Journal of the KIMST, Vol. 19, No. 3, pp. 356-362, 2016
ISSN 1598-9127
DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2016.19.3.356

Research Paper 정보 · 통신 부문

IEEE 802.16 표준 기반 시스템을 위한 추가적인 프리앰블 정의

엄재형[*,1] · **서성원**[2] · **이성민**[*,2]

[1] 한화탈레스㈜ 위성·데이터링크팀
[2] 국방과학연구소 제2기술연구본부

Additional Preamble Definitions for Systems Based on IEEE 802.16 Standard

Jaehyung Eom[*,1] · Sungwon Seo[2] · Sungmin Lee[*,2]

[1] *Satellite·Datalink Team, Hanwha Thales, Korea*
[2] *The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defence Development, Korea*

(Received 21 September 2015 / Revised 16 February 2016 / Accepted 29 April 2016)

ABSTRACT

IEEE 802.16 standard(WiMAX) is one of 3.5G/4G wireless technologies and there are many systems based on the standard. Each frame of the systems begins with a preamble for synchronization and channel estimation, etc. IEEE 802.16 standard defines a total of 114 preamble sequences. By the way there are some systems(such as mobile multi-hop relay) that require using more than 114 preamble sequences. So we define 114 additional preamble sequences in this paper. And we evaluate PAPR and cross-correlation performance of them to decide to be usable as a preamble.

Key Words : WiMAX(와이맥스), Preamble(프리앰블), PAPR(최대 전력 대 평균 전력비), Cross-correlation(상호상관)

1. 서 론

IEEE 802.16 표준[1,2] 기반 시스템에서 하향링크 프레임의 첫 번째 심볼은 프리앰블이다. 프리앰블은 단말의 하향링크 동기 획득과 채널 추정, 셀 탐색 등을 위하여 사용된다. 표준에는 총 114개의 프리앰블이 정의되어 있으며, 각 프리앰블은 해당 기지국의 IDcell과 세그먼트에 따라 결정된다.

그런데 하나의 통신망에 115개 이상의 기지국(또는 섹터)이 설치되어 있고, 기지국 중 일부가 상황에 따라 이동 가능한 경우를 고려해 볼 수 있다. 이 경우 하나의 통신망에는 동일한 프리앰블을 사용하는 기지국이 존재하게 되고, 기지국의 배치와 이동에 따라 동일한 프리앰블을 사용하는 기지국들이 인접한 곳에 위치할 수 있다. 동일한 프리앰블을 사용하는 기지국들이 인접한 곳에 위치하게 되면 인접한 기지국간에는 상호 간섭이 발생하게 된다.

* Corresponding author, E-mail: whitecom@dreamwiz.com
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

IEEE 802.16 표준을 기반으로 개발된 점대 다중점 시스템(Point to Multi-point, 이하 PTMP)은 기반 노드 및 부대노드에 편재되어 통신소간 무선 간선 링크를 제공하는 시스템으로 점대 다중점 통신과 점대점 통신을 지원한다. PTMP는 기지국과 단말로 구성되며, 기지국과 단말은 고정 설치·운용 및 군 표준 차량을 이용한 이동 설치·운용을 지원한다.

기지국은 단말과의 점대 다중점 통신을 제공하며, 2FA(Frequency Assignment)/4섹터 구조를 가진다. 기지국은 장비당 2개의 프리앰블을 사용하며, 각 기지국의 프리앰블은 망 계획에 따라 할당된다.

단말은 기지국과의 점대 다중점 통신 이외에 단말간 점대점 통신을 제공한다. 점대점 통신 시 단말은 1개의 프리앰블을 사용하며, 단말이 사용하는 프리앰블 역시 망 계획에 따라 할당된다.

