

논문 2017-54-6-1

5G 이동 통신을 위한 W-OFDM 변조방식의 MIMO 시스템에서 동기화 시스템 설계와 성능 평가

(Design and Performance of Synchronization in the
MIMO/W-OFDM Modulation System for 5G Mobile Communication)

안창영*, 유흥균**

(Changyoung An and Heung-Gyoon Ryu[©])

요약

본 논문에서는 5세대 이동통신을 위한 새로운 변조 기술 중 하나인 W-OFDM 기술과 MIMO 기술을 결합한 시스템을 설계 하며, 이 시스템에 다양한 동기화 기술들을 적용하고, 각 동기화 방법들의 동기화 성능을 비교 평가 및 분석을 수행한다. 본 논문에서 비교 평가 및 분석을 위해 Schmidl, Minn, Park의 방법을 고려하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 시간 메트릭의 Plateau의 경우 Schmidl, Minn, Park 순서로 좁은 특성을 보이는 것을 확인할 수 있으며, W-OFDM 변조에서 OOB 전력을 저감시키기 위해 확장 길이를 확장하여도 동기 추정기의 시간 메트릭 특성은 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 기존 OFDM 방식에서 사용하는 동기화 방식이 W-OFDM 변조에서도 효과적으로 사용될 수 있음을 나타낸다.

Abstract

In this paper, we have designed a MIMO system using a W-OFDM modulation scheme. And then, we have evaluated and analyzed synchronization performance of the system. In this paper, we have considered Schmidl's method, Minn's method, and Park's method. As simulation results, Schmidl's method has wide plateau of timing metric and Park's method has impulse-shape timing metric. Also, we can confirm that timing metric characteristic of synchronization estimator is not changed by adjusting extension length of W-OFDM system. Because of this, we can confirm that synchronization method of OFDM can be effectively used in MIMO system using W-OFDM modulation.

Keywords : OFDM, W-OFDM, MIMO, synchronization, 5th generation

I. 서론

현재 고용량 차세대 멀티미디어 및 서비스가 증가함에 따라 더욱 높은 용량을 갖는 통신기술이 요구되고 있다^[1~2]. 현재 4세대 이동통신 시스템의 통신용량을 뛰

어넘는 콘텐츠를 효율적으로 지원하기 위하여 새로운 5세대 이동통신 시스템 개발 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다^[3~5].

5세대 이동통신 시스템은 향상된 모바일 데이터 트래픽 지원, 초 다수의 무선 접속 지원, 고신뢰 및 저지연 서비스 지원을 목표로 하고 있으며, 이러한 시나리오를 지원하기 위하여 통신 시스템의 각 계층에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 통신 시스템의 계층 중에 물리계층 기술에 초점을 둔다. 5세대 이동통신을 위한 물리계층의 연구에는 향상된 변조기술 연구와 MIMO(multiple-input multiple-output) 기술 향상 연구가 있다^[6]. 새로운 변조기술은 주파수 스펙트럼

* 학생회원, ** 정회원, 충북대학교 전자공학과
(Department of electronics engineering, Chungbuk National University)

※ 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. 2016R1D1A1B01008046).

© Corresponding Author (E-mail : ecomm@cbu.ac.kr)

