DBpia

논문 16-41-04-06 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '16-04 Vol.41 No.04
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2016.41.4.424

분산 다중 안테나 지상파 방송 시스템을 위한 프레임 동기화 방법

옥 규 순◆, 강 인 웅◆, 김 영 민*, 서 재 현*, 김 흥 묵*, 김 형 남°

Frame Synchronization Method for Distributed MIMO Terrestrial Broadcasting Systems

Kyu-Soon Ok◆, In-Woong Kang◆, Youngmin Kim*, Jae Hyun Seo*, Heung Mook Kim*, Hyoung-Nam Kim°

요 약

세계 주요 국가에서는 차세대 지상파 방송을 위해서 한정된 주파수 자원으로 전송량을 크게 높일 수 있는 MIMO(multiple-input multiple-output) 기술을 적용한 MIMO-OFDM 기반 지상파 방송 시스템의 개발 및 표준화를 활발하게 진행하고 있다. 특히, 공간상으로 떨어져 있는 송신 안테나를 사용하는 분산 다중 안테나 시스템에서는 각 안테나에서 전송한 신호가 수신 안테나로 다른 시간에 도착할 수 있고, 이와 같은 환경을 고려한 프레임 동기화 연구는 아직 활발하게 진행되지 않았다. 따라서, 본 논문에서는 두 개의 분산 송신 안테나로부터 전송되는 신호가 수신 안테나로 시간 간격을 두고 도착할 때 각 신호의 도착 시간을 탐지하기 위해 널 심볼을 삽입하는 방법을 제안한다. 프리앰블 이전에 널 심볼을 삽입하게 되면 두 송신 안테나에서 전송하는 신호를 수신기에서 구별해낼 수 있기 때문에 각 프레임의 시작 지점을 찾을 수 있다. 500 샘플 이하의 수신 차이가 날 때는 기존의 방법보다 우수한 성능을 보이는 것을 모의실험을 통해 확인하였다.

Key Words : Frame synchronization, Distributed MIMO, DVB-T2, ATSC 3.0

ABSTRACT

World's leading countries are developing next generation digital broadcasting system specifications to support UHDTV (ultra-high definition television) contents and other various services. In order to maximize the transmission capacity by using the bandwidth efficiently, most broadcasting systems adopt MIMO-OFDM. In distributed-MIMO systems, multiple transmit antennas are spatially separated and therefore result in multiple timing offsets. To overcome this problem, this paper proposes a technique using a null symbol to detect each individual signal from distributed transmit antennas. By inserting null symbols before preambles, the receiver can distinguish the signals between each transmit antennas and perform frame synchronization. When the reception time difference is shorter than 500 samples, the proposed method outperforms the conventional method.

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다. [R0101-16-0294, 융합형 실감방송 서비스 및 전송 기술 개발]
※ 본 논문은 BK21플러스, IT기반 융합산업 창의인력양성사업단에 의하여 지원되었음.
◆ First Author : Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, okxxi@pusan.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : Department of Electronics Engineering, Pusan National University, hnkim@pusan.ac.kr, 종신회원
* 한국전자통신연구원 미디어주파수공유·응용연구실, {tomatos, jhseo, kmkim}@etri.re.kr
논문번호 : KICS2015-12-410, Received December 28, 2015; Revised April 8, 2016; Accepted April 21, 2016

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

최근 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 아날로그 방송에서 디지털 방송으로 전환이 되고 있으며, 세계 주요 국가에서는 HD(high definition)를 넘어서는 고화질, 고해상도의 UHDTV(ultra-high definition television) 컨텐츠를 제공하고 다채널 서비스, 양방향 서비스 및 이동 방송 등을 고려한 차세대 지상파 방송을 위해 연구 개발 및 표준화를 활발하게 진행하고 있다. 대표적인 디지털 방송 시스템의 표준화 기구로는 북미의 ATSC(advanced television systems committee)와 유럽의 DVB(digital video broadcasting)가 있는데, 다양한 서비스를 지원하고 주파수를 효율적으로 사용하기 위해서 최신의 방송 시스템에서는 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 방식이 사용되고 있다[1].

디지털 통신에서 동기화란 송수신측간의 데이터를 주고받는 시점을 일치시키는 것을 말하는데, 정확한 동기화 알고리즘이 없다면 신뢰성 있는 통신은 불가능하다. 특히 OFDM 시스템은 심볼의 시작 지점을 제대로 추정하지 못하거나 부반송파들 간의 직교성이 유지되지 않을 때 ISI(inter-symbol interference) 및 ICI(inter-carrier interference)가 발생하여 심각한 성능 열화를 초래한다. 따라서 시간 및 반송파 주파수 오프셋의 영향을 추정, 보상하는 것이 필수적이다.

OFDM의 타이밍 동기화는 크게 두 단계로 이루어져 있는데, 먼저 신호의 대략적인 위치를 찾는 거친 타이밍 동기화(coarse timing synchronization)는 신호의 구조적 또는 통계적 특성을 이용하여 FFT(fast Fourier transform) 이전의 시간 영역에서 수행된다. 가장 기본적인 방법으로는 시간 영역에서 반복되는 구조를 가지는 심볼을 이용하여 상관 분석을 통해 최대 지점을 찾는 Schmidl and Cox(S&C) 방법이 있다[2]. 대략적인 타이밍 동기화를 수행한 이후 남아있는 오차와 샘플링 클럭에서 발생하는 타이밍 오프셋은 채널의 영향으로 간주하여 FFT 이후 주파수 영역에서 분산 파일럿을 통해 보상한다. 반송파 주파수 동기화는 크게 세 단계로 이루어져 있는데, 첫 번째로 S&C 방법에서 상관 분석을 통해 얻을 수 있는 최대 지점의 위상 값을 통해 FFO(fractional frequency offset)를 추정하고 그 추정 값을 원래 신호에 보상해 준다. 그런 다음 FFT를 수행하고 주파수 영역에서 PN(pseudo random) 시퀀스의 이동 정도를 분석하여 IFO(integer frequency offset)를 추정 및 보상한다[2]. 남아있는 오차 및 샘플링 클럭에서 발생하는 주파수 오프셋은 연속 파일럿을 이용하여 보상한다[3].

