

WBAN에서 신체 외 고속통신을 위한 UWB 전송 방식의 링크버짓 및 성능 분석

Link Budget and Performance Analysis of UWB Transmission Method for Off-body HDR Communication in WBAN System

최 낙 현* 황 재 호** 장 성 진*** 김 재 명****
(Nack-Hyun Choi) (Jae-Ho Hwang) (Sung-Jeen Jang) (Jae-Moung Kim)

요 약

최근 유비쿼터스 사회를 현실화하기 위해서 IT 기술을 차량 산업에 적용하여 인체 영역에서의 무선 통신이 어디에서나 가능하도록 하는 방법에 대한 연구가 이슈화 되고 있다. 본 논문에서는 WBAN 기술의 인체외부 고속 통신을 위한 물리층 심벌 구조를 IEEE 802.15.4a 시스템 구조의 PPM 방식을 바탕으로 제안한다. 총 4가지 방식을 제안하며 채널 부호의 사용 유무, 연집신호에 들어가는 칩의 수에 따라 각 시스템을 구별하였다. 링크예산 계산을 통하여 요구되는 SNR을 구하였으며, 최근에 제안된 인체외부 WBAN 채널 환경을 적용하여 시뮬레이션을 하였다. 4가지 시스템의 성능 확인을 통하여 채널 부호를 사용하지 않고 적은 칩수의 연집신호를 사용하는 것이 성능향상에 영향을 미치는 것을 확인하였으며 요구되는 10 Mbps 이상의 전송률을 만족하였다.

Abstract

For a realization of the ubiquitous society, applying IT to vehicle industry has recently been an attractive issue to make wireless communication in body area network possible to everywhere. In this paper, we propose the physical layer symbol structure based on PPM scheme of the IEEE 802.15.4a for the off-body high data rate WBAN system. We propose four symbol structures which is classified according to the number of the chip and whether the channel coding is used or not. We calculate the required SNR through the link budget calculation and the recently proposed off-body WBAN channel environment was applied in the simulation. The results of four systems show that small number of burst's chip enhances the performance and the system is capable to achieve the data rate of 10 Mbps.

Key words: WBAN, off-body, link budget, PHY structure, channel model

† 이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임(No. M1060000194-06J0000-19410). 본 WBAN 연구는 ETRI의 지원으로 이루어 졌습니다.

* 주저자 : 인하대학교 정보통신대학원 WiTLAB 석사과정

** 공저자 : 인하대학교 정보통신대학원 WiTLAB 박사과정

*** 공저자 : 인하대학교 정보통신대학원 WiTLAB 석사과정

**** 공저자 : 인하대학교 정보통신대학원 WiTLAB 교수

† 논문접수일 : 2008년 10월 28일

† 논문심사일 : 2008년 11월 14일(1차), 2008년 12월 2일(2차), 2009년 1월 17일(3차)

† 게재확정일 : 2009년 1월 19일

I. 서 론

최근 유비쿼터스 사회를 현실화하기 위하여 IT 기술을 다른 산업에 적용하는 융합기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 무선 전송 기술을 차량 통신에 적용하는 것은 유비쿼터스 실현을 위하여 필수적인 요소가 되었다. 현재 위치 추적, 전후방 감지 등의 기술이 이미 적용되어 활용되고 있으며 운전자의 특성, 상태에 따른 차량에서의 정보 제공이 이슈화 되고 있다. 이러한 운전자의 정보를 통하여 현재의 상태, 예를 들어 졸음운전 여부나 갑작스런 건강 악화에 따라서 경고 지시나 응급조치 등을 취할 수 있다. 이를 위해서는 차량 내부에서의 정보 전송이 수반 되어야 하므로 인체 영역에서의 통신 기술인 WBAN (Wireless Body Area Network)의 응용이 필수적이다 [1, 2].

인체 영역에서의 통신을 위해서는 현재 IEEE 802.15.6 WBAN 테스트 그룹을 중심으로 표준화가 진행 중이다 [3]. 국내에서는 한국전자통신연구원, 한국전파진흥원, TTA, 삼성전자 등에서 WBAN에 대해 연구와 표준화를 진행하고 있으며 국외에서는 대표적으로 일본의 NICT에서 연구가 활발히 진행 중이다 [4].

WBAN 기술은 유비쿼터스 센서 네트워크 기술에 해당되어 근거리 통신망의 새로운 응용서비스 분야로 각광받고 있다. 응용 분야에 따라서 의료용분야와 비의료용 분야로 나뉘질 수 있으며 장치의 위치에 따라 인체 내부 (In-Body) 통신, 인체 표면 (On-Body) 통신과 인체 외부 (Off-Body) 통신으로 나눌 수 있다 [5]. 또한 WBAN 시스템은 전송속도에 따라 저속, 중속 및 고속으로 나눌 수 있다. 저속 응용은 모니터링을 위한 제어 신호 전송에 응용할 수 있으며, 중속은 휴대폰 및 EEG 등 음성신호 전송에 응용할 수 있다. 그리고 고속은 비디오 헤드셋, 차량과의 통신, 캡슐내시경과 같은 동영상 데이터 전송에 응용할 수 있다.