Received ; January 26, 2017 Revised ; May 18, 2017

Accepted ; May 26, 2017

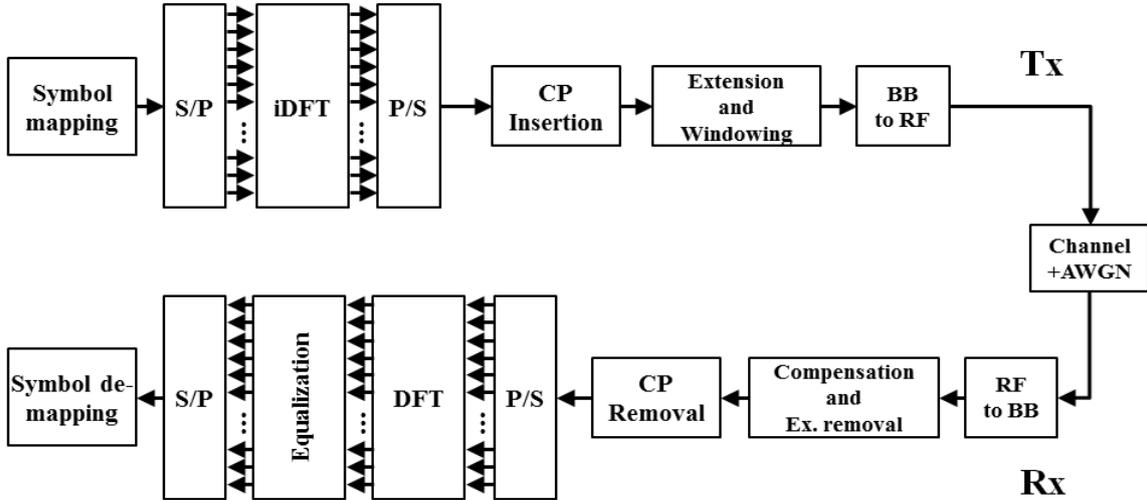


그림 1. W-OFDM 시스템의 송수신기 구성도

Fig. 1. Block diagram of transmitter and receiver for W-OFDM.

의 OOB(out-of-band) 특성을 저감시켜 스펙트럼 효율을 향상시키는 방향으로 연구가 진행되고 있으며, MIMO 기술의 경우 더욱 많은 송수신 안테나를 사용하는 향상된 MIMO 기술 구현을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

첫째로, 새로운 변조기술 연구에 대해 살펴보면, 기존의 OFDM 시스템이 갖는 높은 OOB는 할당된 주파수 자원을 활용하는데 방해가 된다. 예를 들어 10MHz의 대역폭을 1024 크기의 FFT(fast Fourier transform) 연산을 이용하여 사용할 경우 601개의 부반송파만을 이용할 수 있으며 외곽의 다수의 부반송파를 사용할 수 없게 된다^[6]. 이렇게 사용하지 못하는 부반송파 부분만큼 스펙트럼 효율이 감소한다. 5세대 이동통신을 위한 변조기술은 OOB 전력을 저감시켜 더욱 많은 부반송파를 할당하여 사용하게 함으로써 스펙트럼 효율을 향상시킨다^[6]. OOB 전력 저감을 위한 기술로는 Windowing 방식과 Filtering 방식이 사용된다.

다음으로, MIMO 기술 연구에 대해 살펴보면, 현재 4세대 이동통신 시스템은 소수의 송수신 안테나를 사용하여 MIMO 시스템을 구성한다. 그러나 더욱 높은 통신용량 향상을 위해 다수의 송수신 안테나를 이용한 MIMO 시스템 개발 연구를 수행하고 있다. 이와 같은 MIMO 시스템에서는 각각의 송수신 안테나로 다중 스트림이 전송되기 때문에, 각 스트림간의 동기가 매우 중요하다. 각 스트림간의 동기화가 완료되어야 MIMO 디코딩을 하여 다중 스트림을 올바르게 수신할 수 있다.

5세대 이동통신 시스템은 각 계층의 향상된 기술을 복합적으로 활용하여 시스템이 구축된다. 본 논문에서는 새로운 변조기술로 잘 알려진 W-OFDM(windowing-orthogonal frequency division multiplexing) 기술과 MIMO 기술이 결합된 시스템에서 다양한 동기화 방식에 따른 동기화 성능 특성을 비교 평가하고 분석하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 기존의 OFDM 시스템과 W-OFDM 기반의 MIMO 시스템 설계를 먼저 수행하고, 다양한 동기화 방식에 대해서 소개한다. 그 다음, W-OFDM 기반의 MIMO 시스템에서 각 동기화 기술을 사용했을 때의 동기화 성능을 시뮬레이션을 통해 평가하고 분석한다.

II. 시스템 모델

5세대 이동통신 시스템을 위한 후보 변조 기술 중 하나로 W-OFDM 시스템이 잘 알려져 있다. W-OFDM 시스템은 기존의 OFDM 기술에 Windowing 기법을 적용하여 OOB 전력을 저감시킨 기술이다. 본 논문에서는 이 W-OFDM 기술 기반의 MIMO 시스템 설계에 초점을 두고, 이 시스템에서 이루어지는 동기화 방식에 대한 성능을 평가하고 분석하는 것을 목표로 한다.