고화질과 고해상도의 UHD 방송과 더불어 여러 가지 새로운 서비스들이 요구되는 차세대 방송 시스템을 구축하기 위해서는 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하여 전송량을 크게 높일 수 있는 MIMO(multiple-input multiple-output) 기술이 필수적이다. 최신의 지상파 방송 시스템인 DVB-T2 (digital video broadcasting-2nd generation terrestrial) 표준에는 2×1 MISO(multiple-input single-output) 기술이 포함되어 있고,[4] ATSC 3.0에도 2×2 MIMO 기술을 고려하고 있다. 그리고 수신기가 방송망 내 어느 위치에 있더라도 2개 이상의 신호를 수신하여 공간 다이버시티를 획득할 수 있는 분산 다중 안테나를 사용하는 등 향후에는 분산 다중 안테나 기반의 지상파 방송 시스템의 개발이 예상된다.

분산 송신 안테나를 사용하는 시스템에서는 여러 개의 데이터 스트림이 수신 안테나에 각각 다른 시간에 도착하게 되어 다중 타이밍 오프셋(multiple timing offset; MTO)이 발생하고 송신 안테나들이 독립적인 발진기를 사용하여 다중 반송파 주파수 오프셋 (multiple carrier frequency offset; MCFO)의 영향도 받게 된다. 이러한 MTO와 MCFO는 심각한 성능 열화를 발생시키기 때문에 이들을 동시에 추정하고 보상해야 하지만 파일럿 설계 문제, 파일럿 오염(pilot contamination), 복잡성, 최적화 문제에서의 비볼록(non-convex)한 성질 등의 문제로 인해 해결되지 못한 부분들이 존재한다[5].

DVB-T2 시스템이 두 개의 분산 송신 안테나를 사용하는 MISO 전송 방식일 때는 MCFO가 발생하게 되고 이를 보상하기 위해 반복적으로 결합 최대 우도법을 적용하여 ICI를 제거하고 데이터를 탐지하는 방법이 존재한다[6]. 하지만 분산 다중 안테나를 사용하는 시스템에서 타이밍 오프셋을 추정하는 연구는 아직 부족한 상황이며[7,8] 특히 방송 시스템에 적용할 수 있는 연구 결과는 거의 존재하지 않는다[5]. 따라서 본 논문에서는 디지털 방송 시스템에서 두 개의 분산 송신 안테나로부터 전송되는 신호가 수신 안테나에 시간 간격을 두고 도착할 때 각 신호의 도착 시간을 탐지하기 위해 널 심볼을 삽입하는 방법을 제안한다. 프리앰블 앞에 널 심볼을 삽입하게 되면 두 송신 안테나로부터 받은 신호의 도착 지점을 구별할 수 있기 때문에 각 송신 안테나별로 프레임 동기화를 수행할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지상파 방송 시스템인 DVB-T2, ATSC 3.0에 있는 프리앰블의 구조 및 역할에 대해 알아보고 이를 이용한 프레임

www.dbpia.co.kr

동기화 방법에 대해 설명한다. 3장에서는 분산 다중 안테나 시스템에서 MTO가 발생하게 되면 프레임 동기화를 하는데 어떠한 문제점이 발생하는지 설명하고 이를 해결하기 위한 프레임 동기화 방법을 제안한다. 그리고 4장에서 결론을 내리면서 본 논문을 마무리한다.

Ⅱ. 지상파 방송 시스템의 프레임 동기화

2.1 지상파 방송 시스템에 적용된 프리앰블의 역할 및 구조

디지털 지상파 방송 시스템은 프레임의 시작 지점에 특수한 구조를 가지는 프리앰블을 삽입하여 프레임 단위로 거친 타이밍 동기화 및 FFO 보상을 수행한다. DVB-T2 시스템에 새롭게 추가된 프리앰블인 P1은[4] T2 프레임의 가장 앞부분에 위치하여 크게 네 가지의 역할을 하는데, 첫 번째로 수신기가 특정한 RF 채널에서 T2 신호가 존재하는지 빠르게 확인하는 데 사용된다. 두 번째는 확인된 신호가 T2 신호인지 다른 표준의 신호인지 식별하는 데 사용된다. 세 번째로는 프레임의 나머지 부분을 복호하는 데 필요한 기본적인 전송 파라미터들을 포함하고 있다. 마지막으로 타이밍과 주파수 동기화를 하는 데 사용된다.

시간 영역에서 P1 심볼의 구조는 그림 1과 같다. 모든 수신기에서 신호를 발견할 수 있도록 하기 위해 P1의 길이는 FFT 길이, 주파수 대역과 보호 구간의 길이 등에 영향을 받지 않고 고정되어 있다. P1 심볼은 1K OFDM 심볼 형태의 A 부분과, A 부분의 앞 542 샘플을 주파수 이동시켜서 복사한 보호 구간인 C부분, 그리고 A 부분의 뒷 482 샘플을 주파수 이동시킨 뒤 복사한 보호 구간인 B부분으로 이루어져 있다. 심볼의 길이는 A 부분 542 샘플, B 부분 482 샘플, C 부분 542 샘플로 총 2048 샘플이다.

