

정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제20권 제2호, 2015년 3월 (JBE Vol. 20, No. 2, March 2015)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2015.20.2.248>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

지상과 클라우드 방송 시스템의 성능 분석 연구

김정창^{a)†}, 박성익^{b)}, 김흥묵^{b)}

A Study on Performance Analysis for Terrestrial Cloud Transmission Systems

Jeongchang Kim^{a)†}, Sung Ik Park^{b)}, and Heung Mook Kim^{b)}

요 약

본 논문에서는 지상과 클라우드 방송 시스템 (cloud transmission system)의 간섭 및 잡음 신호를 모델링하고 수신기의 비트 오류율 (bit error rate) 성능을 제시한다. 지상과 클라우드 방송 시스템은 하나 이상의 동일채널간섭이 존재하는 환경에서 동작해야 하므로 negative SINR (signal-to-interference plus noise ratio) 영역에서 동작해야 한다. 지상과 클라우드 방송 시스템의 요구되는 SINR 영역에서 간섭 및 잡음을 가우시안으로 모델링할 수 있으며 모델링된 간섭 및 잡음 모델을 이용하여 비트 오류율을 관찰한다. 또한, 최소자승 (least square) 기반의 선형 보간된 채널 추정 값을 평균함으로써 클라우드 방송 시스템에서 향상된 채널 추정 방식을 제안한다. 전산 실험 결과는 제안한 방식을 이용하여 클라우드 방송 시스템이 negative SINR 영역에서 동작함을 보여준다.

Abstract

In this paper, we model the interference plus noise signal for terrestrial cloud transmission systems and present bit error rate (BER) performances. Since terrestrial cloud transmission systems experience co-channel interference from one or more transmitters, they have to operate under a negative signal-to-interference plus noise ratio (SINR) region. The interference plus noise signal can be modeled as Gaussian random variable under the required SINR region and we observe the BER performance of the cloud transmission system using the derived model. Also, we propose an improved channel estimation scheme by averaging the channel estimates based on least square based interpolation scheme. Simulation results show that the cloud transmission system can operate under negative SINR region using the proposed channel estimation scheme.

Keyword : Channel estimation, cloud transmission, co-channel interference, negative SINR, OFDM

a) 한국해양대학교 전자전기정보공학부(Division of Electronics and Electrical Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University)

b) 한국전자통신연구원 방송시스템연구부(Broadcasting Systems Research Department, Electronics and Telecommunications Research Institute)

† Corresponding Author : 김정창(Jeongchang Kim)

E-mail: jchkim@kmou.ac.kr

Tel: +82-51-410-4315

ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-8612-9360>

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음.[14-000-02-002, 융합형 실감방송 서비스 및 전송 기술 개발]

※ 본 논문은 “2014년도 한국방송공학회 하계학술대회”에서 부분적으로 발표되었음.

· Manuscript received September 22, 2014; revised December 16, 2014; accepted January 9, 2015.

1. 서론

지상파 DTV (digital television) 방송 시스템에서는 서비스 반경의 3 배에 달하는 지역에서 동일채널간섭 (co-channel interference)으로 인하여 같은 주파수를 재사용할 수 없는 white space 문제가 야기된다. 이로 인하여 현재의 지상파 DTV 방송은 스펙트럼 효율이 매우 낮은 편이다. 따라서, 스펙트럼 효율을 향상시키기 위하여 white space의 제거 및 주파수 재사용이 용이한 전송기술의 개발에 관심이 높아지고 있다. 뿐만 아니라, FoBTv (future of broadcast television)^[1] 컨소시엄에서는 전세계 방송 기술을 통합하려는 시도를 하고 있으며 ATSC 3.0 표준화가 2015년 완료로 목표로 한창 진행 중에 있다^{[2][3]}. 최근, 스펙트럼 효율 향상 방안으로서 전송용량 증대 및 수신 강인성 (robustness)을 향상시킴으로써 주파수 재사용이 용이한 지상파 클라우드 전송 (cloud transmission: CTxn) 기술이 제안되었다^[4]. 지상파 클라우드 전송 기술은 주파수 재사용이 용이하고 white space를 발생시키지 않으며, 단일주파수망 (single frequency network) 구축 및 운용이 매우 용이하다는 장점이 있다^{[4][5]}. 이러한 클라우드 방송 기술을 사용하여 전국적으로 하나의 방송채널을 사용하여 HD (high definition)급 이동방송 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대된다^[5].

