

광대역 무선 스피커 시스템을 위한 효율적인 패킷 검출 알고리즘

*김도훈 **위정욱

전자부품연구원

*speedo@keti.re.kr

Efficient Packet Detection Algorithm for Wireless Speaker System

*Kim, Do-Hoon **Wee, Jung-Wook

Korea Electronics Technology Institute

요약

MB-OFDM UWB시스템은 TFC(Time-Frequency Code)를 이용하여 시간/주파수 호핑을 수행한다. 이를 통해 주파수 영역에서 다이버시티 효과를 갖는 동시에 사용되는 다른 piconet간의 간섭을 최소화할 수 있다. 송신단에서는 프리앰블을 전송할 때부터 해당 TFC에 맞게 호핑을 하면서 전송을 하기 때문에 수신단에서는 신호의 시작을 추정하는 패킷 검출은 매우 중요한 과제이다. 따라서 본 논문에서는 MB-OFDM UWB시스템을 위한 간단하고 효율적인 패킷 검출 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 수행 결과 제안된 방법은 기존 방법보다 약 0.5 dB의 SNR 개선 결과가 있는 것으로 밝혀졌다.

1. 서론

MB-OFDM UWB의 가장 큰 특징은 호핑 패턴에 따라 매 심벌마다 528MHz의 대역을 도약하는 TFC(Time-Frequency Code)를 이용하여 주파수 영역에서 다이버시티 효과를 갖는 동시에 사용되는 다른 piconet간의 간섭을 최소화하는 구조로 이루어져 있다는 것이다 [1]. 송신단에서는 프리앰블을 전송할 때부터 해당 TFC에 맞게 호핑을 하면서 전송을 하기 때문에 수신단에서는 신호의 시작을 추정하는 패킷 검출이 매우 중요한 과제이다. 만약 수신단에서 패킷 검출을 제대로 수행하지 못한다면 신호의 시작을 정확하게 검출하지 못하게 되어 패킷을 모두 버려야 하는 상황이 발생할 수 있다. 이러한 상황의 발생을 막기 위해 패킷 검출 또는 symbol synchronization을 수행하기 위한 많은 기법이 제안되었다[2] - [3]. 제안된 기법들은 좋은 성능을 갖지만 복잡도가 매우 높아 실제 하드웨어 구현에 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 MB-OFDM UWB시스템을 위한 효과적인 패킷 검출 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 이전 OFDM 심볼과 현 OFDM 심벌을 이용하여 프리앰블간의 상관관계치를 구하여 패킷을 검출하는 알고리즘이다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 MB-OFDM 시스템의 프리앰블 구조 및 MB-OFDM UWB시스템 구현을 위한 환경을 설명하고, 3장과 패킷 검출 및 심벌 동기 기법에 대한 설명을 하고, 4장에서는 모의실험결과와 결론을 보여준다.

2. MB-OFDM 시스템 모델

2.1 MB-OFDM 프리앰블 구조

MB-OFDM 시스템의 물리 계층 프레임의 구성은 PLCP 프리앰블과 PHY 헤더, MAC 헤더, 헤더 검증 시퀀스(HCS: Header Check Sequence)와 프레임 페이로드, 프레임 점검 시퀀스(FCS: Frame Check Sequence), 종지 비트 (Tail bit), 패드 비트(Pad bit) 등으로 구성된다.