ATSC 3.0 시스템에서 프리앰블의 역할을 하는 부트스트랩도 P1과 마찬가지로 프레임의 시작 지점에 위치하고, 여러 개의 심볼로 이루어져 있다. 그 중 첫 번째 심볼은 서비스를 발견하고 프레임 동기화, 주파수 오프셋 추정, 초기 채널 추정 등을 수행하는 데 사용된다. 나머지 심볼들은 데이터 심볼들을 복호하기 위한 시그널링 정보를 담고 있다.

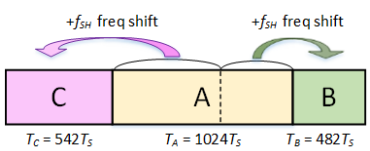


그림 1. 시간 영역에서 P1 심볼의 구조
Fig. 1. Time domain P1 symbol structure

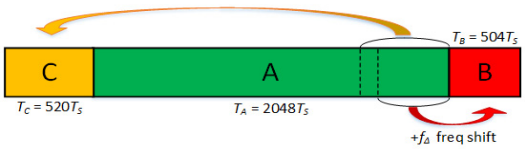


그림 2. 시간 영역에서 부트스트랩 심볼의 C-A-B 구조
Fig. 2. C-A-B time domain bootstrap symbol structure

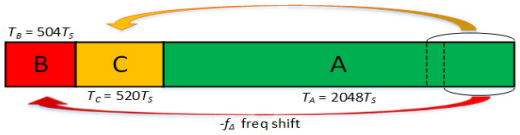


그림 3. 시간 영역에서 부트스트랩 심볼의 B-C-A 구조
Fig. 3. B-C-A time domain bootstrap symbol structure

부트스트랩 심볼은 A, B, C의 세 부분으로 구성되어 있는데, 먼저 A 부분은 2K OFDM 심볼의 형태를 하고 있으며 B 부분은 A 부분의 뒷부분을 복사한 뒤 주파수를 $\pm f_\Delta$만큼 이동시킨 보호구간이며 길이는 504 샘플이다. C 부분은 A 부분의 뒷부분을 복사한 보호구간이며 길이는 520 샘플이다. 각각의 부트스트랩 심볼 주기는 $500\,\mu s$이다. 시간 영역에서 부트스트랩 심볼은 두 가지의 구조를 가지고 있는데, 동기화에 사용되는 첫 번째 심볼은 그림 2와 같이 C-A-B 구조이며 시그널링 정보를 담고 있는 나머지 심볼들은 그림 3처럼 B-C-A 구조이다.

P1과 부트스트랩은 시간 영역에서 유사한 구조이기 때문에 GIC 방법을 사용하여 신호를 탐지하고 동기화를 수행할 수 있다[10]. 따라서 본 논문에서는 P1 신호를 이용하여 분석 및 모의실험을 진행하였다.

2.2 프리앰블을 이용한 프레임 동기화

P1을 탐지하여 프레임의 시작 지점 및 주파수 오프셋을 추정하기 위해서 심볼의 원래 부분인 A 부분과 양 옆의 보호 구간 B, C 부분의 유사성을 이용한 GIC 방법이 사용된다. 그림 4는 P1 탐지를 위한 이중 상관기의 블록도이며 그림 5는 P1 심볼의 탐지 과정을 나타낸 그림이다[11,12]. 각 상관기는 지연 소자, 곱셈기와 이동 평균 필터로 이루어져 있으며 상단의 상관기는 심볼의 C 부분을, 하단의 상관기는 B 부분을 탐지하게 된다. 그림 4의 상단 부분은 수신 신호의 A 부분의 앞 542 샘플과 수신 신호를 $-f_{SH}$만큼 주파수 이동을 시킨 뒤 T_C 만큼 지연시킨 신호의 C 부분을 겹치

www.dbpia.co.kr

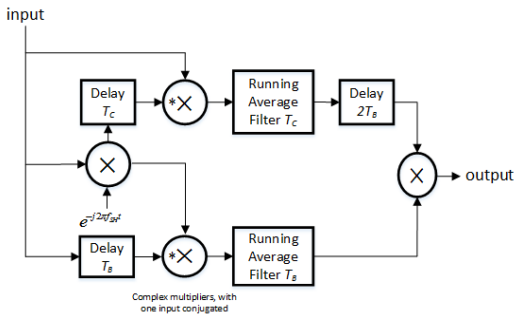


그림 4. P1 탐지를 위한 이중 상관기의 블록도
Fig. 4. Block diagram of double correlator for P1 detection

