

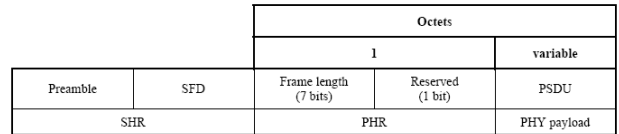
**IEEE 802.15.4b 868/915MHz
수신기를 위한 주파수 오프셋 영향 감소**

강성민*, 임재원, 이성용, 정차근
호서대학교 시스템 제어공학과

**The Decreasing of frequency offset effect for
IEEE 802.15.4b 868/915MHz receiver**

Sung-Min Kang*, Jae-Won Lim, Sung-Young Lee, Cha-Keon Cheong
Dept. of System Control Eng., Hoseo University*

Abstract - 본 논문에서는 868/915MHz 대역 IEEE 802.15.4b LR-WPAN(Low-Rate Wireless Personal Area Network; ZigBee)시스템의 수신기를 위한 주파수 오프셋 영향을 감소시키는 알고리즘을 제안한다. 저가 구현을 지향하는 LR-WPAN 시스템의 특성에 맞추어 반송파 중심 주파수의 ±80ppm에 해당하는 주파수 오프셋 환경에서 안정된 수신을 보장할 수 있는 알고리즘으로 868/915MHz수신기 Correlator에 multiple delay differential filter를 적용함으로써 주파수 오프셋에 대한 강인성 및 수신 성능의 안정성을 증대시켰다.



〈그림 1〉 Format of the PPDU

1. 서 론

LR-WPAN(Low Rate Wireless Personal Area Network)은 제한된 전력 과 완화된 전송률만 필요한 애플리케이션을 무선으로 서로 연결하는 비교적 간단하면서 저비용인 통신 네트워크이다[1]. 유비쿼터스 센서네트워크의 무선 통신은 고속 전송률을 지향하지 않고 근거리 저 전력, 저속통신의 IEEE 802.15.4b ZigBee의 사용이 크게 대두되고 있다. ZigBee의 시스템의 특성상 규격에서 권고하는 868/915MHz frequency tolerance ±80ppm(송수신 각각 ±40ppm)의 주파수 오프셋 환경에서 신뢰성 있는 동작이 가능해야 한다[2].

본 논문에서는 IEEE 802.15.4b 868/915MHz 대역 수신 모델 correlator에 differential filter를 적용하여 주파수 오프셋에 더욱 강인한 수신과 안정성 증대를 위한 multiple delay를 사용한 multiple delay differential filter를 적용하는 알고리즘을 제안한다.

2. IEEE 802.15.4b 868/915MHz PHY

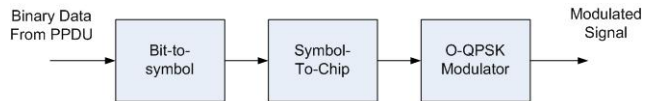
제안된 868/915MHz PHY 표준은 2.4GHz 표준에 비해 지원하는 전송속도가 낮은 문제점이 있다. 그래서 IEEE 802.15.4를 향상시킨 IEEE 802.15.4b에서는 868/915MHz 대역에서도 빠른 전송속도를 지원하기 위한 선택적(optional) 통신 방식을 규정하고 있다. 본 논문에서 제안하는 통신 방식은 1bit 신호가 4개의 chip으로 표현되고 2.4GHz 대역의 IEEE 802.15.4와 같은 baseband 변조와 같은 구조인 선택적 통신 방식 중 DSSS 확산과 O-QPSK 변조를 사용한다.

패킷 구조는 beacon 패킷, data 패킷, acknowledgment 패킷, 그리고 MAC (Medium Access Control) command 패킷으로 분류되며 수신 신호 포착을 위해 사용되는 프리앰블 신호가 포함된 SHR(Synchronization gader)의 구조는 모든 패킷 구조에서 동일하다. 그중 사용빈도가 가장 높은 data 패킷 구조는 <그림 1>과 같으며 PPDU (PHY protocol Data Unit)의 1 data 패킷은 프리앰블 신호 4byte 와 SFD(Start of Frame Delimiter) 1byte로 이루어진 SHR과 PHR(PHY header), 그리고 PSDU (PHY Service Data Unit)로 구성되며 PHY layer에서 information 정보 와 control 정보는 MAC layer로부터 전달 받는다.