1. W-OFDM 시스템

그림 1은 W-OFDM 시스템의 송수신기 구성도를 나타낸다. W-OFDM 송신기의 구조를 살펴보면, 우선 다

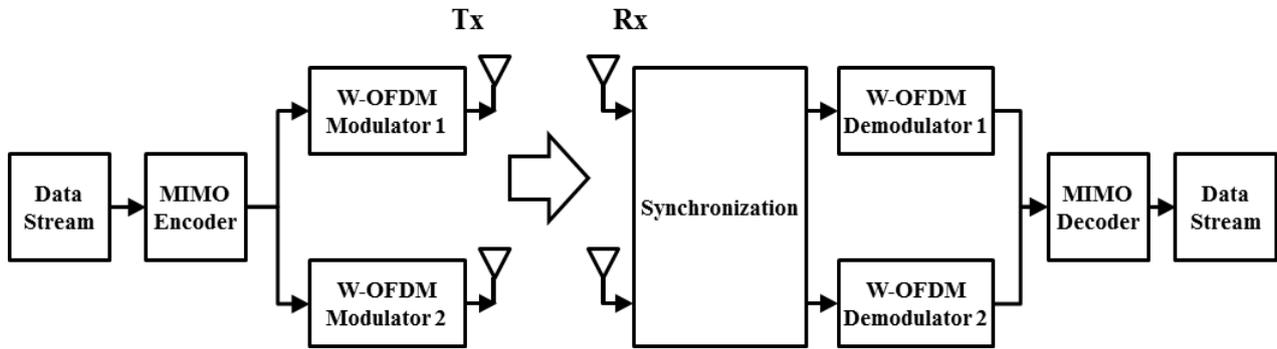


그림 3. W-OFDM 기반 MIMO 시스템 구성도
Fig. 3. Block diagram of MIMO system based on W-OFDM.

수의 데이터 심볼을 iDFT 연산을 이용하여 각 부반송파에 맵핑시킨다. 그 다음 다중경로에 의한 ISI (inter-symbol interference) 영향을 최소화하기 위하여 CP(cyclic prefix)를 추가한다. 그 다음 생성된 CP-OFDM 심볼의 시작과 끝에 기존 신호를 복사하여 신호를 붙인 후 전체적으로 Windowing 처리를 수행한다. W-OFDM 시스템의 송신 신호 구성은 그림 2와 같다.

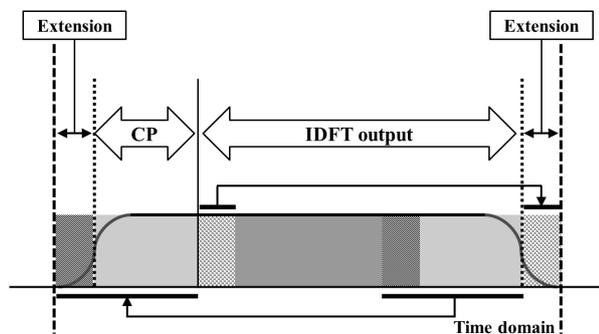


그림 2. W-OFDM 시스템의 송신 신호 생성
Fig. 2. Tx signal generation of W-OFDM system.

2. W-OFDM 기반 MIMO 시스템

그림 3은 W-OFDM 기반 MIMO 시스템의 송수신 구성도를 나타낸다. 송신기의 구조를 살펴보면, 데이터 스트림을 생성한 후, 각 안테나로 전송하기 위한 데이터 스트림을 생성하기 위해 MIMO 인코딩을 수행한다. 그 다음 나뉘어진 데이터는 각각 W-OFDM 방식으로 변조되고, 각 안테나를 통해 송신된다. 수신기에서는 우선 각 안테나로부터 데이터를 수신한 후, 가장 먼저 동기화 과정을 수행한다. 동기화 처리 후에는 W-OFDM 복조를 하고, 마지막으로 MIMO 디코딩을 통해 각각의 MIMO 데이터 스트림을 수신한다. 이와 같은 W-OFDM

기반 MIMO 시스템에서는 각 MIMO 데이터 스트림간의 동기화가 매우 중요하다. 이 동기화가 올바르게 수행되지 않을 경우 MIMO 디코딩에서 문제가 발생하며 원하는 신호를 수신하는 것이 어렵게 된다.