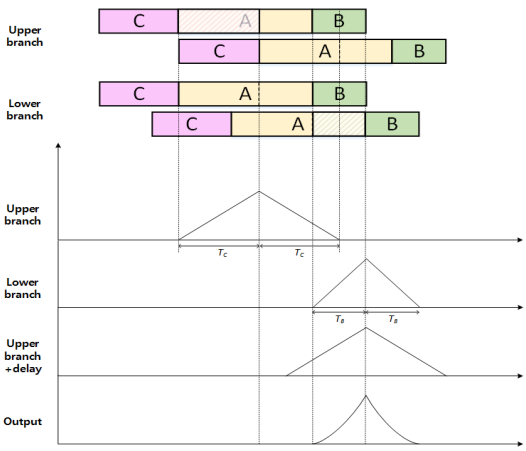


그림 5. Detection procedure of P1 symbol
Fig. 5. P1 심볼의 탐지 과정

게 하기 위해 설계된 부분이며, 하단 부분은 수신 신호를 $-f_{SH}$만큼 주파수 이동을 시킨 신호의 B 부분과 수신 신호를 T_B만큼 지연시킨 신호의 A 부분의 뒷 482 샘플을 겹치게 하기 위해 설계된 부분이다. 각 부분에서 곱해진 신호가 길이 T_C, T_B인 이동 평균 필터를 지나게 되면 삼각형 모양의 출력 파형이 나타나게 된다. 상단의 상관기 출력을 $2T_B$만큼 지연시킴으로써 두 상관기의 최대 지점을 나란히 맞춘 뒤 곱한 이중 상관기의 출력의 최대 지점 위치로 P1의 시작 지점을 추정할 수 있고 그 때의 위상 값을 통해 FFO를 추정할 수 있다. 그리고 이중 상관기를 사용함으로써 잡음의 영향과 오탐지 확률을 감소시켜서 탐지 성능을 높일 수 있다.

그림 6은 P1 신호의 탐지를 위한 이중 상관기의 출력 파형이다. P1 심볼 양 옆에 보호 구간의 길이가 1024 샘플인 4K OFDM 심볼을 삽입하였고,

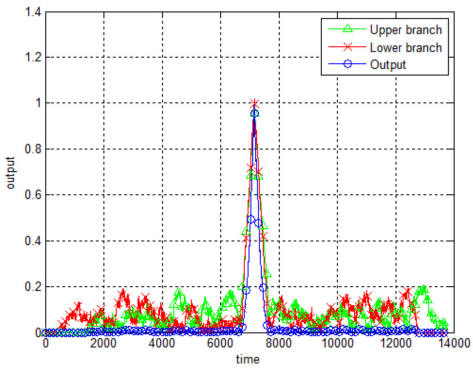


그림 6. P1 탐지를 위한 이중 상관기의 출력
Fig. 6. Output of double correlator for P1 detection

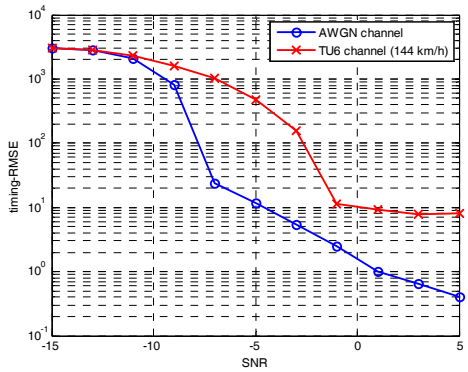


그림 7. P1 탐지를 위한 이중 상관기의 RMSE 성능
Fig. 7. RMSE performance of double correlator for P1 detection

AWGN(additive white Gaussian noise) 채널에서 SNR(signal-to-noise ratio)이 0 dB인 상황에서 모의실험을 수행하였다. 상단, 하단 상관기의 출력을 곱함으로써 잡음 성분이 줄어들어 더욱 정확한 위치 탐지가 가능함을 확인할 수 있다. 그림 7은 SNR에 따른 RMSE(root mean square error) 성능이고, 여기서 RMSE는 P1 신호의 실제 시작 지점과 추정한 위치의 샘플 차이 값의 제곱의 평균에 제곱근을 취한 값으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$RMSE = \sqrt{E[(x-\hat{x})^2]} \quad (1)$$

여기서 x는 P1 신호의 실제 시작 지점이고, $\hat{x}$는 이중 상관기를 통해 찾아낸 P1 시작 지점의 추정 값이다. AWGN 채널에서는 SNR이 증가함에 따라 오차가 발생하는 빈도가 점점 줄어들어 더욱 정확한 위치로 추정을 하고, typical urban(TU6) 채널에서는 SNR =

www.dbpia.co.kr

표 1. TU6 채널 프로파일
Table 1. TU6 channel profile

Tap number	Delay (μs)	Power (dB)
1	0.0	-3
2	0.2	0
3	0.5	-2
4	1.6	-6
5	2.3	-8
6	5.0	-10

0 dB 근방까지는 RMSE가 계속 감소하지만 SNR이 더욱 커져도 다중 경로 및 도플러의 영향에 의해 약간의 오차가 계속 발생하고, SNR = 5 dB일 때 평균 7.5 샘플의 오차가 발생한다. 여기서 TU6 채널은 도심 지역에서의 이동 수신을 고려한 채널로 6개의 탭으로 구성되어 있으며 상세한 프로파일은 표 1에 주어져 있다[11].

Ⅲ. 분산 다중 안테나 지상파 방송 시스템의 프레임 동기화

3.1 분산 다중 안테나 시스템의 동기화 문제

모든 N_T, N_R개의 송·수신 안테나가 공간상으로 떨어져 있고, 각각 다른 발진기를 갖는 일반적인 MIMO 시스템에서 i번째 송신 안테나, j번째 수신 안테나 사이의 타이밍 오프셋과 반송파 주파수 오프셋을 각각 $\delta_{j,i}$, $\varepsilon_{j,i}$라고 할 때, 이러한 시스템의 MTO, MCFO는 행렬 형태로 다음과 같이 나타낼 수 있다[13].

$$\Delta = \begin{bmatrix} \delta_{1,1} & \delta_{2,1} & \cdots & \delta_{1,N_T} \\ \delta_{2,1} & \delta_{2,2} & \cdots & \delta_{2,N_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{N_R,1} & \delta_{N_R,2} & \cdots & \delta_{N_R,N_T} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$E = \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,1} & \varepsilon_{2,1} & \cdots & \varepsilon_{1,N_T} \\ \varepsilon_{2,1} & \varepsilon_{2,2} & \cdots & \varepsilon_{2,N_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varepsilon_{N_R,1} & \varepsilon_{N_R,2} & \cdots & \varepsilon_{N_R,N_T} \end{bmatrix} \quad (3)$$

