

LDPC code Rate	Coding & Modulation	Eb/No (TOV, dB)	Bandwidth Efficiency (bps/Hz)	SNR (Real TOV) (dB)	Payload (neglect pilot, bps)	TOV gain/loss (dB)	C/W Shannon Limit (bps/Hz)	Shannon Payload Limit (bps)	Difference between the two C/W (bps/Hz)
ATSC	RS+TCM 8 VSB	8.92	3.61 (5.5dB)	14.5	19.44	0.00	4.8671	26.2	1.48
CR = 3/4	8 VSB	8.6	4.50 (6.51dB)	15.10	24.11	-0.03	5.06	27.22	0.58
CR = 5/6	8 VSB	9.8	5.00 (6.98dB)	16.77	26.82	-1.70	5.60	30.13	0.61

그림 1(b)는 논문 [2]에서 제안한 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.

논문 [2]에서는 두 종류의 전송 모드에 대한 성능을 제안하였다. 하나는 부호율 (3/4) 인 8-VSB 시스템의 성능이다. 표<1>에서 사양을 보면 TOV 를 위한 SNR 값은 15.1 dB 로 ATSC 시스템에 비해서 약간 0.5 dB 높은데 비하여 데이터 전송량이 24.11 Mbps 로 ATSC 8-VSB 의 19.44 Mbps 에 비하여 24 % 증가되는 것을 볼 수 있다. 다른 하나인 부호율 (5/6) 인 8-VSB 시스템의 경우는 TOV SNR 값이 16.77 dB 로 약 2 dB 정도 올라가지만 그 때 지원되는 데이터 전송량은 26.82 Mbps 로 40% 의 전송량 증가를 가능케 하므로 이 시스템 사양도 현실적으로 검토될 수 있을 것으로 여겨진다. 실제로 현재 채택되어 사용되고 있는 1세대 지상파 전송 시스템인 ISDB-T 의 경우 TOV 값이 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널 상황에서 TOV 값이 17 dB 를 넘고 있고 DVB-T 의 경우는 18dB 를 넘는 것으로 알려져 있다. 따라서 확장된 시스템의 17dB

TOV 값은 지상파 채널에서 크게 수신에 무리가 가는 상황은 아닌 것으로 여겨진다.

III. PN 심벌 프레임 헤더의 구조 및 특성과 채널 추정 방법

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-T의 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 시스템^[9]이 ISI를 방지하기 위한 보호 구간에 사이클릭 프리픽스를 삽입하고 채널 추정을 위해 프레임 바디 내에 알려진 파일럿 신호를 삽입한 것과는

그림 2. TDS-OFDM 시스템의 프레임 구조

Fig. 2. A frame structure of TDS-OFDM system

달리, TDS-OFDM 전송 시스템에서는 보호 구간에만 시간 축에서의 PN 심벌을 삽입하여 ISI를 방지하고 채널 추정 또한 가능케 하였다^[10]. 이를 통해 기존의 OFDM 전송 시스템에 비해 순수 페이로드 전송률을 높일 수 있는 장점을 가지고 있다. TDS-OFDM 전송 시스템의 프레임 구조는 그림 2와 같다.

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 보호 구간에 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 시프트 레지스터(CLFSR: Cyclic Linear Feedback Shift Register)를 이용하여 생성되며, $2^M - 1$ 의 최대 주기를 가지는 사이클릭 M-Sequence의 특성을 가진다^[11]. M이 4인 경우의 CLFSR의 구조는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

그림 3. M이 4인 M-Sequence 생성 이진 사이클릭 선형 피드백 시프트 레지스터의 구조
Fig. 3. Binary Cyclic Linear Feedback Shift Register for M-Sequence generation (M=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 -1의 값을 가진다^[11]. 상관 값을 $R(n)$ 이라 하고, 한 주기의 M-Sequence를 $PN(i)$ 이라고 할 때 상관 특성을 나타내면 식(2)와 같다.

$$R(n) = \sum_{i=0}^{(2^M-1)-1} PN(i)P((n+i)_{2^M-1}) \quad (2)$$

$$= \begin{cases} 2^M - 1, & n = 0 \\ -1, & n \neq 0 \end{cases} \quad n = 0, \dots, (2^M-1) - 1$$

이러한 M-Sequence의 특성을 이용하여 PN 헤더 구조를 그림 4와 같이 구성할 수 있다.