III. 동기화 방법

W-OFDM 변조 방식의 MIMO 시스템에서 시간과 주파수 동기를 맞추기 위해서는 시간과 주파수 오프셋 f 와 ϵ 를 추정해야 한다^[7-8]. 이와 같은 시간과 주파수 오프셋을 추정하는 방법에는 여러 가지 방법이 있다. 본 논문에서는 Schmid의 방법, Minn의 방법, Park의 방법을 사용하는 F-OFDM 변조 방식의 MIMO 시스템을 구성하고 동기화 성능을 비교 평가한다.

1. Schmid의 방법

그림 4는 Schmid이 제안한 동기화를 위한 시간 영역 프리앰블 신호 구성 방법을 나타낸다. 그림 4에서 A는 $N/2$ 의 크기를 가지며, N은 iDFT(inverse discrete Fourier transform) 연산의 크기, 즉 부반송파의 개수를 나타낸다.

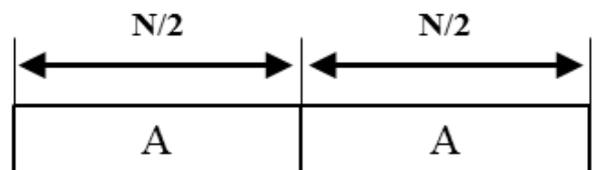


그림 4. Schmid 방법의 시간 영역 프리앰블 신호 구성
Fig. 4. Form of the time-domain preamble of Schmid's method.

Schmidl의 방법에서 시간영역 오프셋을 추정하는 방법은 식 (1)을 연산하여 최대값이 나오게 하는 부분을 찾는 것이다^[8].

$$M(m) = \frac{|p(m)|^2}{(R(m))^2} \quad (1)$$

식 (1)에서 $p(m)$ 과 $R(m)$ 은 다음 식 (2), 식 (3)을 이용하여 계산할 수 있다^[8]. r 은 수신 받은 신호를 나타낸다.

$$p(m) = \sum_{k=0}^{N/2-1} r^*(m+k) \cdot r(m+k+N/2) \quad (2)$$

$$R(m) = \sum_{k=0}^{N/2-1} |r(m+k+N/2)|^2 \quad (3)$$

여기에서 N 은 iFFT 및 FFT의 크기를 나타낸다.

시간 오프셋은 식 (4)와 같이 계산되며, 주파수 오프셋은 식 (5)과 같이 계산된다.

$$\hat{\epsilon} = \underset{m}{\operatorname{argmax}}(M(m)) \quad (4)$$

$$\hat{f} = \operatorname{angle}(p(\hat{\epsilon})) / \pi \quad (5)$$

2. Minn의 방법

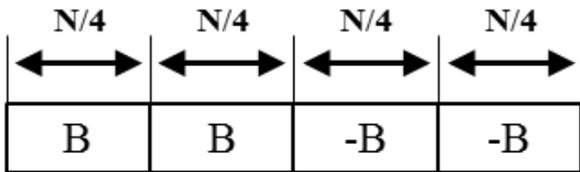


그림 5. Minn 방법의 시간 영역 프리앰블신호 구성
Fig. 5. Form of the time-domain preamble of Minn's method.

그림 5는 Minn이 제안한 동기화를 위한 시간 영역 프리앰블 신호 구성 방법을 나타낸다. 그림 5에서 B는 $N/4$ 의 크기를 가지며, PN 시퀀스로 구성이 된다^[8].

Minn의 방법에서 시간영역 오프셋을 추정하는 방법은 식 (6)을 연산하여 최대값이 나오게 하는 부분을 찾는 것이다.

$$M(m) = \frac{|p(m)|^2}{(R(m))^2} \quad (6)$$

식 (6)에서 $p(m)$ 과 $R(m)$ 은 다음 식 (7), 식 (8)을 이용하여 계산할 수 있다. 여기에서 N 은 iFFT 및 FFT의 크기를 나타낸다.

$$p(m) = \sum_{l=0}^1 \sum_{k=0}^{N/4-1} r^*(k+lN/2+m) \cdot r(k+lN/2+N/4+m) \quad (7)$$

$$R(m) = \sum_{l=0}^1 \sum_{k=0}^{N/4-1} |r(k+lN/2+N/4+m)|^2 \quad (8)$$

시간 오프셋은 식 (9)와 같이 계산되며, 주파수 오프셋은 식 (10)과 같이 계산된다.