PLCP 프리앰블은 동기 획득과 채널 추정을 위해 사용되는 부분으로 전송 시 가장 먼저 전송되는 부분이다. 프리앰블을 이용하여 동기화 및 신호 보상을 수행하게 된다. 그림 1은 MB-OFDM의 프리앰블을 나타낸다. PLCP 프리앰블을 이용하여 수신단에서 초기 동기화, 주파수 오프셋추정, 채널 추정등의 과정을 수행한다. 프리앰블은 패킷동기 시퀀스(PS), 프레임동기 시퀀스(FS), 채널추정 시퀀스(CS)의 3가지 시퀀스들로 이루어져있다. 먼저 패킷동기 시퀀스인 경우 각각의 piconet마다 서로 다른 10가지의 TFC로 구성되어 있다. 만일 주파수 호핑을 사용하는 경우에는 프리앰블도 데이터 전송을 위한 페이로드 부분과 마찬가지로 주파수 호핑을 하면서 전송된다. 이와 같은 실수 시퀀스가 21번에 걸쳐서 반복되는 구조를 이루고, 이를 이용하여 패킷 검출과 획득, 대략적인 주파수 오프셋 추정과, 대략적인 타이밍 동기를 추정할 수 있다.

2.2 신호 모델링

수신단에 도달한 신호는 수신단에서의 반송파 주파수에 의해 기저대역 신호로 변환되는데 이 때 반송파 주파수 동기가 이상적으로 이루어진 경우에 다음과 같은 형태로 표현된다.

$$y(t) = x(t)*h(t) + w(t) \quad (1)$$

여기서, $h(t)$ 는 다중경로를 갖는 무선채널의 임펄스 응답으로 각 경로의 지연시간과 각 경로의 이득으로 표현되는데 이 때 각 경로의 크기는 독립적인 레일리 분포(Rayleigh Distribution)를 가지며 위상은 균일분포(Uniform Distribution)를 갖는 확률과정(Random Process)으로 모델링 된다. 또한, *는 컨볼루션(Convolution)을 의미하며, $w(t)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ_w^2 인 가산성 백색 가우스 잡음(Additive White Gaussian Noise : AWGN)을 나타낸다. 이 신호가 FFT를 통해 복조된 신호는 아래의 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 Y_m &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} X_k H_k e^{j2\pi kn/N} \right\} e^{-j2\pi nm/N} + W_m \\
 &= X_m H_m + \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k H_k \sum_{n=0}^{N-1} e^{j2\pi n(k-m)/N} + W_m \\
 &= X_m H_m + W_m
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서, W_m 은 w_n 의 주파수 영역 표현이다. 결국 m 번째 부채널에서의 복조신호는 m 번째 부채널로 전송된 데이터 심벌 X_m 과 m 번째 부채널에서의 채널의 주파수 응답 H_m 의 곱으로 표현된다.

2.3 MB-OFDM UWB 채널 모델

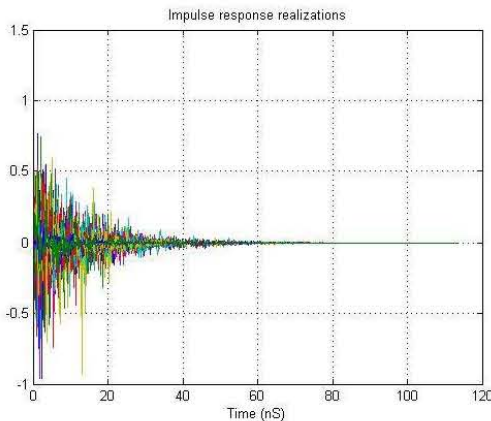


그림 1. CM1 채널

그림 1은 MB-OFDM UWB 시뮬레이션을 위한 CM1 채널의 임펄스 응답을 보여준다. 채널생성 프로그램을 사용하여 1000개의 임펄스 응답을 추출하여 중첩시켜서 표시하였다. 약 60ns가 지난 후에는 임펄스 응답의 크기가 0에 가까워지는 것을 알 수 있다.