그림 4의 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 5의 아랫부분과 같이 해석될 수 있다. M-Sequence는 사이클릭한 특성을 가지므로, PN 헤더의 뒤의 $2^M - 1$ 의 M-Sequence는 그림 5의 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 일부는 M-Sequence 2의 뒤의 PN 심벌이 복사된 일종의 사이클릭 프리픽스 (CP: Cyclic

그림 4. M-Sequence를 이용한 PN 헤더 구조
Fig. 4. PN Header Structure with M-Sequence

그림 5. 최대 지연 경로가 Cyclic Prefix보다 짧은 하나의 지연 경로가 존재할 때의 수신 프레임
Fig. 5. Received Frame when one delay path which the longest delay is shorter than Cyclic Prefix exists

Prefix)로 여길 수 있다. 이와 같이 PN 헤더 구조를 구성할 때, M-Sequence의 상관 특성을 이용하여 채널을 추정할 수 있다.

그림 5는 AWGN이 존재하지 않다고 가정하고 최대 지연 시간 τ 가 PN의 CP보다 짧은 하나의 지연 경로가 존재할 때의 수신 프레임 구조를 나타내었다. 그림 6과 같이 PN의 CP보다 가장 긴 지연시간이 PN의 CP보다 짧을 때는 Cyclic Cross Correlation Window 내의 수신 PN 심벌을 이용하여 채널 임펄스 응답 (CIR: Channel Impulse Response)을 논문 [12]에 의한 방법으로 추정할 수 있으며 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. 논문 [12]에서는 QAM 변조 방식을 채택한 중국형 디지털 방송 전송 시스템인 DMB-T/H^[13] 시스템을 위한 채널 추정 방법을 제안하고 있으나, 이 방식을 수정된 ATSC 시스템에서도 적용할 수 있다.

그림 6과 같이 상관 윈도우 내의 수신 PN 심벌들을 순환

시키면서 수신기에서 자체 생성한 M-Sequence 2와 상관 연산을 통해서 CIR을 측정할 수 있다. 이는 M-Sequence의 특성을 이용한 것으로 두 개의 동일한 M-Sequence의 위상이 오직 일치할 때에 상관 연산을 하면 $2^M - 1$ 의 값을 가지고, 위상이 일치하지 않을 때에는 -1의 값을 가지는 특성을 이용한다. 이 외에도 최대 지연 시간이 PN의 CP를 넘어갈 때의 채널 추정 방법은 논문 [12]에 제안되어 있다.

IV. 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 프레임 구조

3장에서 얘기한 것처럼 다중 경로의 최대 지연 시간이 PN의 CP보다 짧을 때에는 아주 정확하고 간단하게 채널을 추정할 수 있기 때문에 다양한 채널 상황에 따라 PN 심벌

그림 6. 논문 [12]에서의 PN을 이용한 채널 임펄스 응답 추정 방법

Fig. 6. Channel Impulse Response Estimation Method with using PN Symbols in [12]

의 길이를 달리할 필요성이 있다. 보호 구간에 삽입되는 PN 심벌의 크기가 클수록 긴 지연시간의 다중경로 채널에는 강인한 특성을 보이지만, 순수 데이터 전송률을 떨어뜨리게 된다.

표 2는 다양한 디지털 방송 전송 시스템들의 보호 구간 및 프레임 길이를 비교하여 나타낸 표이다. 최근에 제정된 디지털 방송 전송 시스템들은 공통적으로 고정 수신 상황 뿐만 아니라 이동 수신 상황을 같이 고려하여 프레임을 구

표 2. 디지털 방송 전송 시스템들의 보호 구간 및 프레임 길이 비교

Table 2. Comparison of the guard interval and frame length of digital video broadcasting systems

Standard	DMB-T/H	ISDB-T	DVB-T	DVB-T2
2K	Guard Interval Length	Guard Interval Length	Guard Interval Length	Guard Interval Length
	55.6 us	63/ 31.5/ 15.75/ 7.875 us	56/ 28/ 14/ 7 us	56/ 28/ 14/ 7 us (2K)
	Frame Length	Frame Length	Frame Length	Frame Length
	500 us	252 us	224 us	224 us (2K)
4K	Guard Interval Length	Guard Interval Length		Guard Interval Length
	78.7 us	126/ 63/ 31.5/ 15.75 us		112/ 56/ 28/ 14 us (4K)
	Frame Length	Frame Length		Frame Length
	500 us	504 us		448 us (4K)
8K	Guard Interval Length	Guard Interval Length	Guard Interval Length	Guard Interval Length
	125 us	252/ 126/ 63/ 31.5 us	224/ 112/ 56/ 28 us	224/ 133/ 112/ 66.5/ 56/ 28/ 7 us (8K)
	Frame Length	Frame Length	Frame Length	Frame Length
	500 us	1008 us	896 us	896 us (8K)