그러나 현실적인 시스템을 고려하게 되면 위의 모델을 더욱 간단하게 나타낼 수 있다. 먼저 한 곳에 모든 송신 안테나들이 공간상으로 근접해 있고 다른 곳에서 수신 안테나들도 근접해 있는 병치형 다중 안테나 시스템의 경우에는 송신 안테나들과 수신 안테나들은 각각 동일한 발진기를 사용하고 이들 사이의 거리는 모두 같다고 간주할 수 있다. 따라서 식 (2)와 (3)을 다음과 같이 간단하게 표현할 수 있다.

$$\Delta = [\delta] \quad (4)$$

$$E = [\varepsilon] \quad (5)$$

송신 안테나들이 공간상으로 떨어져 있는 분산 다중 안테나 시스템은 여러 개의 송신 안테나에서 보낸 데이터 스트림들이 하나의 수신 안테나로 각각 다른 시간에 도착할 수 있지만, 수신 안테나들은 근접해있기 때문에 수신 안테나별 도착 시간은 차이가 없다고 간주할 수 있다. 따라서 송신 안테나 개수만큼 MTO가 존재하게 되고 각 송신 안테나마다 서로 다른 발진기를 사용하기 때문에 송신 안테나 개수만큼의 MCFO가 존재한다. 이때 식 (2)와 (3)을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta = \left[\delta_{1,1}\ \delta_{2,1} \cdots\ \delta_{1,N_T}\right] \quad (6)$$

$$E = \left[\varepsilon_{1,1}\ \varepsilon_{2,1} \cdots\ \varepsilon_{1,N_T}\right] \quad (7)$$

DVB-T2 시스템에는 MISO 전송 모드일 때 수정된 Alamouti 인코딩 기술이 적용되어 있지만, P1 신호에는 이러한 기술이 적용되지 않고 단순히 같은 신호를 두 개의 송신 안테나로 전송하는 방법을 사용한다[4]. 만약 송신 안테나들이 공간상으로 떨어져 있는 분산 다중 안테나 상황에서[6,14] BS1과 수신기의 거리인 d_1, BS2와 수신기의 거리인 d_2가 거의 비슷하여

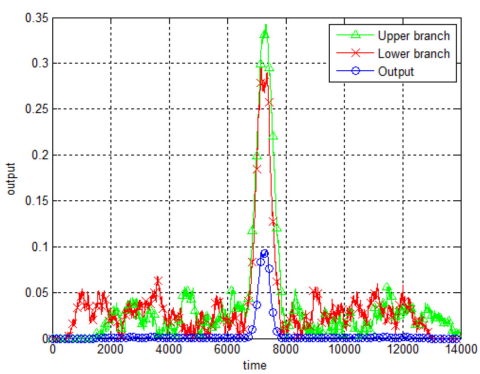


그림 8. 2×1 MISO 시스템에서 200 샘플의 수신 시간 차이가 존재할 때 P1 탐지를 위한 이중 상관기의 출력
Fig. 8. Output of double correlator for P1 detection in 2×1 MISO system with 200 samples of reception time difference

www.dbpia.co.kr

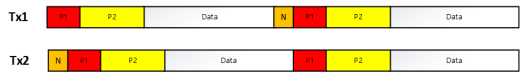


그림 9. 수신 시간의 차이를 구별하기 위해 제안하는 프레임의 구조
Fig. 9. Proposed frame structure to distinguish reception time difference

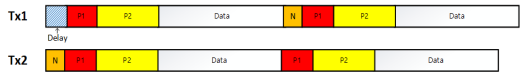


그림 10. 제안하는 방식을 사용하였을 때 1번 송신 안테나에 지연이 발생한 경우
Fig. 10. Case that delay occurs in the Tx1 when using the proposed method

송신 신호들이 수신 안테나에 거의 동시에 도착할 때는 병치형 다중 안테나와 같은 상황이라고 간주할 수 있다. 하지만 d_1과 d_2의 차이가 커서 신호들의 도착 시간 차이가 수백 샘플 정도의(수십 μs) 차이가 나게 되면 두 신호의 시작 지점을 각각 찾아내기가 힘든 상황이 발생할 수 있다. 그림 8은 P1 심볼 양 옆에 보호 구간의 길이가 1024 샘플인 4K OFDM 심볼을 삽입하고, AWGN 채널에서 SNR 10 dB일 때 두 개의 송신 안테나가 200 샘플(약 $21.9\,\mu s$)의 시간 차이를 가지고 수신 안테나로 도착한 상황에서의 이중 상관기의 출력 파형을 나타낸 그림이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 두 삼각 파형이 어긋나게 겹쳐지면서 두 신호의 정확한 시작 지점을 각각 추정하기 어렵다. 다음 절에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 널 심볼을 삽입함으로써 각 신호의 시작 지점을 추정하는 방법을 제안한다.