WBAN 기술은 대부분 인체 주변에서 전송이 이루어지므로 방출 제한에 대해서 엄격한 기준이 적용되고 있으며 이를 위해서는 초저전력 사용이 수반 되어야 한다 [6]. 이와 같은 엄격한 방출제한을 만족하면

서 저용량 전송뿐만 아니라 동영상과 같은 대용량 전송도 요구되고 있기 때문에 UWB (Ultra Wideband) 전송 기술에 대한 연구가 필수적이라고 판단된다 [7, 8].

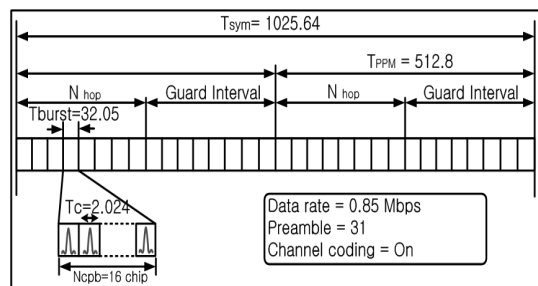
본 논문에서는 WBAN 시스템의 인체 외부 고속 통신을 위한 물리층 심벌 구조를 제안한다. 기존의 PPM (Pulse Position Modulation) 방식의 새로운 심벌 구성을 통하여 전송량 10 Mbps 이상을 만족하는 시스템을 제안하였다. 2장에서는 제안하는 4가지 WBAN 시스템을 심벌 구조와 채널 모델, 요구 링크예산에 대해서 설명하였으며 3장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 분석을 하였다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

II. WBAN PHY 시스템

1. 고속 통신을 위한 WBAN시스템

WBAN 시스템은 인체 내부 또는 인체의 매우 근접한 거리에서 작동하므로 방사 전력에 엄격한 제한이 요구된다. 특히 동영상 전송을 위한 인체외부 WBAN의 경우 저전력이면서 10 Mbps 이상의 고속 전송속도를 요구한다 [9]. 이러한 요구사항을 만족하는 전송방식을 위하여 본 논문에서는 IEEE 802.15.4a 시스템 구조의 PPM 변조 방식을 기초로 4가지 심벌 구조를 제안한다. 4가지 방식은 각각 채널 부호의 사용 유무와 연접신호에 들어가는 칩의 수에 따라서 구분하며 성능 분석을 통하여 어떤 시스템이 가장 좋은 성능을 보이는지를 검증한다.

<그림 1>은 기존에 제안되었던 저속 UWB 시스템의 물리층 심벌 구조를 나타낸다. 변조 방식은 펄스



<그림 1> 저속 UWB 시스템의 물리층 심벌 구조
<Fig. 1> PHY symbol structure of UWB system

<표 1> 인체외부 WBAN 시스템의 심벌 구조 비교
 <Table 1> Symbol structure comparison of Off-Body WBAN symbols

version	Peak PRF MHz	BW MHz	Preamble Code Length	Modulation & Coding			Data Symbol Structure						Data			
				Viterbi Rate	RS Rate	Overall FEC Rate	# Burst Position/Sym N_burst	# Hop Bursts N_hop	# Chips per Burst N_cpb	# Chips per Symbol	Burst Duration T_burst (ns)	Symbol Duration T_sym (ns)	Symbol Rate (MHz)	Bit Rate Mb/s	Mean PRF MHz	
4a	499.2	499.2	31	0.5	0.87	0.44	32	8	16	512	32.05	1025.64	0.98	0.85	15.60	
	499.2	499.2	31	0.5	0.87	0.44	32	8	2	64	4.01	128.21	7.8	6.81	15.60	
WBAN	32-2	499.2	499.2	31	0.5	0.87	0.44	32	8	1	32	2.00	64.1	15.6	13.62	15.60
	64-2	499.2	499.2	31	1	0.87	0.87	32	8	2	64	4.01	128.21	7.8	13.62	15.60
4a	499.2	499.2	31	0.5	0.87	0.44	8	4	64	512	129.55	1036	0.97	0.84	61.75	
WBAN	32-1	499.2	499.2	31	0.5	0.87	0.44	8	4	4	32	8.097	65	15.438	13.45	61.75
	64-1	499.2	499.2	31	1	0.87	0.87	8	4	8	64	16.194	130	15.438	13.45	61.75

의 위치에 정보를 실어 보내는 PPM 방식을 사용한다. 1 비트를 전송하는 신호의 주기를 나타내는 T_{sym} 은 약 1026 ns이며 데이터 전송량 0.85 Mbps를 지원한다. 한 심벌은 2PPM을 사용하며 T_{ppm} 은 512.8 ns로 2구간으로 나뉘어 1 비트를 전송하게 된다. 한 T_{burst} 구간에는 16개의 칩으로 이루어지며 다중 접속을 지원하는 8개의 호핑 구간으로 구성된다.