* DVB-T2 시스템의 1K, 4K, 16K, 32K 프레임은 표준 [16]을 참고

그림 7. 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 프레임 헤더 구조

Fig. 7. The frame header structure of modified ATSC transmission systems

성하였다. 1세대 디지털 방송 전송 시스템인 DVB-T^[14]와 ISDB-T 시스템^[15]은 FFT(Fast Fourier Transform) 연산의 편이성을 위해, 프레임 크기를 2048, 4096, 8192 심벌로 고정시키고 보호 구간의 길이를 다양하게 제공한다. 반면 DVB-T/H 시스템은 프레임 길이를 500 μ s로 고정시키고, 보호 구간의 길이를 3 종류로 달리하였다. 가장 최근의 제정된 DVB-T2 시스템^[16]의 경우 프레임 크기를 1024에서 32768 심벌로 다양화하고, 보호 구간의 길이 또한 각각의 프레임 크기에 따라 달리하였다.

위와 같은 점을 고려하고 다른 디지털 방송 전송 시스템의 프레임 길이 및 보호구간의 길이를 참고하여, 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 프레임 헤더(보호 구간)의 구조를 그림 7과 같이 제안하였다. 하나의 보호 구간에 $2^M - 1$ 의 주기를 가지는 두 M-Sequence가 존재하면 채널 추정이 불가능해지

므로, 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 9와 같이 제안하였다.

그림 8. 수정된 ATSC 전송 시스템을 위한 프레임 바디 구조

Fig. 8. The frame body structure of modified ATSC transmission systems

그림 8에 나타난 프레임 논문 [2]에서 확인된 바와 같이 부호율이 5/6이고 8-VSB 변조 방식을 사용할 때, 수정된 ATSC 전송 시스템의 데이터 전송률은 26.82 Mbps이다. 그

림 8에 제안된 프레임 헤더와 그림 8에 제안된 프레임 바디의 선택에 따라 순수 데이터 전송률 및 프레임의 길이는 표 3과 같이 달라지며, 또한 추정할 수 있는 최대 도플러

표 3. 프레임 헤더 및 바디의 종류에 프레임의 길이, 순수 데이터 전송률 그리고 추정 가능한 최대 도플러 주파수

Table 3. Frame length, Payload and Maximum doppler frequency depend on the frame body and header structure

Frame Body Size	PN 200	PN 455	PN 811	PN 1823
2048 Data Symbols	Frame Length (us)			
	208.92	232.616	265.702	359.75
	Payload (Mbps)			
	24.4339	21.9446	19.2121	14.1894
	Maximum Doppler Frequency (Hz)			
4096 Data Symbols	Frame Length (us)			
	399.257	422.956	456.042	592.38
	Payload (Mbps)			
	25.5714	24.1386	22.3873	18.5597
	Maximum Doppler Frequency (Hz)			
8192 Data Symbols	Frame Length (us)			
	779.927	803.626	836.712	930.76
	Payload (Mbps)			
	26.1808	25.4087	24.404	21.938
	Maximum Doppler Frequency (Hz)			
16384 Data Symbols	Frame Length (us)			
	1518.6	1542.3	1575.4	1669.4
	Payload (Mbps)			
	26.4966	26.0953	25.555	24.1346
	Maximum Doppler Frequency (Hz)			
16384 Data Symbols	Frame Length (us)			
	329.251	324.19	317.38	299.51
	Payload (Mbps)			
	26.4966	26.0953	25.555	24.1346
	Maximum Doppler Frequency (Hz)			

그림 9. 모의실험 블록 다이어그램

Fig. 9. Block Diagrams of computer simulations

주파수도 틀려진다.

V. 모의실험 결과

4장에 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 [12]에 의한 방법으로 진행되었다. 모의실험은 4096 데이터 심볼에 455 개의 PN 심벌을 보호 구간에 삽입한 프레임 구조를 이용하여 진행되었다. 그림 9는 모의실험에 이용한 블록 다이어그램을 나타낸 것이고, 표 4에는 TU-6 채널의 딜레이 프로파일을 나타내었다. 표 5는 모의 실험에 사용된 전송 파라미터를 나타내었다.

표 4. TU-6 채널 지연 프로파일

Table 4. Delay Profile of TU-6 Channel

	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Tap 4	Tap 5	Tap 6
Delay (us)	0	0.2	0.5	1.6	2.3	5
Power (dB)	-3	0	-5	-6	-8	-10

표 5. 프레임 헤더 및 바디의 종류에 프레임의 길이, 순수 데이터 전송률 그리고 추정 가능한 최대 도플러 주파수

Table 5. Frame length, Payload and Maximum doppler frequency depend on the frame body and header structure

Symbol Rate f_s	10.76 MHz
UHF 15'th Channel Carrier Frequency f_c in Korea	476 MHz
Data Frame Size	4096 Data Symbols
PN Header Size	455
Velocity of Mobile v	10Km, 40Km, 70Km, 100Km
Maximum Doppler Frequency	4.4105Hz, 17.6418Hz, 30.8732Hz, 44.1046Hz

그림 10. TU-6 채널에서의 수정된 ATSC 전송 시스템의 SER 성능

Fig. 10. SER performance of modified ATSC systems in TU-6 Channel

표 5와 같은 전송 파라미터를 토대로, 표<4>의 지연 프로파일을 가지는 TU-6 채널에서 모의실험을 수행하였고 SER 성능은 그림 10과 같다.