$$\hat{\epsilon} = \underset{m}{\operatorname{argmax}}(M(m)) \quad (9)$$

$$\hat{f} = \operatorname{angle}(p(\hat{\epsilon})) * 2 / \pi \quad (10)$$

3. Park의 방법

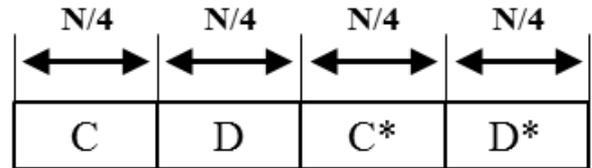


그림 6. Park 방법의 시간 영역 프리앰블신호 구성
Fig. 6. Form of the time-domain preamble of Park's method.

그림 6은 Park이 제안한 동기화를 위한 시간 영역 프리앰블 신호 구성 방법을 나타낸다. 그림 6에서 C는 $N/4$ 의 크기를 갖는 샘플이며, D는 C의 Conjugate 연산 값의 대칭된 신호로 구성된다^[9].

Park의 방법에서 시간영역 오프셋을 추정하는 방법은 식 (11)을 연산하여 최대값이 나오게 하는 부분을 찾는 것이다.

$$M(m) = \frac{|p(m)|^2}{(R(m))^2} \quad (11)$$

식 (11)에서 $p(m)$ 과 $R(m)$ 은 다음 식 (12), 식 (13)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$p(m) = \sum_{k=0}^{N/2} r(m+k) \cdot r(m-k) \quad (12)$$

$$R(m) = \sum_{k=0}^{N/2} |r(m+k)|^2 \quad (13)$$

여기에서 N 은 iFFT 및 FFT의 크기를 나타낸다. 시간 오프셋은 식 (14)와 같이 계산되며, 주파수 오프셋은 식 (15)과 같이 계산된다.

$$\hat{\epsilon} = \underset{m}{\operatorname{argmax}}(M(m)) \quad (14)$$

$$\hat{f} = \operatorname{angle}(q(\hat{\epsilon}))/\pi \quad (15)$$

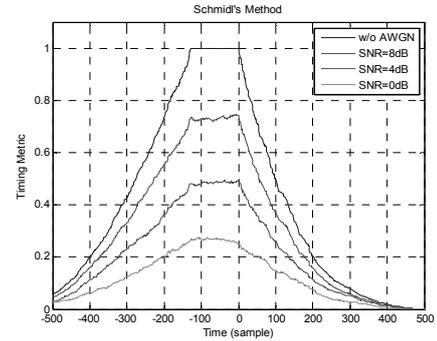
식 (15)에서 $q(\hat{\epsilon})$ 은 식 (16)과 같이 계산된다.

$$q(\hat{\epsilon}) = \sum_{k=0}^{N/4-1} r^*(\hat{\epsilon}+k) \cdot r(\hat{\epsilon}+k+N/2) \quad (16)$$

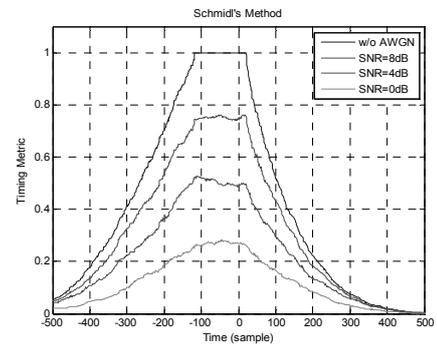
IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션을 위해서 본 논문에서는 부반송파 개수를 1024개로 고려하고, Cyclic Prefix 길이를 iFFT 크기의 1/8인 128로 고려하였다. 변조는 QAM 변조를 사용하였으며, W-OFDM 변조를 위한 윈도우는 Dolph-Chebyshev 타입을 사용하였으며, W-OFDM 변조에서 확장영역 길이는 5, 10, 15를 고려하였다. 시스템에서 MIMO는 안테나가 2개인 2x2 MIMO 시스템을 고려하여 시간 동기화 추정을 수행하였다. 노이즈 환경은 0dB, 4dB, 8dB를 고려하였으며, Schmidl, Minn, Park의 방법을 각각 사용하여 동기화 추정을 수행하였다.