클라우드 방송 기술에 대한 기본 개념은 [4]에서 제시되었으며 최근에는 이를 현실화하기 위한 다양한 시스템 설계 방안에 대한 연구가 진행되고 있다. 클라우드 방송 기술은 negative SINR (signal-to-interference plus noise ratio) 영역에서도 잘 동작하도록 매우 강력한 오류정정부호를 적용함으로써 동일채널간섭을 억제 혹은 제거하지 않고 원하는 신호를 복조할 수 있다. 즉, 두 개의 신호가 중첩되는 지역에서 하나의 신호는 다른 하나의 신호에 간섭으로 작용하고 이를 그대로 둔 상태에서 강력한 오류정정부호의 도움으로 나머지 하나의 신호를 복조하게 된다. 먼저, [6]과 [7]에서는 지상파 클라우드 방송 시스템에 적용하기 위한 오류정정부호로서 quasi-cyclic 구조에 기반한 LDPC (low density parity check) 부호가 설계되었다. [8]에서는 LDPC 및 RS (Reed Solomon) 부호를 결합한 2차원 부호화 구조가 제안되었다. [9]에서는 클라우드 방송 시스템을 위한

OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 기반 프레임 구조가 제안되었으며, [5]에서는 [9]의 프레임 구조를 바탕으로 클라우드 방송 시스템을 위한 초기 타이밍 획득 방식이 제안되었다. 그러나, 아직 클라우드 방송 시스템의 수신기 복조 성능에 대해 발표된 결과는 별로 없는 상황이다. 본 논문에서는 지상파 클라우드 방송 시스템의 간섭 및 잡음 신호를 모델링하고 수신기의 비트 오류 (bit error rate: BER) 성능을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 클라우드 전송 시스템의 모델에 대해서 간략히 살펴본다. 다음으로, 3장에서는 클라우드 전송 시스템을 위해 적용한 파일럿 패턴 (pilot pattern) 및 채널 추정 방식에 대해서 소개하고, 4장에서는 간섭 및 잡음의 모델링을 제시한다. 5장에서는 간섭 및 잡음의 모델링 결과 및 채널 추정 기법을 적용하여 클라우드 전송 시스템의 BER을 전산 실험을 통하여 제시하고, 마지막으로 6장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 시스템 모델

1. 클라우드 방송 시스템

그림 1은 본 논문에서 고려하는 클라우드 방송 시스템의 서비스 영역을 나타낸 그림이다^[4]. 클라우드 방송 시스템은 동일한 방송 주파수를 사용하여 각 방송 기지국의 서비스 영역에서 서로 다른 다수의 서비스들을 동시에 제공할 수 있다. 그림 1에서 보여 지듯이 Tx #1에서는 서비스 #1과 서비스 #3이 동시에 송출되고, Tx #2에서는 Tx #1과 동일한 방송 주파수를 사용하여 서비스 #2와 서비스 #4가 동시에 송출된다. 이 때, 방송 서비스 영역을 다르게 하기 위하여 방송 신호 전송 시 부호 및 변조 방식을 달리 설정할 수 있으며 수신 강인성에 차등이 발생한다. 서비스 #1과 서비스 #3은 동일한 기지국 (Tx #1)에서 동일한 방송 주파수를 이용하여 전송되며 서비스 #1의 수신 강인성이 서비스 #3보다 높다. 서비스 #2와 서비스 #4는 동일한 기지국 (Tx #2)에서 Tx #1과 동일한 방송 주파수를 이용하여 전송되며 서비스 #2의 수신 강인성이 서비스 #4보다 높다. 동일 방송

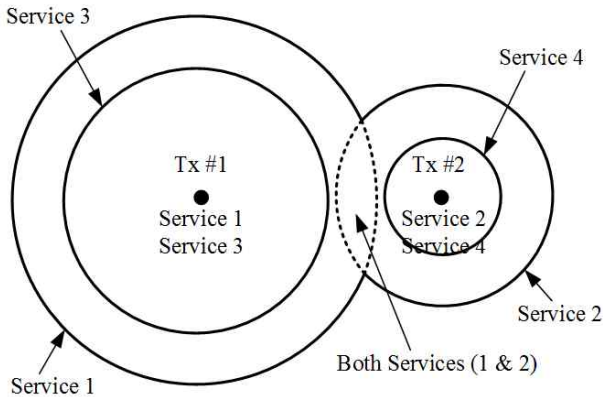


그림 1. 클라우드 방송 시스템의 서비스 영역^[4]
 Fig. 1. Service coverage of the cloud transmission system^[4]

기지국의 서비스에 대해서 서비스 영역이 중첩되는 지역에서는 수신기가 두 개의 서비스를 모두 수신할 수 있어야 한다. 예를 들어, Tx #1에 대해서는 서비스 #1과 서비스 #3이 이에 해당하고, Tx #2에 대해서는 서비스 #2와 서비스 #4가 이에 해당된다.