그림 10에 나타난 바와 같이 TU-6 채널에서 최대 도플러 주파수가 증가할수록 SER가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 SER 성능만을 가지고 이동수신환경에서 얼마나 원활히 방송을 수신할 수 있는지를 검증하기는 어렵고, 10^{-6} 의 BER (Bit Error Rate)의 성능을 나타내는 SNR이 얼마인지를 나타내는 TOV를 이동수신환경에서의 성능의 척도로 살펴보아야 한다. 이에 추후 본 논문에서 제안된 시스템 및 프레임 구조를 적용한 향상된 채널 추정 기법 및 보상 기법을 연구하여, 현실적인 SNR에서의 TOV 성능을 측정하도록 할 것이다.

VI. 결 론

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. 하지만 이동수신환경에서의 성능 측정을 위해서는 얼마만큼의 SNR에서 BER TOV가 얼마인지를 고려해야 한다. 이에 추후 본 논문에서 제안된 시스템 및 프레

임 구조를 적용한 향상된 채널 추정 기법 및 보상 기법을 연구하여, 현실적인 SNR에서의 BER TOV 성능을 측정할 것이다. 또한 VSB 변조 방식에서의 동기적인 측면에서의 연구가 진행되어, 시변다중경로 채널에서도 견고하게 심벌 타이밍, 프레임 동기, 그리고 반송파 주파수 복구를 수행하도록 하는 부분에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] ATSC, ATSC DIGITAL TELEVISION STANDARD, Doc. A/53, sep.
- [2] 오종규, 김준태, "지상파 3D HDTV 전송을 위한 확장된 ATSC 전송 시스템에 대한 연구", 방송공학회논문지 제15권 제5호, pp. 681~696, 2010년 9월.
- [3] 박창섭, 이준용, 함상진, 조인준, 이근식, "3DTV 방송용 카메라 기술 개발 동향", 방송공학회지 제15권 제1호, pp. 12~23, 2010년 3월.
- [4] 호요성, 정재일, 강윤석, "3차원 TV와 실감 방송의 기술 동향", 전자공학회지 제36권 제4호, pp. 38~46, 2009년 4월.
- [5] 최병호, 김용환, 김제우, 조인준, 이근식, "스테레오 3D 방송을 위한 비디오 부호화 기술", 방송공학회지 제15권 제1호, pp. 24~36, 2010년 3월.
- [6] 엄기문, 이광순, 허남호, 유지상, "3DTV 서비스 동향", 인포메이션디스플레이 제10권 3호, pp. 31~41, 2009년.
- [7] 한국정보통신기술협회, <http://www.tta.or.kr>
- [8] 3DTV 방송 진흥센터, www.3dtvkorea.or.kr
- [9] William Y. Zou, Yian Wu, "COFDM: An Overview", IEEE Trans. Broadcasting, vol. 41, No. 1, pp. 1-8, March 1995.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] "Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Broadcasting System," Chinese Standard of digital terrestrial television broadcasting (DTTB), GB20600-2006, Aug. 2006.
- [14] Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, ETSI EN 300 744 V1.5.1
- [15] Transmission system for digital terrestrial television broadcasting, ARIB STD-B31 v1.6, 2005-11
- [16] Digital Video Broadcasting (DVB): Frame structure channel coding and modulation systems for a second generation digital terrestrial television broadcasting system(DVB-T2), ETSI EN 302 755 v1.1.1 2009-09

저 자 소 개

오 종 규

- 2007년 : 건국대학교 전자공학과 학사과정 졸업
- 2009년 : 건국대학교 전자공학과 석사과정 졸업
- 2009년 ~ 현재 : 건국대학교 전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : 차세대 방송통신 시스템, 채널 추정, 동기

김 준 태

- 1990년 : 한국과학기술원 학사과정 졸업
- 1993년 : 한국과학기술원 석사과정 졸업
- 1998년 : 한국과학기술원 박사과정 졸업
- 1998년 ~ 2003년 : LG전자 DTV 연구소 책임연구원
- 2003년 ~ 현재 : 건국대학교 전자공학부 부교수
- 주관심분야 : 차세대 방송통신 융합, 위성 및 이동통신, 통신시스템 설계