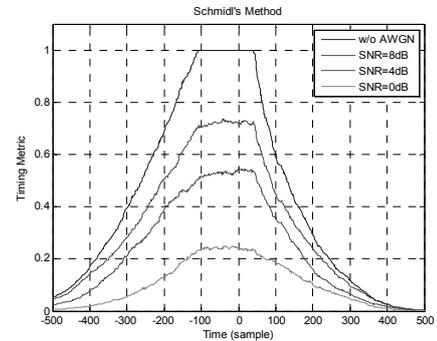
그림 7은 W-OFDM 변조를 사용하는 MIMO 시스템에서 Schmidl의 방법을 사용하여 추정된 동기 신호를 나타낸다. Schmidl의 방법을 사용할 경우 필터링을 하지 않았을 경우, 동기화를 위한 시간 메트릭 추정이 잘 이루어지나, 시스템의 OOB 전력의 크기를 저감시키기 위해 Schmidl 방법은 W-OFDM 변조에서 확장영역 길이가 증가함에 따라 더욱 넓은 Plateau 구간을 보이는 것을 확인할 수 있다. Schmidl의 방법에서 Plateau 구간은 다중경로 페이딩을 저감시키기 위한 CP 길이에 영향을 받는다. 그러나 전체적인 시간 메트릭의 특성은 크게 열화 되지 않으며, 유사한 형태를 갖는 것을 확인할 수 있다. 추가로, 동기 추정에서 노이즈의 세기가 강할수록 시간 메트릭의 정확성이 감소하는 특성을 확인할 수 있다.



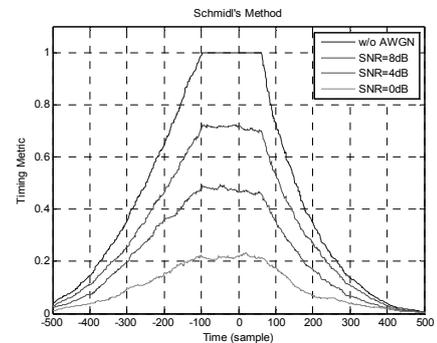
(a) w/o windowing



(b) extension = 5



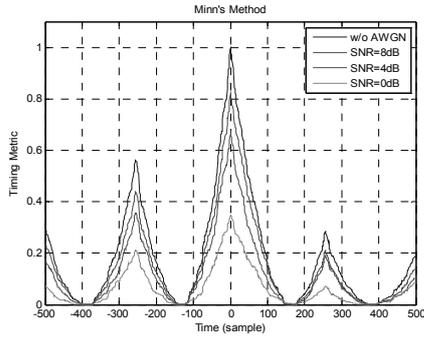
(c) extension = 10



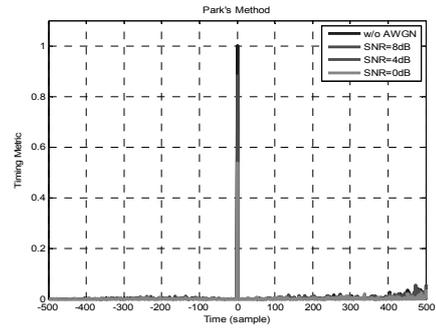
(d) extension = 15

그림 7. Schmidl의 방법을 사용하는 동기 추정기의 시간 메트릭

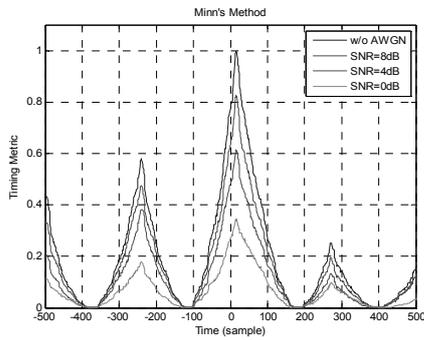
Fig. 7. Timing metric of estimator based on Schmidl's method.