반면, 서로 다른 방송 기지국으로부터 동일한 주파수를 사용하여 전송되는 서비스인 Tx #1의 서비스 #1과 Tx #2의 서비스 #2는 높은 수신 강인성으로 인하여 일부 지역에

서 중첩되어 수신된다. 기존 DTV의 단일주파수망에서는 동일 주파수를 사용하여 서로 다른 방송 신호가 송출되어 중첩지역에서 수신되는 경우 수신기는 동일채널간섭으로 인하여 신호의 복조가 어려웠다. 그러나, 클라우드 방송 시스템에서는 중첩지역에서 동일채널간섭이 발생하는 이와 같은 서비스 시나리오에서도 수신기가 서로 다른 기지국으로 전송된 모든 서비스를 복조할 수 있어야 한다.

2. 송수신기 구조

본 논문에서 가정하는 클라우드 전송 시스템은 동일한 방송 주파수를 사용하는 서로 다른 두 개의 기지국에 대한 서비스 영역이 중첩되는 지역에서 동작하는 상황을 가정한다. 그림 2는 본 논문에서 가정하는 클라우드 방송 시스템의 송수신기 구성도를 나타낸다^[8].

클라우드 방송 시스템의 송신기에서 입력 비트들은 [8]의 2차원 LDPC-RS 부호화 방법에 따라 인코딩되며 블록 타입의 인터리빙이 자연스럽게 수행된다. 인코딩된 비트들은 미리 정의된 변조 방식에 따라 변조 심벌들로 맵핑된다. 또한, 파일럿 신호 $p[k]$ 가 생성된 후 변조 심벌과 파일럿 신호는 OFDM 변조기로 입력된다. 여기서, $p[k]$ 는

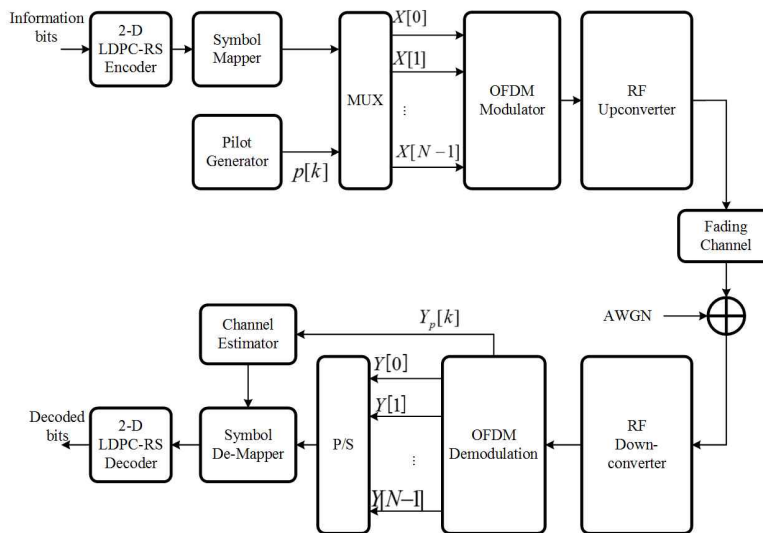


그림 2. 클라우드 방송 시스템을 위한 송수신기 구성도
 Fig. 2. Block diagram of transmitter and receiver structure for the cloud transmission system

k 번째 부반송파를 통하여 전송될 파일럿 신호를 나타낸다. OFDM 변조기에서는 변조된 심벌과 파일럿 신호를 미리 정의된 부반송파에 할당하여 IFFT (inverse Fourier transform)를 수행하고 순환 프리픽스 (cyclic prefix)를 삽입함으로써 송신 신호를 생성한다. 송신기에서 송신 신호는 RF 상향 변환된 후 페이딩 채널을 겪고 수신기에 수신된다. 수신된 신호는 RF 하향 변환된 후 OFDM 복조기로 입력된다. OFDM 복조기에서는 수신 신호에 대한 타이밍 및 주파수 동기, 순환 프리픽스 제거 및 FFT를 수행한다. 본 논문에서는 타이밍 및 주파수 동기가 완벽하게 이루어져 있다고 가정한다. 파일럿 부반송파 위치로부터 수신 파일럿 신호를 추출하여 채널 추정기에서 채널 추정을 수행한다. 심벌 De-mapper에서는 FFT 출력 값 및 추정된 채널 값을 이용하여 LDPC 복호에 필요한 log-likelihood ratio (LLR) 값을 계산한다. 마지막으로, 2D LDPC-RS 복호화는 앞에서 계산된 LLR 값을 이용하여 정보 비트들을 복호화한다.