PTMP는 망 계획에 따라 운용되는 시스템이다. 하나의 통신망에는 점대 다중점 통신을 위하여 최대 96대의 기지국을 설치하여 운용 가능하고, 점대점 통신을 위하여 최대 36대의 단말을 설치하여 운용 가능하다. PTMP는 망 계획의 편의성 및 기지국간, 기지국과 단말간, 단말간의 간섭을 최소화하기 위하여 망 내의 모든 기지국과 단말에 다른 프리앰블을 할당한다. 그래서 PTMP는 점대 다중점 통신을 위하여 최대 192개의 프리앰블이 요구되며, 점대점 통신을 위하여 최대 36개의 프리앰블이 요구된다. 즉, PTMP 운용을 위해서는 표준에 정의 114개의 프리앰블 이외에 추가로 114개의 프리앰블이 요구된다.

본 논문에서는 IEEE 802.16 표준을 기반으로 하는 시스템 중에서 115개 이상의 프리앰블을 필요로 하는 시스템을 고려하여 114개의 추가적인 프리앰블을 정의한다. 추가로 정의되는 프리앰블은 프리앰블로써의 사용 가능성을 판단하기 위하여 최대 전력 대 평균 전력비(PAPR, Peak-to-Average Power Ratio)와 상호상관(cross-corelation) 특성을 확인한다. 이때, 성능은 표준에 정의된 프리앰블(이하 표준 프리앰블)과 유사한 결과를 제시하여야 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.16 표준에 정의된 표준 프리앰블의 구조에 대하여 설명하고, 3장에서는 추가적인 프리앰블을 정의한다. 4장에서는 추가로 정의되는 프리앰블에 대한 최대 전력 대 평균 전력비 성능과 상호상관 특성을 분석하고, 표준 프리앰블과 성능을 비교한다. 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

2. IEEE 802.16 표준 프리앰블 구조

IEEE 802.16 표준에서는 PAPR이 낮고, 프리앰블간 상호상관 특성이 적은 114개의 프리앰블을 정의한다[3]. 그리고 표준에서는 식 (1)[1]과 같이 3종류의 다른 프리앰블 반송파 집합을 정의한다.

$$\mathrm{Preamble}\mathit{CarrierSet}_n = n + 3 \cdot k \quad (1)$$

여기서, $\mathrm{Preamble}\mathit{CarrierSet}_n$은 프리앰블이 할당된 모든 부반송파를 의미한다. n은 프리앰블 반송파 집합 번호이며, 0, 1, 2의 값을 갖는다. k는 프리앰블 비트열에 대한 번호이며, FFT 크기가 2048일 경우 0 ~ 567, 1024일 경우 0 ~ 283, 512일 경우 0 ~ 142, 128-FFT일 경우 0 ~ 35의 값을 가진다.

각 세그먼트는 다음과 같이 프리앰블 반송파 집합을 사용한다[1].

1) 세그먼트 0은 프리앰블 반송파 집합 0을 사용
2) 세그먼트 1은 프리앰블 반송파 집합 1을 사용
3) 세그먼트 2는 프리앰블 반송파 집합 2를 사용

세그먼트 0의 경우 DC 부반송파는 변조되지 않고 폐기된다. 즉, DC 부반송파는 항상 0이다.

Fig. 1은 1024-FFT에서 각 세그먼트의 프리앰블 반송파 집합에 대한 예를 나타낸다.

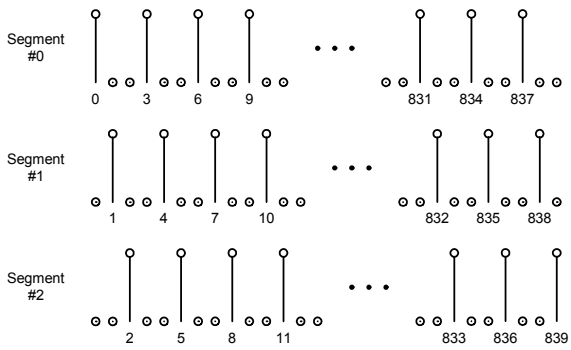


Fig. 1. Basic structure of preamble for different segments(1024-FFT)

FFT 크기에 따른 프리앰블의 구성은 Table 1과 같다.

프리앰블은 견고한 동기 성능 확보를 위하여 식 (2)와 같이 9 dB 증폭되며, BPSK 변조되어 송신된다[1].