<표 1>은 기존에 제안되었던 저속 UWB 시스템에서 고속 통신을 위하여 심벌 구조를 변경하였을 때의 파라미터를 보여준다. 어둡게 표현된 부분이 13 Mbps의 고속 데이터 전송량을 가지는 심벌 구조를 나타낸다. 여기서 데이터 전송량이 13 Mbps인 이유는 요구사항인 10 Mbps 데이터 전송량에서 마진을 고려하였기 때문이다. 1/2과 1의 채널 부호율을 가지는 시스템을 제안하며 본 논문에서는 이를 각각 WBAN 32-1, WBAN 64-1이라 한다. 여기서의 32와 64는 전체 심벌에 포함되는 칩의 수(N_{cpb})를 의미하며 채널 부호의 사용 유무에 따라서 두 배 차이가 난다. 이는 채널 부호를 사용했을 때 동일한 데이터 전송량을 얻기 위해서 전체 심벌 길이가 1/2로 줄어들며 그것에 비례하여 연접신호 구간에 들어가는 칩의 수 또한 1/2로 줄인다.

또한 다중 접속을 위한 호핑 구간의 수를 4개보다 두 배 많은 8개로 하며 연접신호에 포함되는 칩의

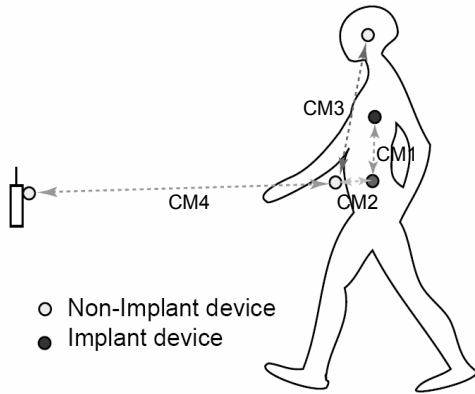
수를 1개와 2개로 줄여서 이를 각각 WBAN 32-2, WBAN 64-2라 한다. 여기서 뒤의 1과 2는 한 연접신호에 포함되는 칩의 수가 많고 적음에 따라 구분하였다. 4개와 8개인 경우는 32-1과 64-1이며 1개와 2개인 경우는 32-2와 64-2로 정의하였다.

채널 부호의 사용 유무와 연접신호의 칩수에 따라 시스템을 달리 정의한 이유는 무선 전송 환경에서 본 시스템의 채널 부호와 펄스 반복에 의한 성능 차이를 비교, 분석하기 위함이다.

2. 채널 모델

현재 IEEE 802.15 테스트 그룹을 중심으로 표준화가 진행 중인 WBAN은 인체 외부에서의 통신을 위한 채널 모델이 제안되고 있다 [10].

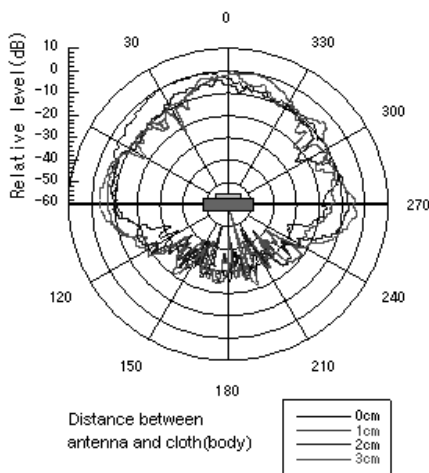
<그림 2>는 WBAN 시스템의 가능한 통신 링크를 나타낸다. CM (Channel Model) 1은 인체 내부 장치 사이의 링크를 나타내고 CM 2는 인체 내부와 인체 표면 장치 사이에서의 링크를 나타낸다. 또한 CM 3은 인체 표면에 위치한 장치 사이에서의 링크를 나타내며 CM 4는 인체 표면에서 인체 외부 장치 사이의 링크를 나타낸다. 본 논문에서는 인체 외부 통신 링크인 CM 4에 대해서 논의할 것이다.