III. 파일럿 패턴 및 채널 추정

지상파 클라우드 방송 시스템의 수신기에서는 두 개 이상의 송신기로부터 방송 신호가 수신되므로 하나의 방송 신호는 다른 방송 신호에 대해서 간섭으로 작용한다. 따라서, 동일채널간섭이 존재하는 경우에도 성공적으로 원하는 방송신호의 데이터를 복조할 수 있어야 한다. 현재 클라우

드 방송 시스템을 위한 파일럿 패턴은 아직 논의된 바가 없는 실정이므로 본 논문에서는 선행연구를 위하여 DVB-T2 규격의 PP2 scattered pilot pattern을 적용하도록 한다.

그림 3은 본 논문에서 고려하는 파일럿 패턴을 나타낸다. 유효 부반송파 (used subcarrier)들에 대해서 12개의 데이터 반송파 간격마다 하나의 파일럿이 배치되어 있다. 그림 3의 파일럿 패턴을 이용하여 수신기에서 채널 추정을 수행한다. OFDM 시스템에서 다양한 채널 추정 알고리즘들을 적용할 수 있으나 본 논문에서는 클라우드 방송 시스템의 성능을 비교하기 위한 선행연구로서 최소자승 (least square: LS)에 기반한 선형 보간법 (linear interpolation)을 이용한 채널 추정 방식에 대한 비트 오류 성능을 관찰한다. 각 파일럿 심벌에 해당하는 부반송파의 채널을 추정된 후 인접 파일럿 부반송파의 채널 이득들에 대해서 선형 보간을 수행한다. 또한, 시간영역에서 두 개의 OFDM 심벌마다 파일럿이 배치되므로 시간영역에서도 선형 보간을 수행한다.

최소자승에 기반한 선형 보간법에 의한 채널 추정 방식은 큰 성능 열화를 나타내므로 요구되는 SINR을 줄이기 위하여 향상된 채널 추정 성능을 갖는 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 최소자승 기반의 선형 보간된 채널 추정 값을 여러 OFDM 심벌 구간에 걸쳐서 평균함으로써 채널 추정 성능을 향상시킬 수 있는 방식을 클라우드 방송 시스템에서 제안한다. 평균하는 길이를 L 이라고 할 때, i 번째 OFDM 심벌의 채널 값은 $(i - (L - 1) / 2)$ 번째 OFDM 심