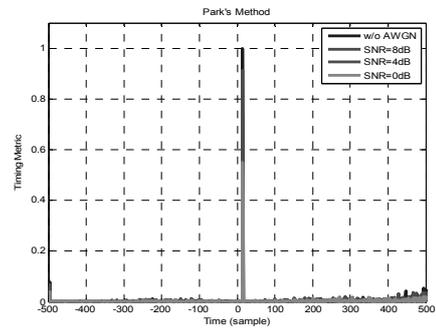
(a) w/o windowing



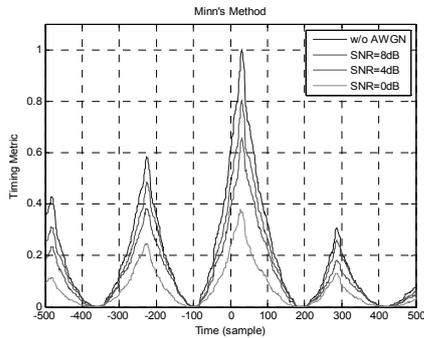
(a) w/o windowing



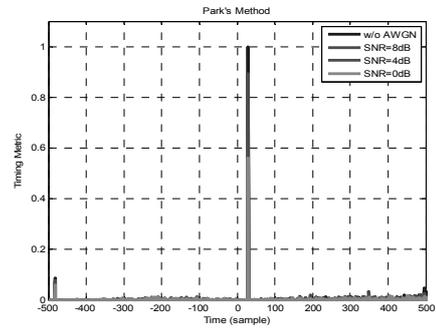
(b) extension = 5



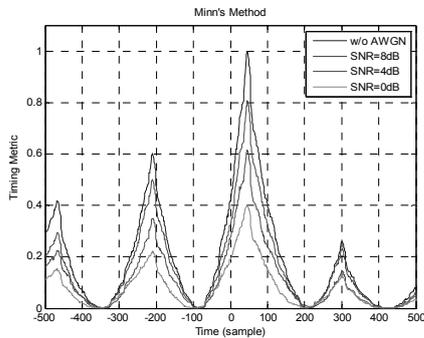
(b) extension = 5



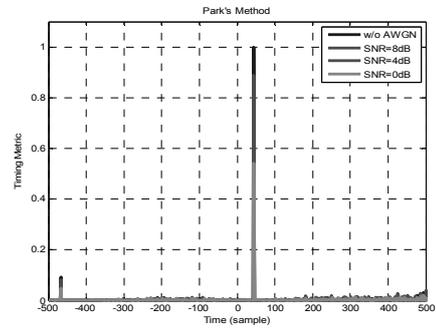
(c) extension = 10



(c) extension = 10



(d) extension = 15



(d) extension = 15

그림 8. Minn의 방법을 사용하는 동기 추정기의 시간 메트릭
Fig. 8. Timing metric of estimator based on Minn's method.

그림 9. Park의 방법을 사용하는 동기 추정기의 시간 메트릭
Fig. 9. Timing metric of estimator based on Park's method.

그림 8은 W-OFDM 변조를 사용하는 MIMO 시스템에서 Minn의 방법을 사용하여 추정된 동기 신호를 나타낸다.

Minn의 방법을 사용하여 동기화 추정을 할 경우, W-OFDM 변조의 확장 영역길이가 증가하여도 Plateau 특성이 유사하며, 동기화 추정을 효과적으로 할 수 있음을 확인할 수 있다. Minn의 방법은 Schmidl의 방법보다 더 Plateau 구간을 더욱 줄일 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 9는 W-OFDM 변조를 사용하는 MIMO 시스템에서 Park의 방법을 사용하여 추정된 동기 신호를 나타낸다. Park의 방법은 임펄스 형태의 시간 매트릭 특성을 보인다. W-OFDM 변조에서 확장길이 영역을 늘 증가시켜도 시간 매트릭의 열화가 발생하지 않으며, 효과적으로 동기화 추정을 할 수 있음을 확인할 수 있다. 특히, W-OFDM 변조의 확장 영역 길이만큼 시간 매트릭이 쉬프트 이동하는 것을 확인할 수 있다.

표 1. OFDM과 W-OFDM 시스템의 Timing Metric 오프셋 비교
Table1. Timing metric offset comparison of OFDM and W-OFDM system.