Table 1. Preamble structure for all FFT sizes

구분	2048	1024	512	128
프리앰블 길이	568	284	143	36
보호대역(좌)	86	86	42	10
보호대역(우)	86	86	41	10

$$Re\{\mathrm{Preamble}Modulated\} = 4 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{1}{2} - W_k\right) \quad (2)$$
$$Im\{\mathrm{Preamble}Modulated\} = 0$$

여기서, k는 프리앰블 비트열에 대한 번호이며, W_k는 k번째 프리앰블 비트를 의미한다.

3. 추가적인 프리앰블 정의

추가로 정의되는 프리앰블은 다음과 같은 사항을 만족하여야 한다[5].

1) 추가로 정의되는 프리앰블은 표준에 정의된 프리앰블과 유사한 수준의 복잡도를 가져야 한다.
2) 추가로 정의되는 프리앰블은 표준에 정의된 프리앰블과 유사한 PAPR 성능을 가져야 한다.
3) 추가로 정의되는 프리앰블은 표준에 정의된 프리앰블과 유사한 상호상관 특성을 가져야 한다.

추가적인 프리앰블을 정의할 때 고려되어야 할 사항 중 하나는 프리앰블 설계가 용이하여야 하며, 표준 수준의 복잡도를 가져야 된다는 것이다. 그래서 본 논문에서는 추가적인 프리앰블 정의를 위하여 새로운 프리앰블을 설계하기 보다는 표준에 정의된 프리앰블을 활용한다.

추가적인 프리앰블 정의를 위한 첫 번째 방안(이하 방안1)은 표준 프리앰블을 순환 시프트(circular shift) 시키는 것이다. 표준 프리앰블을 P_i, 추가로 정의되는 프리앰블을 P_i^{add}이라고 할 때 P_i^{add}는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$P_i^{add}(j) = \begin{cases} P_i(N-s+j) & j = 0,1,...,s-1 \\ P_i(j-s) & j = s, s+1, ..., N-1 \end{cases} \quad (3)$$

여기서, i는 프리앰블 인덱스를 의미하며, 0 ~ 113의 값을 가진다. N은 프리앰블 길이를 의미하며, 2048-FFT의 경우 568, 1024-FFT의 경우 284, 512-FFT의 경우 143, 128-FFT의 경우 36의 값을 가진다. j는 프리앰블 비트열 번호를 의미한다. s는 시프트 비트 수를 의미하며, 0 ~ N-1의 값을 가진다. s가 0일 경우는 표준 프리앰블과 동일하다.

두 번째 방안(이하 방안2)은 표준 프리앰블을 역순으로 정렬하고, 역순으로 정렬된 프리앰블을 순환 시프트시키는 방법으로 식 (4)와 같이 정의된다.

$$P_i^{add}(j) = \begin{cases} P_i(N-j-1) & s = 0, j = 0,1,...,N-1 \\ P_i(s-j-1) & s \neq 0, j = 0,1,...,s-1 \\ P_i(N+s-j-1) & s \neq 0, j = s, s+1, ..., N-1 \end{cases} \quad (4)$$

본 논문에서는 구현 복잡도를 고려하여 추가로 정의되는 114개의 프리앰블에 동일한 시프트 비트 수(s)를 적용하는 것을 고려한다.

추가로 정의되는 프리앰블은 생성 방식 이외 할당 방식과 변조 방식 등은 표준 프리앰블과 동일하다. 즉, 추가로 정의되는 프리앰블의 프리앰블 반송파 집합은 표준 프리앰블과 동일하게 식 (1)과 같이 정의된다. 그리고 추가로 정의되는 프리앰블은 표준 프리앰블과 동일하게 9 dB 증폭되며, BPSK 변조되어 송신된다.

4. 성능 분석

본 장에서는 추가로 정의되는 프리앰블의 적용 가능성을 확인하기 위하여 PAPR 성능과 상호상관 특성을 확인하고, 표준 프리앰블과 성능을 비교한다. 본 논문에서는 PTMP에 적용 중인 1024-FFT와 512-FFT에 대해서만 성능을 확인한다.