3.2 제안하는 프레임 동기화 방법

분산 다중 안테나를 사용하는 지상파 방송 시스템에서 신호들의 수신 시간 차이가 거의 없거나 각 삼각 파형을 구분할 수 있을 정도로 클 때에는 문제가 발생하지 않지만, 신호들이 수십 샘플에서 500 샘플 정도의 시간 차이를 가지고 수신 안테나로 도착할 때는 각 신호의 시작 위치를 정확하게 찾을 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 그림 9와 같이 프리앰블 앞에 널 심볼을 삽입함으로써 송신 안테나 간에 시간 간격을 두고 전송하는 방법을 제안한다. 먼저 첫 번째 프레임을 전송할 때는 2번 안테나에 널 심볼을 삽입하여 1번 안테나와의 시간 간격을 두고 프레임을 전송한다. 그리고 두 번째 프레임을 전송할 때는 반대로 1번 안테나에 널 심볼을 삽입하여 전송한다. 상황에 따라 두 신호를 구분할 수 있는 최소

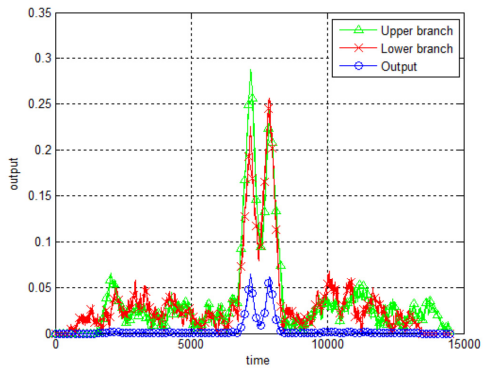


그림 11. 2×1 MISO 시스템에서 200 샘플의 수신 시간 차이가 존재할 때 P1 탐지를 위한 이중 상관기의 출력 (제안하는 방법)
Fig. 11. Output of double correlator for P1 detection in 2×1 MISO system with 200 samples of reception time difference (proposed method)

한의 길이에서 데이터 심볼의 보호 구간 길이의 사이로 널 심볼의 길이를 선택할 수 있다.

프레임의 시작 지점에 널 심볼을 삽입하게 되면 널 심볼의 길이만큼 페이로드의 손실이 발생하게 된다. DVB-T2 프레임의 최대 길이는 250 ms이고 P1 심볼의 길이는 $224\,\mu s$인데, 이 때 프레임의 전체 길이에 대한 P1 심볼의 길이는 약 0.09%이다. 그리고 널 심볼의 길이는 P1 심볼의 길이의 절반 이하로 짧게 설정하기 때문에 페이로드의 손실은 매우 작다고 할 수 있다. 송신 안테나별로 프레임 동기화를 수행하여 안테나 간의 시간 차이를 추정한 이후에는 널 심볼을 제거하고 연속적인 데이터 스트림을 전송하여 페이로드의 손실을 더 줄일 수도 있다.

제안하는 프레임 구조를 사용하여 수신기에서 신호를 받을 때 세 가지 경우를 생각해 볼 수 있다. 첫 번째 경우는 1번 안테나의 신호가 2번 안테나의 신호보다 먼저 도착하는 경우이다. 이 경우에는 1번 안테나로부터 받은 P1 심볼보다 2번 안테나로부터 받은 P1 심볼이 널 심볼의 길이와 지연 길이를 더한 만큼 늦게 들어오게 되고, 따라서 두 프레임 사이의 간격이 더욱 멀어지게 되므로 각 P1 심볼의 시작 지점을 쉽게 추정할 수 있다. 두 번째 경우는 두 안테나의 시간 차이가 거의 없는 경우이다. 이때는 두 신호를 구분 할 수 있는 길이의 널 심볼을 삽입하여 두 프레임의 도착 시간을 의도적으로 떨어트려 놓았기 때문에 첫 번째 경우와 마찬가지로 각 신호의 시작 지점 추정이 가능하다. 하지만 세 번째 경우는 그림 10과 같이 2번 안테나의 신호가 1번 안테나의 신호보다 먼저 도착하는 경우인데, 이 때 널 심볼의 길이와 비슷한 지연이 1번

www.dbpia.co.kr

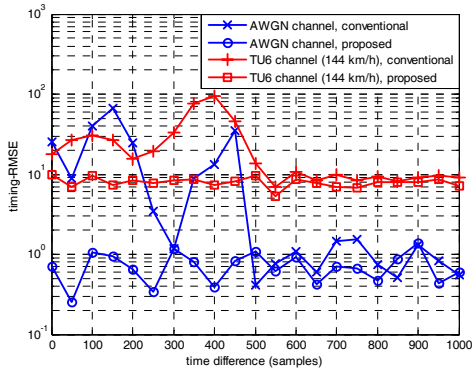


그림 12. P1 탐지를 위한 이중 상관기의 수신 시간 차이에 따른 RMSE 성능 (2×1 MISO, 1번 송신 안테나)
Fig. 12. Reception time difference vs. RMSE performance of double correlator for P1 detection (2×1 MISO, Tx1)

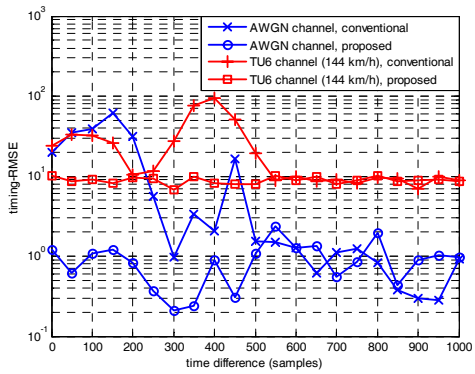


그림 13. P1 탐지를 위한 이중 상관기의 수신 시간 차이에 따른 RMSE 성능 (2×1 MISO, 2번 송신 안테나)
Fig. 13. Reception time difference vs. RMSE performance of double correlator for P1 detection (2×1 MISO, Tx2)

안테나에서 발생하게 되면 두 안테나의 신호가 구별이 되지 않는 상황이 발생할 수 있다. 하지만 첫 번째 프레임에서 동기화에 실패하거나 추정 오차가 크더라도 두 번째 프레임에서는 반대로 1번 안테나에 널 심볼을 삽입했기 때문에 두 신호를 구별할 수 있다. 따라서 그림 9와 같은 방법으로 널 심볼을 삽입하게 되면 모든 경우에서 두 개의 P1 심볼의 시작 지점을 각각 추정할 수 있다.