3. 패킷 검출 및 심벌 동기 기법

기존의 OFDM기반의 심벌 동기 알고리즘은 수신된 신호의 에너지를 기반으로 하는 에너지 검출방법, 잡음과 신호의 에너지 비율 이용하는 방법, 자기상관을 이용하는 방법과 상호상관을 이용하는 방법 등이 제안되어 있다[4]-[5]. 이러한 심벌 동기 기법은 무선랜 환경과 마

찬가지로 프리앰블 기반의 MB-OFDM UWB시스템의 심벌 동기 기법으로 고려해 볼 수 있고, 패킷 검출 또한 비슷한 알고리즘으로 동작하기 때문에, 똑같은 과정으로 패킷 검출 및 심벌 동기를 수행할 수 있다. MB-OFDM에서는 고속의 전송을 목표로 하기 때문에 빠른 검출 능력과 이후 동기화 과정을 고려한 적합한 동기화 기법이 요구된다. 이러한 점을 고려하였을 때 MB-OFDM시스템의 심벌 동기 기법은 correlation 성능이 매우 뛰어난 TFC를 이용한 상관기법이 적합하다.

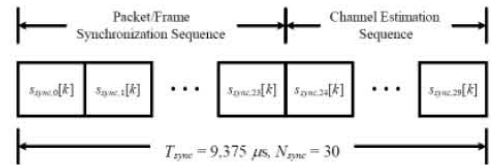


그림 1 MB-OFDM 표준 PLCP 프리앰블 구조

3.1 곱셈기를 이용한 일반적인 상관기법

일반적으로 상관에 의한 심벌 동기 방법은 수신 프리앰블 $y(n)$ 과 송신 프리앰블 $x(n)$ 간의 상호상관을 이용하는 방법으로 신호 전체를 이용하기 때문에 샘플길이에 해당하는 곱셈기가 필요하다. 그러므로 때면 많은 계산량이 필요한 문제를 갖게 된다. 상호상관을 이용하는 프레임 검출 방법은 식 (3)처럼 표현할 수 있다.

$$\hat{\tau} = \frac{\sum_{l=0}^{N_{sample}-1} y^*(n+l)x(n)}{N_{sample}} \tag{3}$$

여기서 N_{sample} 은 sample 수를 나타내고, $x(n)$ 은 이미 알고 있는 프리앰블이 된다.

3.2 연속 OFDM 심벌을 이용한 제안된 상관기법

본 논문에서는 다양한 채널 및 수신 환경을 고려한 패킷 검출을 위하여 연속 OFDM 심벌을 이용한 상관관계치 계산방법을 제안한다. 제안하는 패킷검출 알고리즘은 기존의 상관관계치계산방법 이외에 추가로 이전 OFDM 심벌에서의 상관관계치와 현재 OFDM 심벌에서의 상관관계치의 비를 추가로 체크하는 것이다. 현재 OFDM 심벌에서의 상관관계치가 (3)이라면 이전 OFDM 심벌에서의 상관관계치는 (4)로 표시할 수 있고, 그 비는 (5)처럼 표시할 수 있다.

$$\hat{\tau}_{prev} = \frac{\sum_{l=-N}^{-1} y^*(n+l)x(n)}{N_{sample}} \tag{4}$$

$$r = \hat{\tau} / \hat{\tau}_{prev} \tag{5}$$

그림 2는 ADC 입력단에서의 I채널과 Q채널의 수신신호를 보여준다. 약 1000샘플이전에는 노이즈만 존재하고 그 이후부터 수신신호가 입력되고 있음을 보여준다. 그림 3은 수신된 데이터가 AGC를 거쳐서

증폭된 후 ADC에 의해서 clipping 된 모습을 보여준다. RFIC의 종류에 따라서 AGC 이득이 다를 수 있는데, 본 시뮬레이션에서는 20dB의 이득을 적용하였다. 신호와 노이즈의 구별이 힘들 정도로 많은 데이터들이 clipping 레벨로 포화되어 있음을 확인할 수 있다. 그림 4는 증폭된 ADC 출력 신호와 기존 프리엠블(TFC 코드 5)간의 상관관계치를 보여준다. 약 2000샘플시간에서 피크값이 생기고, 프리엠블 구간동안 매 165샘플구간에서 피크치가 생기고 있음을 확인할 수 있다. 프리엠블 구간이 끝나는 6000샘플부터는 피크값이 발생하지 않는다. 따라서 피크치가 발생하는 시점을 잘 찾게되면 패킷 검출과, OFDM 심벌 동기를 수행할 수 있게 된다.