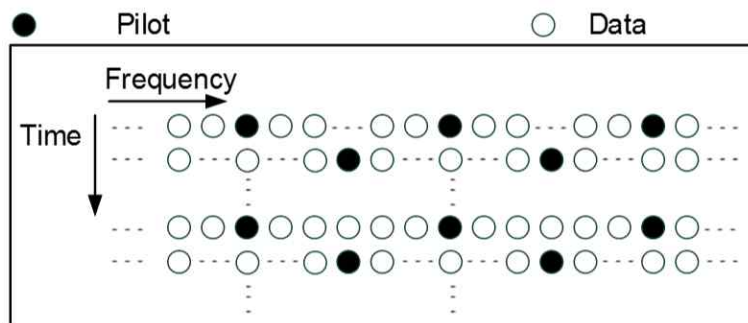


그림 3. 파일럿 패턴
 Fig. 3. Pilot pattern

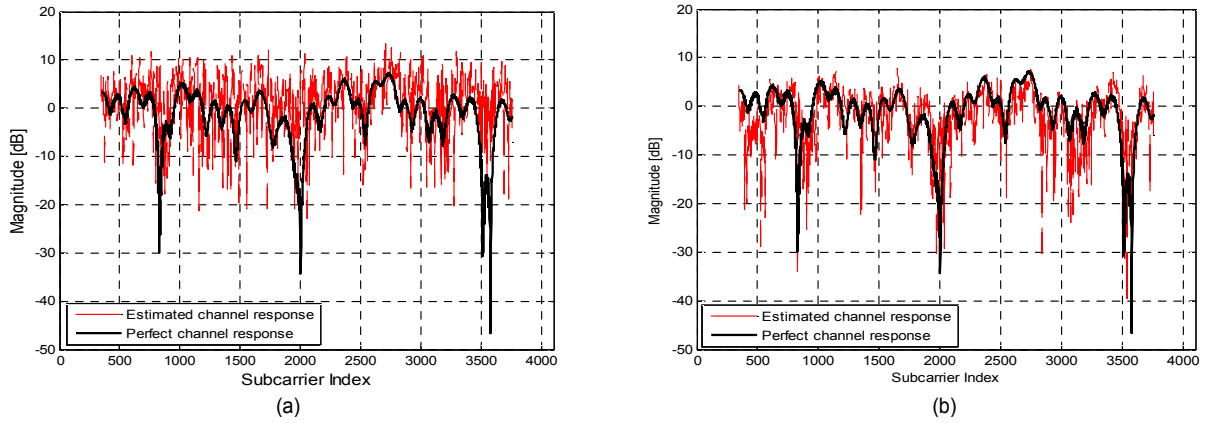


그림 4. 최소자승 기반 선형 보간법 및 제안하는 방법을 이용한 채널의 주파수 응답, TU6 (120km/h), SINR=0dB. (a) $L=1$, (b) $L=11$
 Fig. 4. Channel frequency response of LS based linear interpolation and proposed schemes, TU6 (120km/h), SINR=0dB. (a) $L=1$, (b) $L=11$

별부터 $(i + (L - 1)/2)$ 번째 OFDM 심벌에 해당하는 최소자승 기반의 선형 보간된 채널 추정 값을 평균하여 얻어진다. 즉, 채널 추정 값을 얻고자 하는 OFDM 심벌을 기준으로 해당 OFDM 심벌을 포함하여 좌우로 인접하는 L 개의 OFDM 심벌에 대한 최소자승 기반의 선형 보간된 채널 추정 값을 평균한다. 그림 4는 TU6 채널 하에서 최소자승 기반 선형 보간법 및 제안하는 방법을 이용한 채널의 주파수 응답의 스냅샷을 나타낸다. $L=11$ 인 경우 $L=1$ 인 경우에 비해 정확한 채널 주파수 응답에 보다 더 가깝게 채널이 추정되고 있음을 알 수 있다.

IV. 간섭 및 잡음 모델링

본 논문에서 고려하는 클라우드 방송 시스템의 동작 시나리오에 따르면 방송 수신기는 두 개의 기지국으로부터 서로 다른 방송 신호가 중첩되는 지역에서 최소 하나 이상의 방송 신호를 복조할 수 있어야 한다. 따라서, 하나의 기지국으로부터 전송된 신호는 다른 하나의 기지국으로부터 전송된 신호에 대하여 간섭으로 작용한다. 그러므로, 클라우드 방송 시스템의 수신기는 간섭 신호가 존재하는 상황에서 복조가 가능해야 한다. 그림 5는 원하는 방송 신호 및

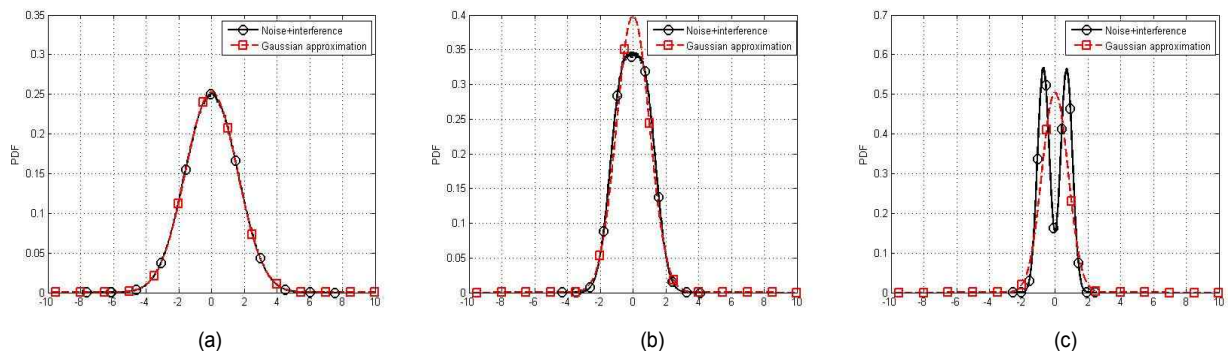


그림 5. 간섭 및 잡음 신호의 확률 밀도 함수 (a) SINR=-7dB (SNR=-6dB) (b) SINR=-3dB (SNR=0dB) (c) SINR=-0.97dB (SNR=6dB)
 Fig. 5. Probability density function of the interference plus noise signal. (a) SINR=-7dB (SNR=-6dB) (b) SINR=-3dB (SNR=0dB) (c) SINR=-0.97dB (SNR=6dB)

간섭 방송 신호의 수신 전력이 동일한 경우 SINR에 따른 간섭 및 잡음의 확률 밀도 함수 (probability density function: PDF)를 나타낸다.