그림 11은 그림 8과 같은 상황에서 제안하는 방법을 적용하였을 때 이중 상관기의 출력 파형이다. 200 샘플의 신호 수신 시간 차이가 날 때 길이 512 샘플의 널 심볼을 삽입함으로써 두 삼각 파형을 구분할 수 있어 신호의 시작 위치를 각각 탐지할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

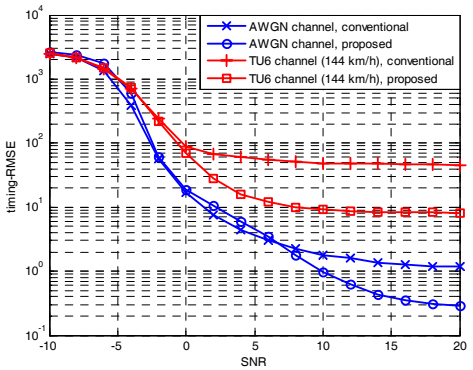


그림 14. P1 탐지를 위한 이중 상관기의 SNR에 따른 RMSE 성능 (2×1 MISO, 1번 송신 안테나)
Fig. 14. SNR vs. RMSE performance of double correlator for P1 detection (2×1 MISO, Tx1)

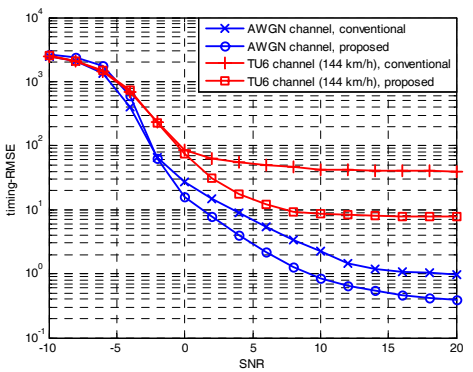


그림 15. P1 탐지를 위한 이중 상관기의 SNR에 따른 RMSE 성능 (2×1 MISO, 2번 송신 안테나)
Fig. 15. SNR vs. RMSE performance of double correlator for P1 detection (2×1 MISO, Tx2, proposed method)

그림 12, 13은 1, 2번 송신 안테나에서 전송한 신호의 수신 시간 차이에 따른 RMSE 성능이다. 기존 DVB-T2 시스템처럼 같은 신호를 동시에 전송하게 되면 수신 시간이 차이가 없을 때는 오차가 거의 발생하지 않지만 시간 차이가 500 샘플 이하로 나는 경우에는 두 삼각 파형이 어긋나게 겹쳐져서 정확한 프레임의 시작 지점을 추정하기 어렵다. 하지만 제안하는 방법을 사용하면 길이가 512 샘플인 널 심볼을 삽입하여 두 프레임의 시작 지점을 떨어트려 놓았기 때문에 시간 차이에 관계없이 일정한 성능을 보인다. 500 샘플 이상의 시간 차이가 날 때에는 기존의 방법에서도 삼각 파형이 어느 정도 멀리 떨어져 있기 때문에 각각의 시작 지점을 추정할 수 있고, 따라서 두 방법 모두 프레임의 시작 지점을 찾을 수 있다.

300 샘플의 시간 차이가 나는 상황에서 그림 14는

www.dbpia.co.kr

1번 송신 안테나에서 전송한 신호의 P1의 시작 지점, 그림 15는 2번 송신 안테나에서 전송한 신호의 P1 시작 지점 추정 값의 SNR에 따른 RMSE 성능이다. 먼저 기존의 방법은 각 신호의 도착 지점을 정확하게 추정할 수 없기 때문에 SNR이 높아져도 제안하는 방법보다 오차가 더 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 그림 7의 단일 안테나 시스템의 RMSE 성능과 비교해 보았을 때, 512 샘플의 널 심볼을 삽입한 제안하는 방법의 성능은 단일 안테나 시스템과 마찬가지로 AWGN 채널에서는 SNR이 증가함에 따라 오차가 발생하는 빈도가 점점 줄어들어 더욱 정확한 위치로 추정을 하고, TU6 채널에서는 SNR = 10 dB 근방까지는 RMSE가 계속 감소하지만 SNR이 더욱 커져도 다중 경로 및 도플러의 영향에 의해 약간의 오차가 계속 발생하고, SNR = 10 dB일 때 1, 2번 송신 안테나에서 각각 평균 9.4, 8.7 샘플의 오차가 발생한다.

Ⅳ. 결 론

분산 다중 안테나를 사용하는 지상파 방송 시스템에서 신호들의 도착 시간 차이가 수백 샘플 정도의 차이가 나게 되면 이중 상관기의 출력에서 두 삼각 파형이 어긋나게 겹쳐지면서 두 신호의 시작 지점을 각각 찾아내기가 힘든 상황이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 널 심볼을 삽입하는 방법을 제안한다. 널 심볼 삽입 방식을 사용하면 두 송신 안테나에서 전송하는 신호를 수신기에서 구별해낼 수 있기 때문에 각 프레임의 시작 지점을 찾을 수 있다. 500 샘플 이하의 수신 시간 차이가 날 때는 기존의 방법보다 우수한 성능을 보이는 것을 모의실험을 통해 확인하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 송신기의 구조를 최소한으로 수정하면서도 우수한 성능을 보이기 때문에 향후 지상파 방송 시스템에서 사용될 것으로 보이는 분산 다중 안테나 시스템에 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] H. M. Eum, J. H. Seo, H. M. Kim, and N. H. Hur, “Realistic terrestrial digital broadcasting technology,” *J. KICS*, vol. 32, no. 2, pp. 63-72, Jan. 2015.