PPDU에 있는 각각의 비트는 octec 순서대로 bit-symbol mapping,

〈표 1〉 Frequency bands

PHY (MHz)	Frequency band (MHz)	Spreading parameters	
		chip rate (kchip/s)	Modulation
868/915	868~868.6	300	BPSK
	902~928	600	BPSK
868/915 (optional)	868~868.6	400	ASK
	902~928	1600	ASK
868/915 (optional)	868~868.6	400	O-QPSK
	902~928	1000	O-QPSK
2450	2400~2483.5	2000	O-QPSK



〈그림 2〉 Modulation and spreading functions

symbol-chip mapping 그리고 modulation의 차례로 진행한다<그림 2>. 이 과정은 preamble field에서 시작하여 PSDU의 마지막 octet에서 끝난다. 각각의 octec의 경우, b_0 (LSB)을 가장 먼저 처리하고, b_7 (MSB)을 가장 늦게 처리한다.

시스템에서 16-ary quasi-orthogonal modulation technique이 사용되어 상위 layer에서 생성된 100kb/s, 250kb/s(O-QPSK 868MHz : 100kb/s, O-QPSK 915MHz : 250kb/s)정보 비트열들은 4bit 단위로 심볼 변환되고 변환된 각 심볼은 <표 2>에 제시된 chip sequence로 확산 된다.

3. differential filter

ZigBee 수신 모델에서의 symbol detector는 데이터 복조를 위해 16개의 symbol중 하나를 detection 하는 모듈로써 저가를 지향하는 시스템의 특성상 규격에서 권고하는 frequency tolerance ±80ppm의 주파수 오프셋 환경에서 신뢰성 있는 동작이 가능해야 한다. 하지만 무선통신은 채널에 따른 송수신단간의 반송파 주파수 오프셋이 존재할 경우 신호 대 잡

〈표 2〉 symbol-to-chip mapping

Data symbol (decimal)	Data symbol (binary) ($b_0 b_1 b_2 b_3$)	Chip values ($c_0 c_1 \dots c_{14} c_{15}$)
0	0000	0011 1110 0010 0101
1	1000	0100 1111 1000 1001
2	0100	0101 0011 1110 0010
3	1100	1001 0100 1111 1000
4	0010	0010 0101 0011 1110
5	1010	1000 1001 0100 1111
6	0110	1110 0010 0101 0011
7	1110	1111 1000 1001 0100
8	0001	0110 1011 0111 0000
9	1001	0001 1010 1101 1100
10	0101	0000 0110 1011 0111
11	1101	1100 0001 1010 1101
12	0011	0111 0000 0110 1011
13	1011	1101 1100 0001 1010
14	0111	1011 0111 0000 0110
15	1111	1010 1101 1100 0001

음비(Signal-to-noise Ratio; SNR)가 크게 감소하는 단점이 있다[3]. 이러한 주파수 오프셋 환경에서의 보다 안정적인 수신 보장을 위해 수신모뎀 correlator에 differential filter를 적용한다. 주파수 오프셋과 AWGN 환경에서 k 번째 수신 샘플 $r(k)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다[4].

$$r(k) = \frac{s(k)e^{j2\pi\Delta f k(0.5T_c)} + n(k)}{s(k)e^{j2\pi\Delta f kT_c} + n(k)} \quad (1)$$

$s(k)$: 송신 신호, Δf : 주파수 오프셋, $n(k)$: AWGN

$$\begin{aligned} D_r(k) &= r(k)r^*(k-N) \\ &= \frac{s(k)s^*(k-N)e^{j2\pi\Delta f NT_c - j2\pi\Delta f(k-N)T_c} + n(k)s^*(k-N)e^{-j2\pi\Delta f(k-N)T_c} + n^*(k-N)s(k)e^{j2\pi\Delta f NT_c} + n(k)n^*(k-N)}{s(k)s^*(k-N)e^{j2\pi\Delta f NT_c} + n(k)} \end{aligned} \quad (2)$$

$r(k)$: 수신 신호, $r(k-N)$: N sample 만큼 지연된 신호

$$D_s(k) = s(k)s^*(k-N) \quad (3)$$

$$N(k) = \frac{s^*(k-N)n(k)e^{-j2\pi\Delta f(k-N)T_c} + s(k) \cdot n^*(k-N) \cdot e^{-j2\pi\Delta f kT_c} + n(k)n^*(k-N)}{s(k)s^*(k-N)} \quad (4)$$

식(4)는 differential filter 출력의 잡음 성분을 나타낸다. 식(3)에서 주파수 오프셋이 없을 경우 공액 복소(complex conjugate)곱에 의해 잡음 성분의 영향이 가중되거나 수신 신호가 differential filter를 통과하면서 주파수 오프셋의 영향이 상수값에 변환되는 것을 나타낸다. 즉 differential filter를 수신 입력단에 적용함으로써 주파수 오프셋의 영향을 감소시킬 수 있다[6].