4.1 PAPR

IEEE 802.16은 데이터를 전송하기 위한 방식으로 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 사용한다.

OFDM 기반 시스템은 시간 영역 신호의 최대 전력대 평균 전력비인 PAPR이 크다는 단점이 있다. 즉, PAPR이 큰 신호가 고출력 증폭기의 비선형 영역을 통과하게 되면 신호가 변형되어 대역내 왜곡과 대역외 방사가 발생한다[6]. 이러한 이유로 표준에서는 PAPR이 낮은 114개의 프리앰블을 정의하고 있으며, 추가적인 프리앰블도 표준 프리앰블과 유사한 수준의 PAPR 성

능을 나타내어야 한다.

PAPR은 식 (5)[7]와 같이 정의된다.

$$PAPR = \frac{\max[|x(t)|^2]}{E[|x(t)|^2]} \quad (5)$$

여기서, $\max[\bullet]$는 최대값 연산자, $|\bullet|$는 절대값 연산자, $E[\bullet]$는 기대값 연산자이다.

먼저 1024-FFT에 대하여 PAPR 성능을 분석한다.

Fig. 2는 방안1과 방안2를 통해 생성된 프리앰블의 PAPR 최대값과 평균값을 나타내며, 최대값과 평균값은 동일한 시프트 비트 수가 적용된 114개 프리앰블의 PAPR 최대값과 평균값이다. 여기서 가로축은 시프트 비트 수를 나타내며, 세로축은 비트 시프트된 프리앰블의 PAPR(dB)을 나타낸다.

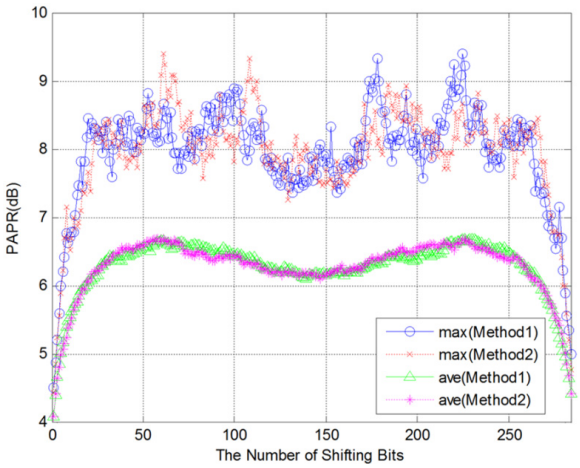


Fig. 2. PAPR Performance for circular shift(1024-FFT)

Fig. 2에서 보는 바와 같이 방안1은 순환 시프트시키지 않았을 때, 즉, 표준 프리앰블일 때 PAPR 최대값과 평균값이 가장 작다.

방안2 역시 순환 시프트시키지 않았을 때 PAPR 최대값과 평균값이 가장 작다. 즉, 표준 프리앰블을 역순으로 정렬시켰을 때 성능이 가장 우수하다.

방안1과 방안2로부터 생성된 모든 프리앰블(표준 프리앰블 제외)의 PAPR 결과를 비교하였을 때 표준 프리앰블을 역순으로 정렬만 시켰을 때 PAPR 성능이 가장 우수하다는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 1024-FFT에 대한 추가적인 프리앰블은 표준 프리앰블을 역순으로 정렬하고, 순환 시프트하지 않는 것으로 정의한다.

Fig. 3은 표준 프리앰블과 추가로 정의된 프리앰블의 PAPR 성능을 나타낸다. 여기서 가로축은 프리앰블 인덱스(0~113)를 나타내며, 세로축은 각 프리앰블의 PAPR(dB)을 나타낸다.

