

MB-OFDM 을 위한 신호 획득 알고리즘 성능 평가

김해룡, 이유성, 박현철

한국정보통신대학교 공학부
전화 : 042-866-6808

Performance Evaluation of Signal Detection Algorithms for MB-OFDM

Haelyong Kim, Yusung Lee, Hyuncheol Park

Information and Communications University
E-mail : {seamirr, diotima and hpark}@icu.ac.kr

Abstract

A high data rate Wireless Personal Area Networks (WPAN) system is a hot issue in wireless communication communities and being standardized. Multi-band Orthogonal Frequency Division Multiplexing (MB-OFDM) is one of the candidates for WPAN standard. In this paper, we discuss the PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) structure for MB-OFDM. Also we evaluate the performance of two signal detection algorithms, which are the method of cross-correlation with the original preamble and the signed preamble. The latter has a low complexity with a little degradation.

I. 서론

2002년 2월 미국 연방 통신 위원회(FCC)가 3.1~10.6 GHz의 주파수 대역을 민수용으로 허가함에 따라 사업자 및 학계의 관심이 커지고 있다. 여기에 맞추어 55-480 Mbps의 고속 데이터 전송률을 갖는 UWB 기반의 WPAN을 위해 IEEE 802.15.3a 표준화가 활발히 진행 중이다. 가장 유력한 표준화 후보로 MB-OFDM 시스템이 고려되고 있다.

MB-OFDM 시스템이 고속 데이터 전송을 위한 방식이고 수신기의 다른 모든 동작이 초기 신호 획득이 성공할 때 수행되므로 단시간에 정확한 신호

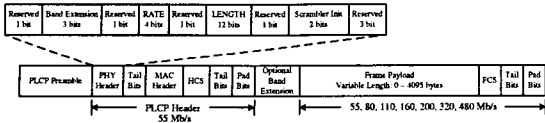
획득이 이루어지는 것이 더욱 중요해졌다. 대표적인 신호 획득 방식으로는 수신 신호의 자기 상관값을 문턱값과 비교하는 방식과 수신 신호의 상호 상관값을 문턱값과 비교하는 방식이 있다. MB-OFDM 방식의 물리 계층 구조는 프리앰블 (preamble)을 포함하므로 수신 신호의 자기 상관을 이용한 방식보다 성능이 우수한 상호 상관을 이용한 방식이 적합할 것이다.

본 논문에서는 MB-OFDM의 PLCP 구조를 살펴보고 신호 획득에 필요한 프리앰블 구조의 특징을 살펴본다. 그리고 MB-OFDM 방식의 프리앰블 구조를 이용한 신호 획득 방법의 성능을 모의 실험을 통해 평가하고 결론을 맺는다.

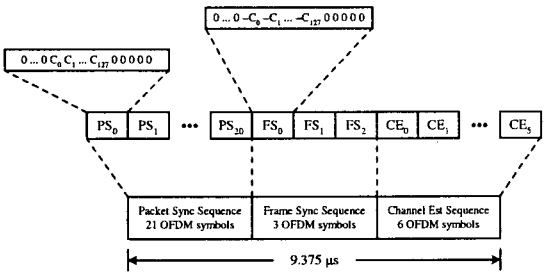
II. MB-OFDM의 PLCP 구조

MB-OFDM의 물리 계층 구조는 그림 1과 같다. MB-OFDM PLCP 구조는 크게 PLCP 프리앰블, PLCP 헤더, MAC(medium access control) 헤더로 이루어져 있다.

수신단에 가장 먼저 도달하게 되는 프리앰블은 그림 1.(a)와 같이 패킷 동기를 위해 21 심볼, 프레임 동기를 위해 3 심볼, 채널 추정을 위해 6 심볼을 갖는다.



(a) PLCP frame format



(b) Standard PLCP preamble format

그림 1. MB-OFDM의 PLCP 구조

패킷 동기를 위한 프리앰블 1 심볼은 표 1 과 같이 정해진 패턴이 없는 실수값을 갖고 8 샘플 단위로 부호가 반복 또는 반전되는 형태를 이루어 총 128 샘플로 구성되어 있다.