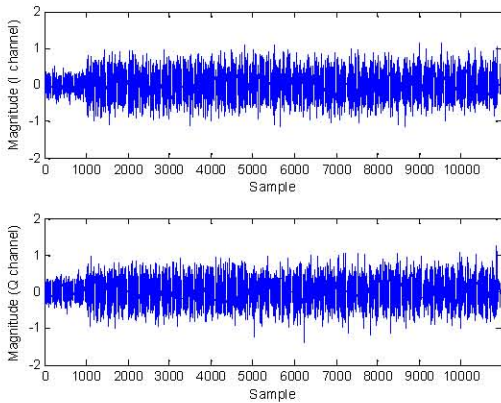


그림 2. AGC 입력 신호

수신기에 입력되는 신호는 채널 특성과 전송거리에 따라서 다양한 신호 감쇠의 패턴을 지니게 된다. 그림 4와 같이 수신신호와 프리엠블 사이의 상관관계치에서 일정한 간격으로 피크값이 발생하면 이값으로 수신신호의 동기를 맞출 수가 있지만, 그림 5-7에서 볼 수 있듯이 다른 채널을 통과한 신호는 신호의 감쇠정도가 달라서 단순한 알고리즘만으로는 패킷검출을 제대로 할 수가 없게 된다. 특히 거리가 멀어지게 되면 수신신호의 파워가 감소하게 되고 따라서 상관관계치의 최대값의 크기도 작아지게 된다. 따라서 이 방법만으로는 정확한 패킷 검출을 할 수가 없게 되고 이를 보완하기 위해서 현재 수신된 OFDM 심벌뿐만 아니라 이전 수신된 OFDM 실벌을 이용하여 상관관계치를 구한다음 그 비가 일정값이 넘는 것을 확인하여야 한다.