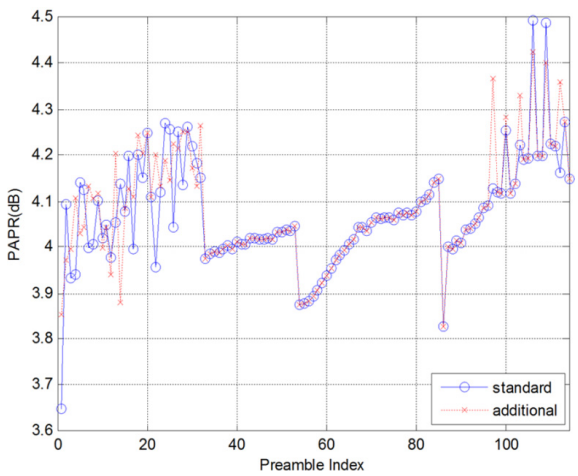


Fig. 3. PAPR performance(1024-FFT)

Table 2는 114개의 프리앰블에 대한 PAPR 최대값과 평균값을 나타낸다.

Table 2. Maximum and mean value of PAPR (1024-FFT)

구분	최대값	평균값
표준 정의 프리앰블(A)	4.49 dB	4.07 dB
추가 정의 프리앰블(B)	4.43 dB	4.08 dB
차이(B-A)	-0.06 dB	0.01 dB

Fig. 3과 Table 2의 결과로부터 1024-FFT의 경우 추가로 정의된 프리앰블의 PAPR 성능은 표준 프리앰블과 유사하다는 것을 알 수 있다.

다음으로 512-FFT에 대하여 PAPR 성능을 확인한다.

Fig. 4는 방안1과 방안2를 통해 생성된 프리앰블의 PAPR 최대값과 평균값을 나타내며, 최대값과 평균값은 동일한 시프트 비트 수가 적용된 114개 프리앰블의 PAPR 최대값과 평균값이다. 여기서 가로축은 시프트 비트 수를 나타내며, 세로축은 비트 시프트된 프리앰블의 PAPR(dB)을 나타낸다.

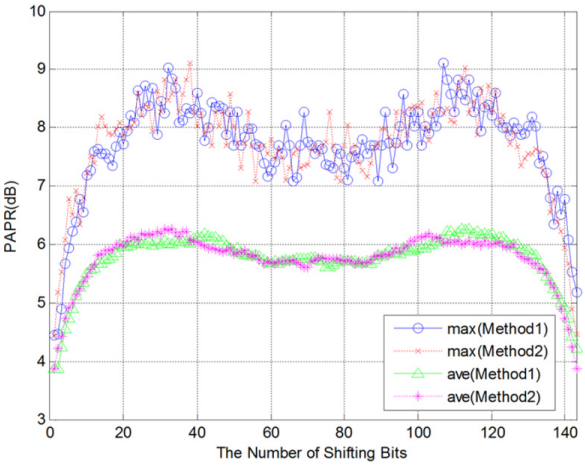


Fig. 4. PAPR Performance for circular shift(512-FFT)

그림에서 보는 바와 같이 방안1은 순환 시프트시키지 않았을 때, 즉, 표준 프리앰블일 때 PAPR 최대값과 평균값이 가장 낮다.

방안2 역시 순환 시프트시키지 않았을 때 PAPR 최대값과 평균값이 가장 작다. 즉, 표준 프리앰블을 역순으로 정렬시켰을 때 성능이 가장 우수하다.

방안1과 방안2로부터 생성된 모든 프리앰블(표준 프리앰블 제외)의 PAPR 결과를 비교하였을 때 표준 프리앰블을 역순으로 정렬만 시켰을 때 PAPR 성능이 가장 우수하다는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 512-FFT에 대한 추가적인 프리앰블은 표준 프리앰블을 역순으로 정렬하고, 순환 시프트는 하지 않는 것으로 정의한다.

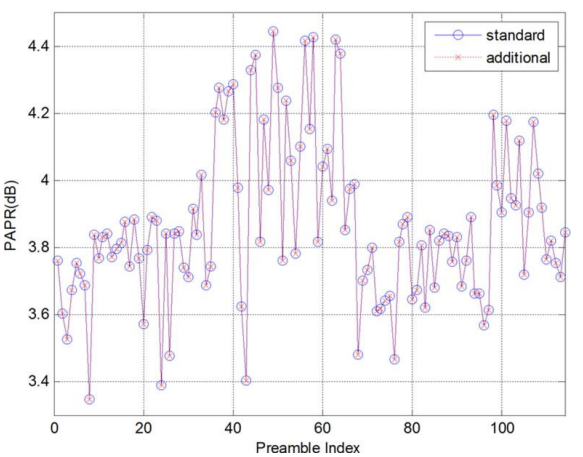


Fig. 5. PAPR performance(512-FFT)

Fig. 5는 512-FFT에서의 표준 프리앰블과 추가로 정의된 프리앰블의 PAPR 성능을 나타낸다. 여기서 가로축은 프리앰블 인덱스(0~113)를 나타내며, 세로축은 각 프리앰블의 PAPR(dB)을 나타낸다.