<그림 2> 인체영역 네트워크에서의 가능한 통신 링크 [10]
<Fig. 2> Possible communication links for Body Area Networking

1) 안테나 특성

인체 표면에서 인체 외부로의 경로인 CM 4의 송수신기 안테나는 전방향성 안테나를 사용한다. 인체 표면의 안테나 위치는 앞면 (Front), 뒷면 (Backside) 과 옆면 (Side) 세 가지로 구분되며 중심으로부터의 각도는 앞면 0°, 뒷면 90°과 옆면 180°, 270°의 4가지로 구분된다. <그림 3>은 이러한 안테나의 위치에 따른 패턴을 나타내며 뒷면인 180°에서는 앞면인 0°와 비교하여 약 20 dB의 감소를 보인다.

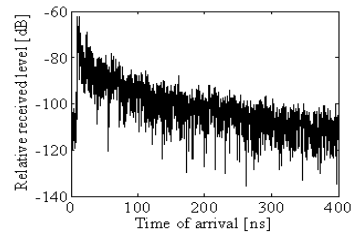


<그림 3> 6.85 GHz에서의 인체 안테나 특성 [10]
<Fig. 3> Antenna characteristics on body at 6.85 GHz

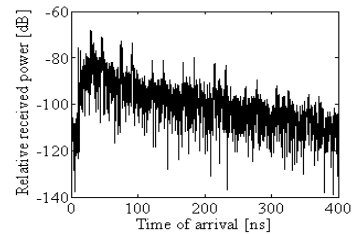
2) 전파 측정 및 분석

본 논문에서 사용된 채널 모델의 지연 프로파일은 VNA (Vector Network Analyzer)를 사용하여 측정하였다. 복소 임펄스 응답은 주파수 도메인에서 FFT (Fast Fourier Transform) 함수에 의해 측정된 복소 전달 함수로부터 계산되었다. 또한 UWB 대역폭인 3.1~10.6 GHz의 주파수 범위를 사용하여 의료 헬스 응용을 위한 사무실 환경에서 측정되었다. 송신기는 벽에 고정 시킨 상태로 수신기의 위치는 거리와 인체의 부착된 방향에 따라서 변화시켰다.

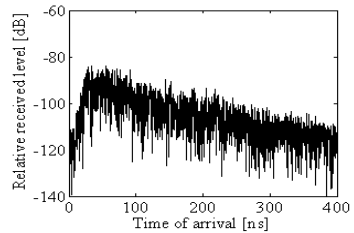
<그림 4>는 세 가지 인체 위치에 따른 임펄스 응답을 나타낸다. (a)의 0°의 경우에는 첫 번째 임펄스 응답을 직선경로 성분으로 볼 수 있으나 (b)와 (c)의 90°와 180°의 경우에는 직선경로 성분이 감쇄되어 한 클러스터만을 확인할 수 있다.



(a) $\theta = 0^\circ$ 인체 앞면 (Front of body)



(b) $\theta = 90^\circ$ 인체 옆면 (Side of body)



(c) $\theta = 180^\circ$ 인체 뒷면 (Backside of body)

<그림 4> 각 인체 위치에서의 지연 프로파일 예
<Fig. 4> Example delay profile for each body position

3) WBAN 채널 모델

제안된 BAN 채널 모델은 가시선(Line of Sight)과 비가시선(Non Line of Sight) 환경에서 한 클러스터의 직선경로 성분을 고려한다. 식 (1)은 채널 임펄스 응답을 나타낸다. α_m 은 m 번째 광선의 크기를 나타내고 τ_m 은 시스템의 표본화율을 나타낸다.

$$h(t) = \sum_{m=0}^{\infty} \alpha_m \delta(t - \tau_m) \tag{1}$$

여기서 α_m 은 식 (2)와 같으며 각 광선의 위상은 랜덤으로 가정한다. k 는 K-factor의 영향을 나타내고 Ω_0 는 가시선 환경에 대한 경로 손실이다.

$$|\alpha_m|^2 = \Omega_0 e^{-\tau_m/\Gamma - k[1 - \delta(m)]} \tag{2}$$

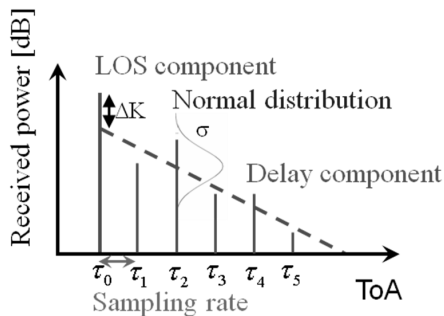
비가시선 환경을 위한 k 는 첫 번째 임펄스 응답 평균의 차이인 Δk 를 사용하여 계산할 수 있으며 k 와 Δk 의 관계는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$k = \Delta k (\ln 10 / 10) \tag{3}$$

식 (4)는 가시선 환경에서의 시스템 표본화율을 나타내며 τ_0 는 랜덤으로 가정한다.