표 1. Time-domain packet sync. Sequence

Sequence Element	Value	Sequence Element	Value	Sequence Element	Value	Sequence Element	Value
C0	0.15544	C20	-0.20844	C40	-0.20553	C60	0.42332
C1	-1.34711	C21	1.19774	C41	1.16440	C61	-1.23884
C2	-0.99580	C22	1.22261	C42	1.23374	C62	-1.81151
C3	-1.39801	C23	1.44011	C43	1.53310	C63	-1.40259
C4	0.64811	C24	-0.59980	C44	-0.00444	C64	1.03022
C5	1.06822	C25	-0.46758	C45	-0.38577	C65	0.94119
C6	-0.86211	C26	0.85200	C46	0.77310	C66	-1.14712
C7	-0.83322	C27	0.83922	C47	0.21532	C67	-1.56336
C8	0.39202	C28	-0.35057	C48	-0.23337	C68	-0.97974
C9	-1.33501	C29	1.18086	C49	0.35579	C69	0.92773
C10	-0.63354	C30	1.11128	C50	0.40335	C70	1.08007
C11	-1.32489	C31	1.08313	C51	-0.42440	C71	-1.14445
C12	1.09944	C32	-0.90713	C52	-0.33529	C72	-1.23332
C13	1.33334	C33	1.62227	C53	-0.99114	C73	-0.66443
C14	-0.73778	C34	1.60113	C54	0.59775	C74	0.30336
C15	-1.33533	C35	-1.40222	C55	-0.84022	C75	-1.14822
C16	0.39222	C36	0.73960	C56	-0.75877	C76	0.70333
C17	-0.82111	C37	-1.31311	C57	-0.94014	C77	-0.67477
C18	-0.24622	C38	1.44440	C58	-1.00022	C78	-1.15533
C19	-0.40666	C39	-1.72310	C59	-1.16336	C79	-0.80996
C20	0.64377	C40	1.02877	C60	0.95500	C80	0.24114
C21	1.12377	C41	0.61000	C61	0.71377	C81	0.11160
C22	-0.32655	C42	-0.92377	C62	-0.67776	C82	-0.69877
C23	-0.75311	C43	1.26111	C63	-0.90222	C83	-0.42811
C24	0.79077	C44	0.53974	C64	-0.54877	C84	0.18222
C25	-0.33363	C45	1.03974	C65	1.10222	C85	-1.04772
C26	-0.13342	C46	-0.37976	C66	1.44888	C86	-0.54774
C27	-0.13846	C47	-0.99822	C67	1.33077	C87	-1.23211
C28	0.69855	C48	0.89877	C68	-1.28522	C88	0.50033
C29	1.60600	C49	1.76440	C69	-1.26559	C89	0.74119
C30	-0.16000	C50	-1.02111	C70	0.94335	C90	-0.89344
C31	0.84322	C51	-1.63111	C71	-1.60222	C91	0.83311

표 1 에서 실선으로 표시된 8 샘플에 대해 점선의 8 샘플은 부호가 반전되었음을 나타낸다. 또한, 프리앰블의 자기 상관 특성은 그림 3 에서와 같이 나타난다. 프리앰블 1 심볼이 128 샘플로 이루어져 좋은

상관 특성을 나타낼 수 있다.

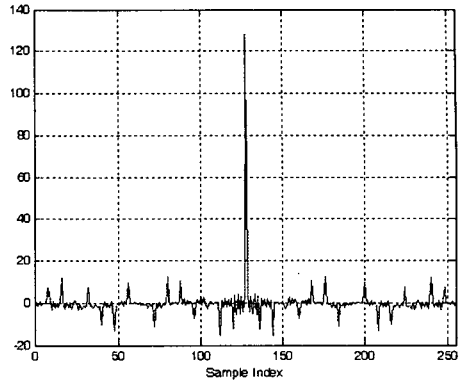


그림 2. 패킷 동기 프리앰블의 자기 상관 특성

III. MB-OFDM 신호 획득 성능 평가

3.1 신호 획득

신호 획득이란 버스트(burst)하게 수신되는 신호 패킷의 시작을 감지하는 것을 의미한다. WPAN 시스템은 신호 패킷의 첫 부분이 프리앰블로 구성되어 있으므로 프리앰블의 시작을 감지하는 것을 신호의 획득이라 할 수 있다. 보통 수신 신호의 상관값 또는 전력값을 미리 정해진 문턱값과 비교하여 문턱값을 초과할 때 신호로 인식하게 된다.

일반적으로 신호 획득 성능은 신호 획득 오류 확률 (detection error probability)로 평가된다. 신호 획득 오류 확률은 다시 오경보 발생 확률 (false alarm probability)과 신호 획득 실패 확률 (miss detection error probability)로 나눌 수 있다. 오경보 발생 확률은 신호가 수신되기 이전에 잡음의 영향을 받아 신호의 획득으로 잘못 인식하게 되는 확률을 의미하며 신호 획득 실패 확률은 신호 획득 구간으로 정해진 시간까지 신호를 획득하지 못하게 되는 확률을 의미한다. IEEE 802.15.3a 에서는 오경보 확률로 6.2×10^{-4} 이하를, 신호 획득 실패 확률로 2×10^{-5} 이하를 요구하고 있다.

본 논문에서는 수신 신호의 상호 상관값을 문턱값과

비교하는 방식을 선택하여 성능을 평가하였다.

$$M_n = \sum_{k=0}^{L-1} \text{Re}\{r_{n-k}\} \sigma_k \quad (1)$$

신호 획득은 식(1)과 같이 수신 신호(r_{n-k})의 실수 부분값과 프리앰블(σ_k)의 상호 상관값(M_n)을 문턱값과 비교하여 이루어진다. 즉, 상호 상관값이 문턱값보다 커지는 순간 신호가 획득된 것으로 판정하는 것이다. 다른 방법으로 프리앰블의 실수값 대신 프리앰블의 부호값만을 이용하여 성능을 평가하였다. 즉, 식(1)에서 수신 신호의 실수 부분값과 상관을 취하는 프리앰블 대신 프리앰블의 부호값으로 연산을 수행하므로 더 단순한 구조를 갖는다. 프리앰블의 부호값을 이용한 방식은 수신 신호와의 상관을 계산할 때 수신 신호와의 곱대신 반전기를 통해 수신 신호의 부호를 변화시키는 연산만으로 알고리즘을 구현할 수 있는 장점이 있다. 그림 3은 수신 신호의 상호 상관을 이용한 신호 획득 블록도를 나타낸다.