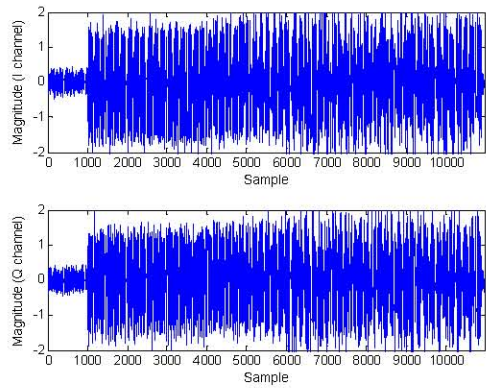


그림 5. AGC 입력 신호

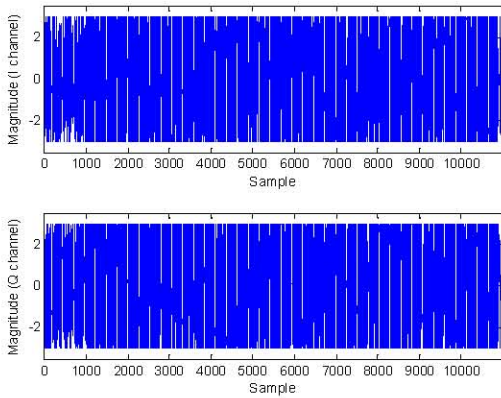


그림 3. 증폭된 ADC 입력신호

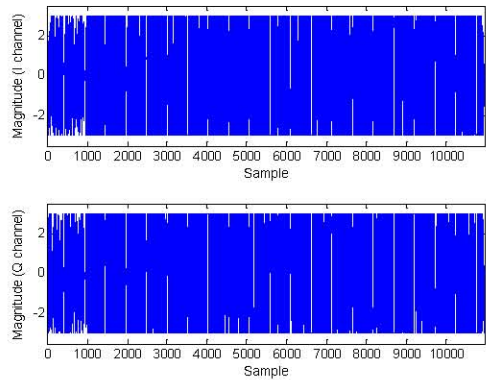


그림 6. 증폭된 ADC 입력신호

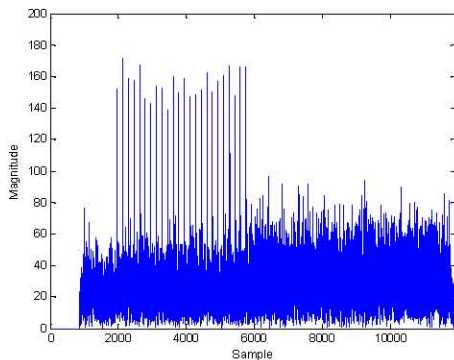


그림 4. 증폭된 ADC 입력신호와 프리엠블신호와의 상관관계결과

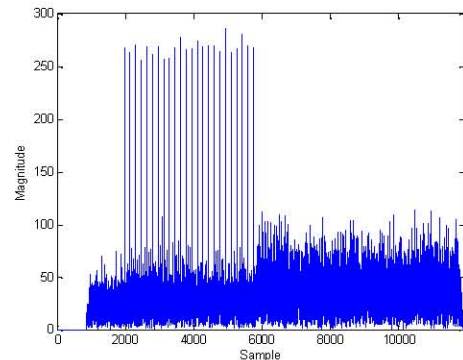


그림 7. 증폭된 ADC 입력신호와 프리엠블신호와의 상관관계결과

4. 시뮬레이션 결과

그림 8은 연속 OFDM 심벌을 이용하는 제안된 알고리즘과 단일 OFDM 심벌을 이용하는 기존의 알고리즘의 성능 실험 결과를 보여준다. 패킷 검출이 잘 못될 경우 심벌 동기가 어긋나기 때문에 해당 패킷의 수신 데이터에 오류가 많이 생기게 되는데, PER값을 비교해보면 몇 개의 패킷 오류가 생기는 형태로 관찰된다. 제안한 알고리즘은 기존 알고리즘 대비 약 0.5 dB의 SNR 개선 효과가 있음이 확인되었다.

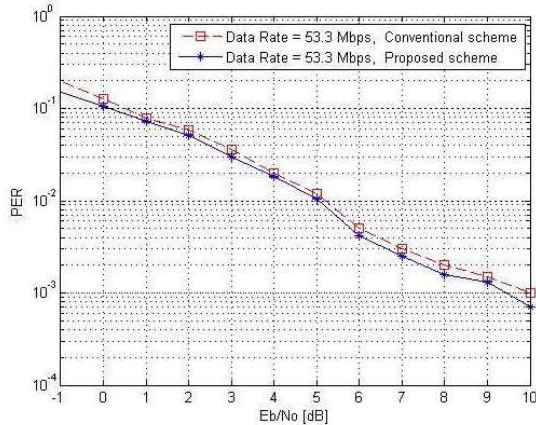


그림 8. PER 시뮬레이션 결과

참고문헌

- [1] Abbot et al., Multi-Band OFDM Physical Layer Specification, WiMedia Alliance, Release 1.2, May, 2007.
- [2] C.Clark and J. B. Cain, Error Correcting Coding for Digital Communications, Plenum Press, 1981.
- [3] D.Raychaudhuri, Performance analysis of random access packet-switched code division multiple access systems, IEEE Trans. Commun., vol. COM-29, pp.895-901, Jun. 1981.
- [4] R. V. Nee and R. Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House, 2000.
- [5] J. Terry and J. heiskala, "OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide", SAMS, 2002.
- [6] IEEE P802.15-02/490r1-SG2a, "Channel Modeling Sub-committee Report Final", February 7, 2003.