$$\tau_0 = d/c \tag{4}$$

여기서 d 와 c 는 각각 전송 거리와 빛의 속도이다. <그림 5>는 위의 수식에서 설명한 WBAN 시스템



<그림 5> 가시선 성분의 한 클러스터 채널모델 [10]
<Fig. 5> Channel model of one cluster with LOS component

<표 2> 각 인체 위치에서의 채널모델 파라미터
<Table 2> Channel model parameters for each body position

인체방향	Γ [ns]	$k(\Delta k[\text{dB}])$	σ [dB]
0 °	0.224	1.47 (6.4 [dB])	7.30
90 °	0.184	0.691 (3.0 [dB])	7.08
180 °	0.187	0 (0 [dB])	7.03
270 °	0.191	0.345 (1.5 [dB])	7.19

에서 LOS 성분인 경우에 한 클러스터의 채널 모델을 나타내며 <표 2>는 인체 각 위치에서의 채널 모델 파라미터를 나타낸다.

3. 링크예산 분석

WBAN 표준의 인체외부 고속 전송을 위한 4가지 방식의 링크예산을 계산하고 이를 통하여 시스템의 구성을 비교한다 [11]. <표 3>은 기존의 4a 시스템과 WBAN 32-2, WBAN 64-2 시스템의 링크예산 계산을 나타낸다. 여기서 전체 심벌의 칩수는 1 비트를 전송할 때 한 심벌에 포함되는 칩의 수를 나타내며 연집 신호의 칩수는 전체 심벌에서 실제 정보를 나타내는 연집신호에 포함되는 칩의 수를 나타낸다.

기온은 섭씨 25°에서 계산되었으며 거리는 10m로 가정하였다. 대역폭은 500 MHz로 가정하였으며 전송 파워는 -41.3 dBm으로 방사한다. 또한 총 전송 파

<표 3> WBAN 시스템의 링크예산 비교
<Table 3> Link budget of WBAN system

시스템	4a (07)	WBAN 32-2	WBAN 64-2
파라미터			
전체 심벌의 칩수	512	32	64
연집신호의 칩수	16	1	2
처리량 (Mbps)	1	16	16
P_r (dBm)	-84.8024	-84.8024	-84.8024
N (dBm)	-86.8681	-86.8681	-86.8681
N_f (dB)	6	6	6
$D_{n,g}$ (dB)	15.0515	15.0515	15.0515
P_n (dBm)	-95.9196	-95.9196	-95.9196
SNR_P (dB)	11.1172	11.1172	11.1172
N_p	16	1	2
PG (dB)	12.0412	0	3.0103
SNR_C (dB)	23.1584	11.1172	14.1275

워(P_t)는 -14.3102 dBm 이며 식 (5)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_t = -41.3 \text{ dBm/MHz} + 10 \log(BW) \quad (5)$$

식 (5)를 사용하여 수신 파워(P_r)를 계산한 것은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L1 - L2 \quad (6)$$

여기서 G_t 와 G_r 은 송수신 안테나 이득이며 L1과 L2는 경로 손실을 나타낸다.

노이즈 파워(N)는 두 시스템 모두 500 MHz의 대역폭을 가져 노이즈 플로어(N)와 듀티비로 인하여 실제적으로 시스템에 미치는 영향(P_n)은 각각 -86.8681 dBm와 -95.9196 dBm의 값을 가지며 식 (7)과 (8)로 나타낼 수 있다.

$$N = -174 + 10 \log(BW) \quad (7)$$

$$P_n = N + N_f - D_{ng} \quad (8)$$

여기서 듀티비에 의한 수신 노이즈 감소인 D_{ng} 는 듀티비인 D_g 와 같으며 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D_g = \text{TxPeakPower} / \text{Average TxPower} \quad (9)$$

또한 SNR_P, PG, SNR_C를 각각 식 (10), (11), (12)로 표현할 수 있다.

$$\text{SNR}_P = P_r - P_n \quad (10)$$

$$PG = 10 \log(NP) \quad (11)$$

$$\text{SNR}_C = \text{SNR}_P - PG \quad (12)$$

WBAN 32-2 시스템의 심벌과 연집신호에 포함되는 칩의 수는 32개와 1개인 반면 WBAN 64-2 시스템은 채널 부호를 사용하지 않는 시스템으로 전체적인 심벌과 연집신호에 포함되는 칩의 수는 앞의 방식의 두 배인 64, 2이다. 하지만 전체 심벌과 연집신호의 칩수가 서로 비례하므로 전송 파워와 피크 파워는 각각 -14.3102 dBm 와 0.74119 dBm 로 동일한

값을 가진다. 노이즈 파워 역시 같은 심벌 구조로 인하여 같은 -95.9196 dBm 값을 가지게 된다. 하지만 채널 부호를 사용하지 않는 WBAN 64-2 방식이 연집신호의 칩수가 크기 때문에 처리 이득이 두 배로 증가하여 3 dB 차이가 발생하고 이때의 dB는 11.1172 dB 와 14.1275 dB이다.