Timing metric offset (w/o AWGN)			
Extension	Schmidl's method	Minn's method	Park's method
0 (OFDM)	0	0	0
5	20	15	15
10	40	31	30
15	60	42	45

표 1은 AWGN이 없는 환경에서 OFDM과 W-OFDM 시스템의 Timing Metric 오프셋을 비교한 것이다. W-OFDM 시스템에서 확장 길이가 5, 10, 15로 증가함에 따라 오프셋 수치가 증가하게 되며, 이를 보상해야 정확한 동기화가 이루어질 수 있음을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 5세대 이동통신 후보 변조기술 중 하나인 W-OFDM 변조를 사용하는 MIMO 시스템에서 동기화 방법들에 대한 성능 평가를 수행하고 분석하는 것을 목표로 한다. 시뮬레이션의 결과로 CP-OFDM 변조에 사용되었던 Schmidl, Minn, Park 방법을 W-OFDM 변조에 사용할 경우 확장 길이에 따라 동기 시간 매트릭에 지연이 발생하고 이를 보상해주어야 하는 것을 확인할 수 있다.

리케 지연이 발생하고 이를 보상해주어야 하는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 5세대 이동통신을 위한 새로운 변조 기술 중 하나인 W-OFDM 기술과 MIMO 기술을 결합한 시스템을 설계하며, 이 시스템에 다양한 동기화 기술들을 적용하고, 각 동기화 방법들의 동기화 성능을 비교 평가 및 분석을 수행한다. 본 논문에서 비교 평가 및 분석을 위해 Schmidl, Minn, Park의 방법을 고려하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 시간 매트릭의 Plateau의 경우 Schmidl, Minn, Park 순서로 좁은 특성을 보이는 것을 확인할 수 있으며, W-OFDM 변조에서 OOB 전력을 저감시키기 위해 확장 길이를 확장하여도 동기 추정기의 시간 매트릭 특성은 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 기존 OFDM 방식에서 사용하는 동기화 방식이 W-OFDM 변조에서도 효과적으로 사용될 수 있음을 나타낸다.

REFERENCES

- [1] Osseiran, A.; Boccardi, F.; Braun, V.; Kusume, K.; Marsch, P.; Maternia, M.; Queseth, O.; Schellmann, M.; Schotten, H.; Taoka, H.; Tullberg, H.; Uusitalo, M.A.; Timus, B.; Fallgren, M., "Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project," in Communications Magazine, IEEE, vol. 52, no. 5, pp. 26-35, May 2014.
- [2] Dahlman, E.; Mildh, G.; Parkvall, S.; Peisa, J.; Sachs, J.; Selén, Y.; Sköld, J., "5G wireless access: requirements and realization," Communications Magazine, IEEE, vol. 52, no. 12, pp. 42-47, December 2014.
- [3] G. Wunder et al., "5GNOW: non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications", IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 2, pp. 97-105, Feb. 2014.
- [4] P. Banelli et al., "Modulation Formats and Waveforms for the Physical Layer of 5G Wireless Networks: Who Will be the Heir of OFDM?," in arXiv:1407.5947, July 2014.
- [5] T. S. Rappaport et al., "Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!," in IEEE Access, vol. 1, pp. 335-349, 2013.

[6] G. Berardinelli, K. Pajukoski, E. Lahetkangas, R. Wichman, O. Tirkkonen and P. Mogensen, "On the Potential of OFDM Enhancements as 5G Waveforms," Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2014 IEEE 79th, Seoul, 2014, pp. 1-5.

[7] Timothy M. Schmidl and Donald C.Cox, "Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM," IEEE Trans. Commun., vol. 45, no. 12, pp. 1613-1621, December 1997.

[8] H. Minn, M.Zeng, and V. K. Bhargava, "On Timing Offset Estimation for OFDM systems", IEEE Commun. Lett., vol. 4, no. 7, pp. 242-244, July 2000.

[9] Byungjoon Park, Hyunsoo Choen, Eunseok Ko,Changeon Kang, et al., "A novel timing estimation method for OFDM systems", IEEE Commun. Lett., vol. 7, no. 5, pp. 53-55, May 2003.

저 자 소 개



안 창 영(학생회원)
 2013년 2월 충북대학교 전자공학과 (공학사)
 2015년 2월 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2015년 3월 ~ 현재 충북대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야: 무선통신시스템, 신호처리>



유 흥 균(정회원)
 1988년 ~ 현재 충북대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월 ~ 2004년 2월 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
 1996년 ~ 현재 IEEE, IET 논문 심사위원

2002년 한국전자과학회 학술상 수상
 2008년 ICWMC 2008 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상
 2009년 SPACOMM 2009 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상

<주관심분야: 무선통신시스템, 위성통신, B5G/6G 이동통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리>