그림 5에서 알 수 있듯이 SINR이 낮을수록 간섭 및 잡음 신호는 가우시안 (Gaussian) 분포에 근접함을 알 수 있다. [8]에 따르면 클라우드 방송 신호 threshold는 -3 ~ -2dB 정도이므로 클라우드 방송 시스템의 동작 환경을 고려할 때 간섭 및 잡음 신호는 가우시안 확률 변수로 모델링될 수 있다. 따라서, 본 논문에서 수신기는 간섭 및 잡음 신호를 가우시안 확률 변수로 가정하고 LLR 값을 계산한다.

V. 전산 실험 결과

본 장에서는 클라우드 방송 시스템의 성능을 확인하기 위하여 앞에서 분석한 간섭 및 잡음 모델링 결과를 이용하여 BER 성능을 전산 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 대역폭은 6MHz를 가정하였으며 주요 시스템 파라미터는 표

1과 같다. 또한, 반송파 주파수는 575MHz를 가정하였다.

표 1. 주요 시스템 파라미터
 Table 1. Principal system parameters

Parameter	Value
Channel Bandwidth	6 MHz
OFDM sample duration	7/48 μ s
FFT size	4096
# of used subcarriers	3409
CP length	256 samples
LDPC code rate	1/4
LDPC codeword length	64800
RS code	(160,152)
Modulation	QPSK

그림 6은 AWGN (additive white Gaussian noise) 채널 및 TU6 채널에서 클라우드 방송 시스템 및 기존의 DVB-T2 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 클라우드 방송 시스템 및 DVB-T2 시스템에 사용된 LDPC 부호는 모두 부호율

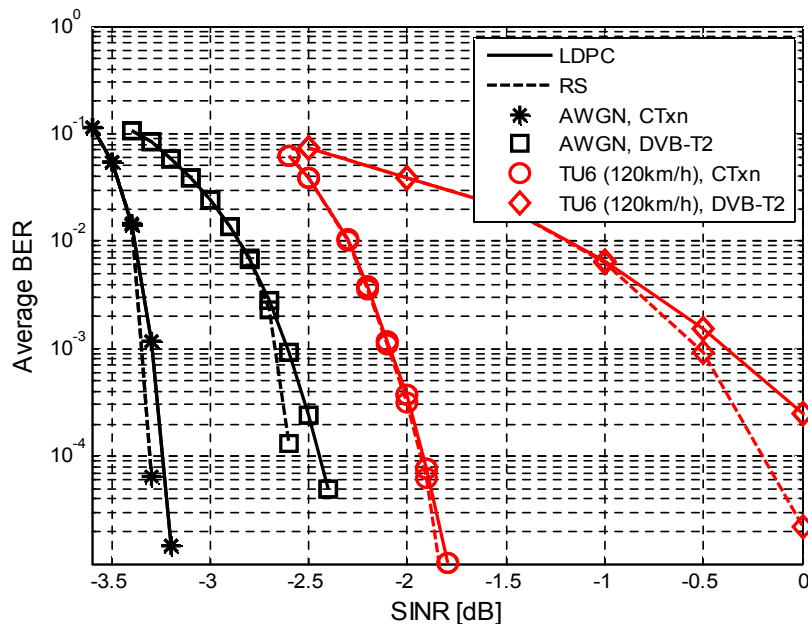


그림 6. AWGN 및 TU6 채널에서 클라우드 방송 시스템 및 DVB-T2의 BER 성능
 Fig. 6. BER performance of the CTxn system and DVB-T2 system under AWGN and TU6 channels