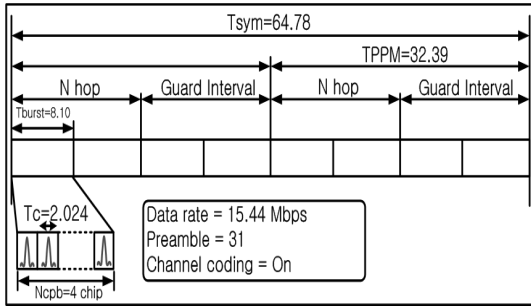
WBAN 32-1과 WBAN 64-1 방식도 이와 마찬가지로 32와 64의 심벌 길이를 가지며 연집신호의 칩수는 4와 8개로 각각 두 배 차이가 나게 된다. 이로 인하여 전송 파워는 -14.3102 dBm 노이즈 파워는 -89.8990 dBm 으로 동일한 값을 가지게 된다. 이 방식 또한 연집신호의 칩수의 차이에 의해 두 방식은 3dB 차이가 나고 WBAN 32-2와 WBAN 64-2는 동일한 SNR (Signal to Noise Ratio) 값을 가지게 된다.

이처럼 4가지 방식은 채널 부호를 하는 경우는 11.1172 dB, 하지 않는 경우는 14.1275 dB로 이론적으로 같은 성능을 보이게 된다. 하지만 채널 부호를 통한 에러 정정 및 연집신호의 칩수 차이 등 4가지 경우 심벌 구조에서 차이를 가지고 있다. 이와 같은 차이가 실제 WBAN 채널 환경에서 어떤 구조가 강한 성능을 보이는지 근거리 실내 채널 환경에서 시뮬레이션을 통하여 4가지 WBAN 모드에서 가장 적합한 방식을 찾는 과정이 필요하다.

4. 고속 WBAN의 물리층 심벌 구조

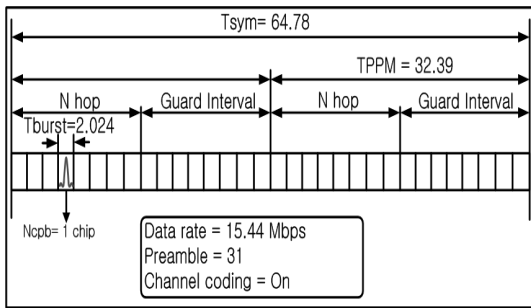
본 논문에서는 기존 광대역 시스템의 PPM 변조 방식을 기반으로 인체외부 WBAN 시스템에 적합한 4가지 심벌 구조를 제안하고 이를 비교 설명한다 [12]. 제안된 4가지 방식은 연집신호에 들어가는 칩의 수인 N_{cpb} , 다중 접속을 위한 호핑 구간의 수인 N_{hop} , 그리고 채널 부호의 유무에 따라서 구분된다.

<그림 6>은 인체외부 WBAN의 고속통신을 위한 4가지 물리층 심벌 구조 중 32-1 시스템을 나타낸다. 한 연집신호에 들어가는 칩의 수는 4개, 다중 접속을 위한 호핑 구간은 2구간이며 보호대역까지 호핑 구간으로 사용할 수 있으므로 최대 호핑 구간은 4구간 까지 가능하다. 컨볼루션 채널 부호율이 0.5로 적용되었으며 채널 부호를 사용하지 않을 경우 64-1 시



<그림 6> 인체외부 WBAN 시스템의 물리층 심벌 구조 (32-1)

<Fig. 6> PHY symbol structure of Off-body WBAN system (32-1)



<그림 7> 인체외부 WBAN 시스템의 물리층 심벌 구조 (32-2)

<Fig. 7> PHY symbol structure of Off-body WBAN system (32-2)

스텝으로 표현하게 된다. 이 때 T_{sym} , T_{ppm} , T_{burst} 는 각각 두 배로 늘어나게 되며 한 연집신호에 들어가는 칩의 수인 N_{cpb} 또한 비례하여 두 배로 늘어나게 된다.

<그림 7>은 인체외부 WBAN의 고속통신을 위한 4가지 물리층 심벌 구조 중 32-2를 나타낸다. 한 연집신호에 들어가는 칩의 수는 1개, 다중 접속을 위한 호핑 구간은 8구간이며 보호대역까지 호핑 구간으로 사용할 수 있으므로 최대 호핑 구간은 16구간까지 가능하다. 이러한 호핑 구간은 32-1 시스템보다 많은 다중 접속을 제공하므로 다중 접속이 필요한 환경에서는 더 우수한 성능을 보일 것으로 예상된다. 쿼터루션 채널 부호율이 32-1 시스템과 같은 0.5로 적용되었으며 채널 부호를 사용하지 않을 경우 64-2 시스

템이 된다. 64-1 시스템과 마찬가지로 T_{sym} , T_{ppm} , T_{burst} 은 각각 두 배로 늘어나게 되며 한 연집신호에 들어가는 칩의 수인 N_{cpb} 또한 비례하여 두 배로 늘어나게 된다.