Table 3은 114개의 프리앰블에 대한 PAPR 최대값과 평균값을 나타낸다.

Table 3. Maximum and mean value of PAPR(512-FFT)

구분	최대값	평균값
표준 정의 프리앰블(A)	4.45 dB	3.87 dB
추가 정의 프리앰블(B)	4.45 dB	3.87 dB
차이(B-A)	0.00 dB	0.00 dB

Fig. 5와 Table 3의 결과로부터 512-FFT의 경우 추가로 정의된 프리앰블의 PAPR 성능은 표준 프리앰블과 동일하다는 것을 알 수 있다.

4.2 상호상관 특성

IEEE 802.16 기반 시스템은 프리앰블 검출 후 수신된 프리앰블을 이용하여 IDcell, 세그먼트 등의 정보를 검출한다. 이를 위하여 주파수 영역에서 수신된 프리앰블과 114개의 프리앰블간 상호상관을 수행한다[4].

프리앰블이 추가로 정의될 경우 기존 프리앰블과의 상호 영향성 확인을 위하여 표준 프리앰블과의 상호상관 특성이 확인되어야 한다. 이에 본 절에서는 표준에 정의된 프리앰블간 상호상관 특성과 표준 프리앰블과 4.1절에서 추가로 정의된 프리앰블간 상호상관 특성을 확인하고, 비교한다.

먼저 1024-FFT에 대하여 상호상관 특성을 확인한다.

Fig. 6은 표준 프리앰블과 추가로 정의된 프리앰블의 상호상관 특성을 나타낸다. 그림에서 세로축은 전체 상호상관 회수에 대한 각 정규화된 상호상관 특성을 나타낸다.

Table 4는 114개의 프리앰블에 대한 상호상관 최대값과 평균값을 나타낸다.

Table 4의 결과로 부터 1024-FFT의 경우 추가로 정의된 프리앰블에 대한 상호상관 특성이 표준에 정의된 프리앰블과 유사하다는 것을 알 수 있다.

다음으로 512-FFT에 대하여 상호상관 특성을 확인한다.

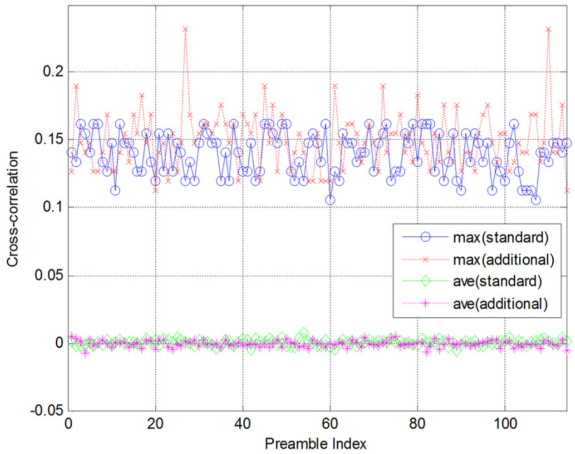


Fig. 6. Cross-correlation performance(1024-FFT)

Table 4. Maximum and mean value of cross-correlation(1024-FFT)

구분	최대값	평균값
표준 정의 프리앰블(A)	0.16	0.14
추가 정의 프리앰블(B)	0.23	0.15
차이(B-A)	0.07	0.01

Fig. 7은 표준 프리앰블과 추가로 정의된 프리앰블의 상호상관 특성을 나타낸다. 그림에서 세로축은 전체 상호상관 회수에 대한 각 정규화된 상호상관 특성을 나타낸다.