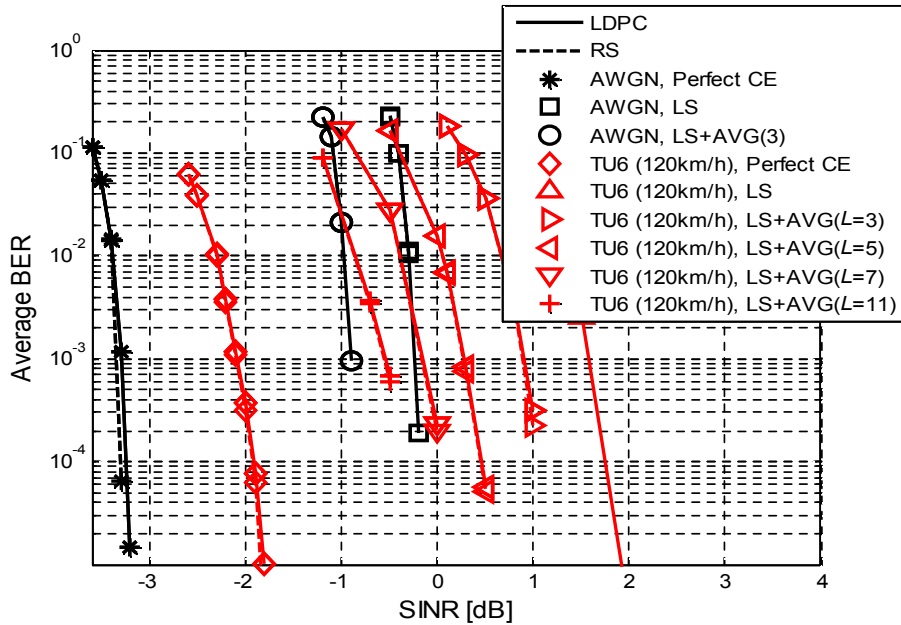


그림 7. AWGN 및 TU6 채널에서 제안하는 방식의 BER 성능
 Fig. 7. BER performance of the proposed scheme under AWGN and TU6 channels

1/4이고 길이는 64800이다. 클라우드 방송 시스템에 적용된 LDPC 부호는 QC (quasi-cyclic)-LDPC 부호이다^[6]. 또한, RS 부호의 정보 심벌 길이는 152 바이트 (byte)이며 부호어 (codeword) 심벌 길이는 160 바이트이고, QPSK (quadrature phase shift keying) 변조방식이 사용되었다. 클라우드 방송 시스템을 위하여 설계된 [6]의 QC-LDPC 부호는 AWGN 채널의 경우 BER=10⁻³에서 기존의 DVB-T2의 LDPC 부호에 비해 대략 0.7dB의 성능 향상을 보인다. 또한, TU6 채널의 경우 120km/h의 이동속도로 BER=10⁻³에서 기존의 DVB-T2의 LDPC 부호에 비해 대략 1.7dB의 성능 향상을 보인다. 따라서, 클라우드 방송 시스템이 기존의 DVB-T2 시스템에 비해 동일채널간섭에 더 강건함을 알 수 있다.

그림 7은 AWGN 채널 및 TU6 채널에서 클라우드 방송 시스템의 수신기 BER 성능을 나타낸 결과이다. 최소자승에 기반한 선형 보간법에 의한 채널 추정 방식은 채널 정보를 정확히 알고 있다고 가정하는 경우에 비해서 대략 3dB 이상의 성능 열화를 나타냄을 알 수 있다. 그림 7에서

AWGN 채널의 경우 L = 3 인 경우 L = 1 인 경우에 비해 BER=10⁻³에서 0.65dB의 성능 향상이 있고 negative SINR 영역에서 잘 동작하므로 동일채널간섭이 존재하는 환경에서 잘 동작함을 알 수 있다. 또한, TU6 채널의 경우 L = 11 인 경우 L = 1 인 경우에 비해 BER=10⁻³에서 2.2dB 가량의 성능 향상이 있고 동일채널간섭이 존재하는 환경에서 동작함을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 지상과 클라우드 방송 시스템에서 간섭 및 잡음 신호를 모델링하고 수신기의 BER 성능을 전산 실험을 통하여 관찰하였다. 지상과 클라우드 방송 시스템은 하나 이상의 동일채널간섭이 존재하는 환경에서 동작해야 하므로 negative SINR 영역에서 동작해야 한다. 지상과 클라우드 방송 시스템의 요구되는 SINR 영역에서 간섭 및 잡음을 가우시안으로 모델링하였고 모델링된 간섭 및 잡음