여기서 32, 64-1과 32, 64-2 시스템은 한 연집신호에 들어가는 칩의 수의 많고 적음에 따라 비교되며 본 논문에서의 성능 비교를 위한 중요한 파라미터가 된다.

<표 4>는 각 시스템에 따라서 변경되는 파라미터를 나타내었다. 연집신호의 칩수와 채널 부호의 사용 유무에 따라 32-1, 32-2, 64-1과 64-2의 4가지 경우로 구분할 수 있으며 이 때 달라지는 파라미터는 연집신호에 포함되는 칩의 수인 N_{cpb} , 한 연집신호의 지속 시간인 T_{burst} , PPM 변조 지속시간인 T_{ppm} 과 전체 심벌의 지속 시간인 T_{sym} 이다. 전체 심벌 시간에 따라서 64와 32를 구분할 수 있으며 정보의 위치를 표현하는 N_{cpb} 에 포함되는 칩의 수에 따라서 1과 2를 구분할 수 있다.

$$x^{(k)}(t) = \sum_{j=1}^{N_{burst}} g_1^{(k)} s_j p(t - g_0^{(k)} T_{ppm} - j T_c - h^{(k)} T_{burst}) \quad (13)$$

식 (13)은 UWB의 펄스 전송 신호를 식으로 표현한 것으로 두 개의 비트 정보를 g_0 와 g_1 에 정보를 전

<표 4> 각 시스템에 따른 파라미터
<Table 4> parameters of each system

	64-1	64-2	32-1	32-2
연집신호의 칩수 (N_{cpb})	8	2	4	1
칩 주기 (T_c [nsec])	2.0243	2.0243	2.0243	2.0243
연집신호 주기 (T_{burst} [nsec])	16.19	4.05	8.10	2.02
PPM 주기 (T_{ppm} [nsec])	64.78	64.78	32.39	32.39
Symbol 주기 (T_{sym} [nsec])	129.56	129.56	64.78	64.78
채널 부호	off	off	on	on

송할 때 g_0 의 정보는 위치 정보로 신호의 위치를 나타내고 g_1 의 정보는 BPSK (Binary Phase shift Keying) 정보로 1인 경우 정 위상, -1인 경우 역 위상을 나타낸다.

S_j 는 스크램블러에 의해 생성된 간단한 의사난수 이진배열이며 이 정보는 {-1,1}로 이루어져 있다. 임펄스 신호를 랜덤한 신호로 만들어 주며 생성식은 식 (14)와 같다.

$$S_j = S_{j-14} \oplus S_{j-15} \tag{14}$$

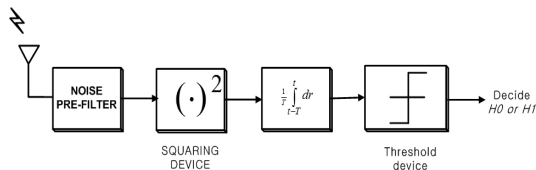
$h(k)$ 는 T_{burst} 구간의 연접신호의 호핑에 의해 위치를 정한다. 연접신호 위치 호핑은 다중 접속 시스템에서 하나의 심벌 내에서 다수의 사용자가 고유의 호핑 부호에 의해 서로 다른 슬롯을 점유하는 방식으로 다중 접속 기능을 한다. 생성식은 식 (15)와 같다. 여기서 식을 두 가지로 나눈 것은 32-2, 64-2 시스템의 경우 8개의 호핑 구간을 갖기 때문이다. 호핑 구간을 최대인 16개로 본다면 $S_{j-4} \times 2^3$ 까지 포함 되어야 한다.

$$\begin{aligned} h^{(k)} &= S_j \times 2^0 + S_{j-1} \times 2^1 \\ h^{(k)} &= S_j \times 2^0 + S_{j-1} \times 2^1 + S_{j-2} \times 2^2 \end{aligned} \tag{15}$$

5. 검출 기법

본 논문에서는 인체외부 WBAN 시스템 수신기에서의 검출 기법으로 에너지 검출 (Energy Detection) 기법을 제안한다. 인체외부 WBAN 시스템의 요구 조건인 저전력과 장치의 간단한 구조를 만족하는 가장 적절한 방식이다.