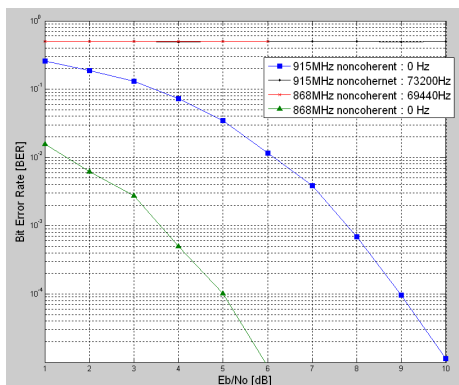
4. 모의실험 결과

성능 평가를 위해 data 패킷 구조를 사용하여 PSDU의 전체 패킷 사이즈를 Addressing field : 4byte, Data payload : 64byte, 총 79byte로 구성하여 0~±80ppm(868MHz : 69440Hz, 915MHz : 73200Hz)의 주파수 오프셋으로 simulation을 수행 했다. <그림 3>는 868/915MHz대역 AWGN channel 환경에서 주파수 오프셋에 따른 BER 성능을 나타낸 것이다. 주파수 오프셋을 고려한 환경에서는 수신 BER 값이 높음을 확인할 수 있다.

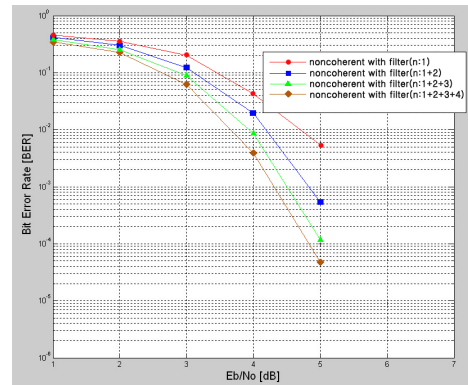
<그림 4>과 <그림 5>는 본 논문에서 제시한 868/915MHz 대역 correlator에 multiple delay differential filter를 적용한 BER을 나타낸 것이다. 868/915MHz 대역의 AWGN 환경에서의 BER 보다 크게 개선되었다. 저가 및 최소의 복잡도를 목표로 하는 IEEE 802.15.4b ZigBee의 특성을 고려하여 $1T_c, 2T_c, 3T_c$ delay differential 신호만을 고려하여 simulation하였다.

5. 고 찰

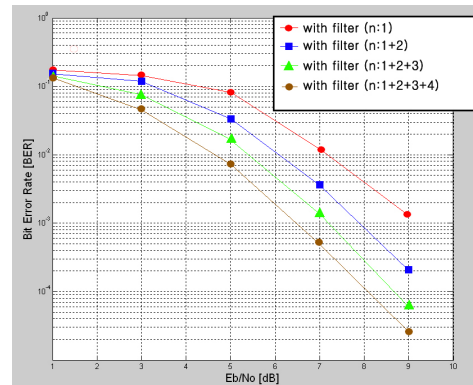
IEEE 802.15.4b 868/915MHz 수신기 correlator에 multiple delay differential filter를 적용하는 간단한 알고리즘의 사용으로 주파수 오프셋의 영향을 줄일 수 있는 방안을 제시하였다. simulation을 통해 AWGN channel 환경에서 IEEE 802.15.4b 868/915MHz 대역 규격에 맞는 최대 주파수 오프셋 상황에서도 BER을 개선한 것을 확인하였다. Differential filter의 수가 증가할수록 성능이 향상되지만, 성능 향상의 폭은 줄어들



<그림 3> AWGN channel 환경에서의 BER



<그림 4> 제안한 방법의 868MHz 대역의 BER



<그림 5> 제안한 방법의 915MHz 대역의 BER

는 것을 확인할 수 있다. Differential filter의 수가 증가하게 되면, 하드웨어의 복잡도가 증가하여 cost가 높아지기 때문에 multiple delay differential filter의 적절한 수를 예측하는 것과 추후에 FPGA등을 통한 하드웨어 구현도 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 최동훈 외, "지그비 기술과 활용", 도서출판 세화, 2007.
- [2] IEEE 802.15.4TM Part 15.4b: wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WAPNs), P802.15.4REVb/D6 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2003). April, 2006
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Audio_Broadcasting#Coding
- [4] 강신우 외, "2.45GHz LR-WPAN 수신기를 위한 Timing Estimator 알고리즘의 설계", 한국통신학회 논문지, '06-3 vol31 No.3A', 2006
- [5] W-C. Lin, K.-c. Liu and C.-K. Wang. Differential matched filter architecture for spread spectrum communication systems, ELECTRONICS LETTERS, vol.32 No.17, 15th August 1996
- [6] 강성민 외, "868MHz LR-WPAN 수신기를 위한 주파수 오프셋 영향 감소에 대한 연구", 대한전자공학회 하계학술대회 논문지, 2008