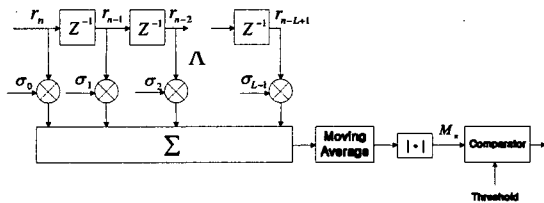


그림 3. 상호 상관을 이용한 신호 획득 블록도

3.2 모의 실험

상호 상관을 이용한 신호 획득 알고리즘을 모의 실험을 통해 성능을 확인하였다. 모의 실험은 프리앰블의 실수 부분값을 이용한 방식과 프리앰블의 부호값을 이용한 방식 두가지에 대해 수신단의 프리앰블 크기에 따른 성능 변화에 역점을 두고 행하였다. 모의 실험은 AWGN 환경에서 고정된 문턱값을 갖도록 하였고 신호 획득 구간을 프리앰블 1 심볼, 즉 128 샘플의 시간으로 임의로 정하여 반복적으로 수행하여 그림 4와 같이 신호 획득 오류

확률을 얻었다.

IEEE 802.15.3a 가 요구하는 오정보 확률(6.2×10^{-4})과 신호 획득 실패 확률(2×10^{-5})을 합한 6.4×10^{-4} 의 신호 획득 오류 확률에 대해, 프리앰블의 크기 $L=32$ 일때 약 -0.5 dB 에서 만족하는데 비해 $L=64$ 일때는 약 -4.5 dB 에서 만족하게 되며 L 이 증가할수록 그 차이는 감소한다. 반면, 프리앰블의 부호값만을 사용하는 방법은 프리앰블의 실수값을 이용하는 방법에 비해 신호 획득 오류 확률 6.4×10^{-4} 을 기준으로 약 $0.5 \sim 1$ dB 정도의 성능 열화를 나타낸다. 하지만, 이 방법은 수신기에 단지 프리앰블의 8 샘플의 부호값과 프리앰블을 구성하는 8 샘플 단위의 패턴만을 수신기에 저장하므로 실수값의 프리앰블을 사용하는 방법에 필요한 L 개의 곱셈기를 반전기로 바꿀 수 있어 시스템의 복잡도가 크게 줄어든다.

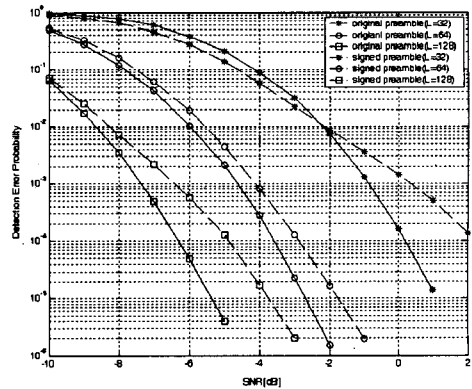


그림 4. 신호 획득 성능 곡선

IV. 결론

본 논문에서는 MB-OFDM의 PLCP 구조를 파악하고, 수신단에 가장 먼저 도달하게 되는 프리앰블의 구조적 특징에 대해 서술하였다. 또한 이러한 특징적인 프리앰블 구조를 이용하여 수신단의 초기 동기를 위해 중요한 신호 획득 알고리즘을 모의 실험을 통해 성능을 평가하였다. 프리앰블의 크기가 커질수록 성능은 향상되지만 성능 향상의 폭은 프리앰블의

크기가 커질수록 감소한다. 그러므로 $L=64$ 를 선택한다면 프리앰블 1 심볼을 사용하는 것에 비해 성능 열화는 크지 않고 시스템 구현을 위한 복잡도는 절반으로 줄어든다. 또한 실수값의 프리앰블 대신 프리앰블의 부호값만을 이용한 방법은 작은 성능 열화를 겪는 대신 상관값 계산에 필요한 곱셈기 대신 반전기를 사용하여 복잡도를 크게 줄일 수 있다.

References

- [1] Anuj Batra et al., Texas Instruments et al., "Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a," *IEEE P802.15-03/268r2*, Nov. 2003.
- [2] J. Terry and J. Heiskala, *OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide*, SAMS Publishing, 2003.
- [3] R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [4] C. Liu, "On the Design of OFDM Signal Detection Algorithms for Hardware Implementation," in *IEEE Proc. GLOBECOM' 2003*, vol. 49, pp. 571-578.