[2] T. M. Schmidl and D. C. Cox, “Robust frequency and timing synchronization for OFDM,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 45, no. 12, pp. 1613-1621, Dec. 1997.

[3] S. A. Fetchel, “OFDM carrier and sampling frequency synchronization and its performance on stationary and mobile channels,” *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 46, no. 3, Aug. 2000.

[4] ETSI, *Digital video broadcasting (DVB): framing structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system* (DVB-T2),” ETSI EN 302 755, V1.1.1, 2009.

[5] A. A. Nasir, S. Durrani, H. Mehrpouyan, S. D. Blostein, and R. A. Kennedy, “Timing and carrier synchronization in wireless communication systems: a survey and classification of research in the last five years,” *submitted for J. publication*, Nov. 2015. [arXiv: 1507. 02032]

[6] E. S. Jeon, J. Seo, J. Yang, and D. K. Kim, “Iterative joint detection, ICI cancelation and estimation of multiple CFOs and channels for DVB-T2 in MISO transmission mode,” IEEE *Trans. Broadcasting*, vol. 60, no. 1, pp. 29-37, Mar. 2014.

[7] G. Liu, J. H. Ge, and Y. Guo, “Time and frequency offset estimation for distributed multiple-input multiple-output orthogonal frequency division multiplexing systems,” *IET Commun.*, vol. 4, no. 6, pp. 708-715, Apr. 2010.

[8] H. C. Wang and C. L. Wang, “A compact preamble design for synchronization in distributed MIMO OFDM Systems,” *IEEE VTC Fall*, pp. 1-4, San Francisco, USA, Sept. 2011.

[9] ATSC Technology Group 3.0, *ATSC candidate standard: system discovery and signaling*, Doc. A/321 Part 1:2015, May 2015.

[10] K. S. Ok, I. W. Kang, H. J. Kim, Y. M. Kim, J. H. Seo, H. M. Kim, and H. N. Kim, “Frame synchronization method by detecting bootstrap signal for ATSC 3.0,” in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 17-18, Seoul, Korea, Nov. 2015.

[11] ETSI, *Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system* (DVB-T2), ETSI TS 102 831, V1.2.1, Aug. 2012.

[12] D. H. Sayed, M. Elsabrouty, and A. F.

www.dbpia.co.kr

Shalash, "Improved synchronization, channel estimation, and simplified LDPC decoding for the physical layer of the DVB-T2 receiver," *EURASIP J. Wirel. Commun. and Netw.*, vol. 2013, no. 1, pp. 1-16, Dec. 2013.

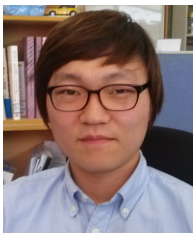
[13] K. Deng, "Frequency synchronization in MIMO systems," *IEEE CECNet*, pp. 1832-1835, Yichang, China, Apr. 2012.

[14] G. S. Gwak, J. K. Kim, and J. M. Ahn, "Performance analysis of multiple-antenna receiver in cloud transmission system for building single frequency networks," *J. KICS*, vol. 39, no. 8, pp. 474-480, Aug. 2014.

옥 규 순 (Kyu-Soon Ok)

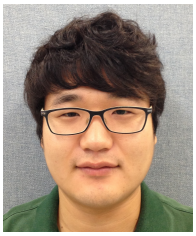
2014년 2월 : 부산대학교 전자전기공학부 학사
2016년 2월 : 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사
<관심분야> 디지털 방송신호처리

강 인 웅 (In-Woong Kang)



2011년 2월 : 부산대학교 전자공전기공학부 학사
2011년 3월~현재 : 부산대학교 전자전기컴퓨터공학과 석박사통합과정
<관심분야> 디지털 방송신호처리

김 영 민 (Youngmin Kim)



2009년 2월 : 전북대학교 전자공전기공학부 학사
2011년 2월 : 전북대학교 전자공학과 석사
2011년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 미디어주파수공유·응용연구실 선임연구원
<관심분야> 디지털 방송/통신 신호처리

서 재 현 (Jae Hyun Seo)

1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
2001년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
2016년 2월 : 경북대학교 전자공학과 박사
2001년 1월~현재 : 한국전자통신연구원 미디어주파수공유·응용연구실 책임연구원
<관심분야> 디지털 방송시스템, 디지털 통신 신호처리

김 흥 묵 (Heung Mook Kim)

1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 학사
1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 석사
2013년 2월 : 한국과학기술원 정보통신공학과 박사
1993년~2001년 : POSCO 기술연구소 연구원
2002년~2003년 : ㈜맥스웨이브 연구개발팀 팀장
2004년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 미디어주파수공유·응용연구실 실장
<관심분야> RF 방송신호처리, 디지털 방송/통신 신호처리

김 형 남 (Hyoung-Nam Kim)

1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 학사
1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 석사
2000년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 박사
2000년 5월~2003년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
2003년 3월~2007년 2월 : 부산대학교 전자공학과 조교수
2007년 3월~2012년 2월 : 부산대학교 전자전기공학부 부교수
2012년 3월~현재 : 부산대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 적응신호처리, 레이더 및 소나 신호처리, 디지털 방송신호처리, 생체신호처리

www.dbpia.co.kr