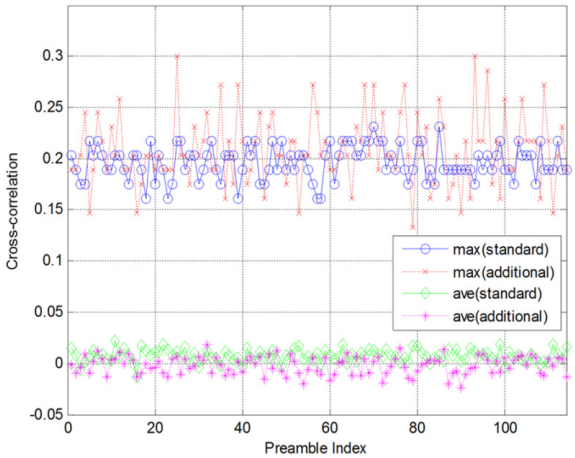


Fig. 7. Cross-correlation performance(512-FFT)

Table 5는 114개의 프리앰블에 대한 상호상관 최대값과 평균값을 나타낸다.

Table 5. Maximum and mean value of cross-correlation(512-FFT)

구분	최대값	평균값
표준 정의 프리앰블(A)	0.23	0.20
추가 정의 프리앰블(B)	0.30	0.21
차이(B-A)	0.07	0.01

Table 5의 결과로 부터 512-FFT의 경우 1024-FFT에서와 마찬가지로 추가로 정의된 프리앰블에 대한 상호상관 특성이 표준에 정의된 프리앰블과 유사하다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

IEEE 802.16 표준에서는 하향링크 동기와 채널 추정, 셀 탐색 등의 목적으로 114개의 프리앰블을 정의하고 있다. 하지만 하나의 통신망 내에 115개 이상의 기지국 또는 섹터가 존재하고, 기지국이 이동하여 설치·운용 가능할 경우 동일한 프리앰블을 사용하는 기지국이 인접한 곳에 위치함으로 인한 기지국간 상호간섭이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.16 표준을 기반으로 하면서 115개 이상의 프리앰블이 필요한 시스템을 위하여 추가적인 프리앰블을 정의하였다. 그리고 추가로 정의된 프리앰블의 사용 가능성 판단을 위하여 PAPR 성능과 상호상관 특성을 확인하였다.

추가로 정의된 프리앰블의 PAPR 성능과 상호상관 특성을 확인한 결과 표준에 정의된 프리앰블과 비슷한 성능을 제시하였으며, 이러한 결과를 통해 추가로 정의된 프리앰블을 표준에 정의된 프리앰블에서 확장하여 사용 가능하다는 것을 확인하였다.

References

[1] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Broadband

Wireless Access Systems, IEEE Std 802.16-2012, August 2012.

[2] IEEE Standard for Wireless MAN-Advanced Air Interface for Broadband Wireless Access Systems, IEEE Std 802.16.1-2012, September 2012.

[3] Soohyun Jang, Eunsang Lee, Yunho Jung, “Design and Implementation of Synchronization Unit for AeroMACS System,” Journal of Advanced Navigation Technology, 18(2), pp. 142-150, Apr. 2014.

[4] Karthikeyan V, Malmurugan N, Senthil Kumaran D, “Performance Evaluation of Preamble Detection under ITU and SUI Channel Models in Mobile WiMAX,” First COMSNETS, Bangalore, January 2009.

[5] Changqin Huo, Dorin Viorel, Mike Hart, “Relay Amble Modulation Series,” IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, March 2007.

[6] Lee Tae-Seok, Im Tae-Ho, Kim Kye-Won, Choi Bae-Seong, Ko Hak-Lim, “Performance Analysis of Multi-Band DFT-spread OFDM System in Underwater Acoustic Channel,” The Korean Institute of Communications and Information Sciences, pp. 355-356, 2015.

[7] Arun Gangwar, Manushree Bhardwaj, “An Overview: Peak to Average Power Ratio in OFDM system & its Effect,” International Journal of Communication and Computer Technologies, Vol. 01, No. 2, September 2012.