모델을 이용하여 BER 성능을 관찰하였다. 최소자승 기반의 선형 보간법을 이용한 채널 추정 구현이 매우 간단한 장점이 있으나 큰 성능 열화로 인하여 클라우드 방송 시스템에서 요구되는 성능을 만족할 수 없다. 본 논문에서는 최소자승 기반의 선형 보간된 채널 추정 값을 여러 OFDM 심벌 구간에 걸쳐 평균함으로써 채널 추정 성능을 향상시킬 수 있는 방식을 제안하였다. 제안된 방식을 적용함으로써 클라우드 방송 시스템이 negative SINR 영역에서 동작함을 알 수 있다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] A global approach to the future of terrestrial television broadcasting," Future of Broadcast Television (FoBTv) Summit Joint Declaration, Nov. 11, 2011.
- [2] ATSC Press Releases, "Advanced television systems committee invites proposals for next-generation TV broadcasting technologies," <http://www.atsc.org/cms/index.php/communications/press-releases/315-advanced-television-systems-committee-invites-proposals-for-next-generation-tv-broadcasting-technologies>, March 26, 2013.
- [3] ATSC Technology Group 3.0, "Call for proposals for ATSC 3.0 physical layer a terrestrial broadcast standard," <http://www.atsc.org/cms/index.php/standards/other-technical-documents/314-call-for-proposals-for-atsc-30-physical-layer-a-terrestrial-broadcast-standard>, Mar. 26, 2013.
- [4] Y. Wu, B. Rong, K. Salehian, G. Gagnon, "Cloud Transmission: A new spectrum-reuse friendly digital terrestrial broadcasting transmission system," IEEE Trans. Broadcast., vol. 58, no. 3, Sept. 2012.
- [5] J. Kim, S. I. Park, and H. M. Kim, "Initial timing acquisition algorithm for terrestrial cloud transmission systems," The Journal of Korea Information and Communications Society, vol. 39C, no. 9, pp. 870-879, Sept. 2014.
- [6] S. I. Park, H. M. Kim, Y. Wu, J. Kim, "A newly designed quarter-rate QC-LDPC code for the Cloud Transmission system," IEEE Trans. Broadcast., vol.59, no.1, pp.155-159, March 2013.
- [7] S. I. Park, Y. Wu, H. M. Kim, N. Hur, and J. Kim, "Raptor-like rate compatible LDPC codes and their puncturing performance for the cloud transmission system," IEEE Trans. Broadcast., vol. 60. no. 2, pp. 239-245, June 2014.
- [8] J. Montalban1, B. Rong, S. I. Park, Y. Wu, J. Kim, H. M. Kim, L. Zhang, C. Nadeau, S. Laf?che, P. Angueira1, and M. Velez, "Cloud Transmission: System simulation and performance analysis," in Proc. of BMSB2013, June 2013.
- [9] S. I. Park, H. M. Kim, Y. Wu, L. Zhang, N. Hur, and J. Kim, "Robust synchronization for the OFDM-based cloud transmission system," in Proc. of BMSB 2013, June 2013.

저 자 소 개



김 정 창

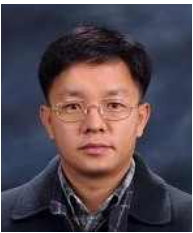
- 2000년 2월 : 한양대학교 전자·전자통신·전파공학과군 (공학사)
- 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 (공학석사)
- 2006년 8월 : 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 2008년 5월 : 포항공과대학교 정보통신연구소 전임연구원
- 2008년 5월 ~ 2009년 8월 : 포항공과대학교 미래정보기술사업단 연구조교수
- 2009년 8월 ~ 2010년 8월 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 선임연구원
- 2010년 9월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전자통신공학과 부교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-8612-9360>
- 관심분야 : 디지털통신시스템, 디지털방송 전송시스템, 디지털신호처리, MIMO

저 자 소 개



박 성 익

- 2000년 2월 : 한양대학교 전자·전자통신·전파공학과 (공학사)
- 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 (공학석사)
- 2011년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 (공학박사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송연구실 선임연구원
- 2013년 3월 ~ 현재: IEEE Transactions on Broadcasting 편집위원
- 2014년 11월 ~ 현재: IEEE 방송기술회 Distinguished Lecturer
- 주관심분야 : 오류정정부호, 디지털방송시스템, 디지털신호처리



김 흥 목

- 1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 한국과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 2001년 12월 : 포스코 기술연구소 연구원
- 2002년 1월 ~ 2003년 10월 : ㈜맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송연구실 실장
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-4756-7912>
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털신호처리, DTV 전송시스템