<그림 8>에서 보는 바와 같이 신호의 중심 주파수



<그림 8> 에너지 검출 방식의 블록도
<Fig. 8> Block diagram of energy detection

를 선택하고 대역폭을 결정하기 위해 대역 통과 필터 (Band Pass Filter)에 통과 시킨 후 제곱을 하여 적분한 값을 임계값과 비교하여 신호의 존재 유무를 판별한다 [13]. 이러한 에너지 검출 방식을 수식으로 나타내면 식 (16)과 같이 표현할 수 있다.

$$Y = \sum |Y(f)|^2 \tag{16}$$

에너지 검출을 통해 도출된 Y값은 미리 준비된 특정 임계치 레벨 (Threshold)과의 비교를 통해 최종적으로 에너지를 검출한 확률 P_d (detection probability)와 오판정보 확률 P_f (false alarm)를 나타내며 이는 식 (17)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_d &= P\{Y > \delta\} \\ P_f &= P\{Y < \delta\} \end{aligned} \tag{17}$$

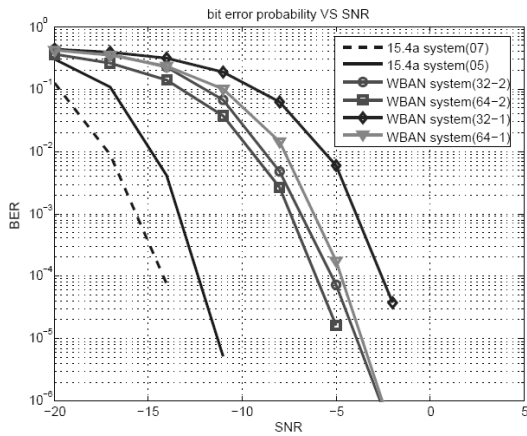
이러한 에너지 검출 기법은 복잡도가 낮은 하드웨어가 필수적인 WBAN 시스템에 적합하다.

III. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 환경은 <표 5>에 나타난 시스템 파라미터를 사용하였다. 변조 방법은 펄스의 위치에 정보를 실어 보내는 PPM 방식과 펄스의 위상에 정보를 실어 보내는 BPSK 방식을 같이 사용한다. 변복조 과정은 반송파를 이용하지 않고 펄스 변조한 신호를 그대로 공간에 방사한다. 에러 정정을 위한 채널 부호는 1/2 컨볼루션 코드를 사용하였고 검출 방식은 에너지 검출 방식을 사용하였다. 채널 모델로는 AWGN

<표 5> 시뮬레이션 환경 파라미터
<Table 5> Parameters of simulation environment

파라미터	값
변조방식	2PPM(+BPSK)
심벌 방식	32-1, 64-1, 32-2, 64-2
채널부호	1/2 컨볼루션 코드
검출방식	에너지 검출
채널환경	AWGN, WBAN CM4 (앞면, 옆면, 뒷면)

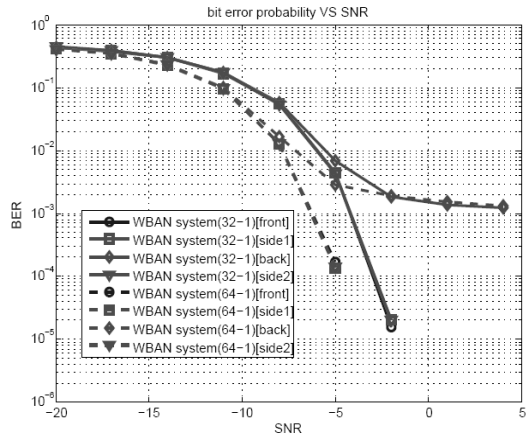


<그림 9> AWGN에서의 비트 에러율 성능
<Fig. 9> BER performance in AWGN

(Additive White Gaussian Noise)과 인체 외부 환경인 CM 4의 4가지 위치를 적용하였다. 이와 같은 환경 파라미터를 바탕으로 WBAN의 4가지 시스템을 제안하여 각각의 비트 에러율 성능을 비교하였다.

<그림 9>는 IEEE 802.15.4a 시스템과 고속통신(13Mbps)을 위한 WBAN 32-1~64-2의 AWGN에서의 성능을 나타낸다. IEEE 802.15.4a 시스템은 저속 통신을 위해 제안되어 기본 전송량은 약 0.8 Mbps을 보인다. 따라서 13 Mbps 이상의 데이터 전송량을 만족하기 위한 WBAN 시스템은 데이터 전송량에 반비례하여 심벌 길이가 줄어들게 된다. 연접신호의 위치에 따라 데이터를 복조하는 PPM 방식에서 줄어든 심벌 길이는 신호지연에 따른 성능 열화가 심해지므로 제안된 WBAN 시스템은 기존의 IEEE 802.15.4a 시스템보다 좋지 않은 성능을 보이게 된다. 하지만 4가지 시스템 모두 비트 에러율 10^{-5} 에서 0dB 이내의 SNR을 만족하는 것을 확인할 수 있다.

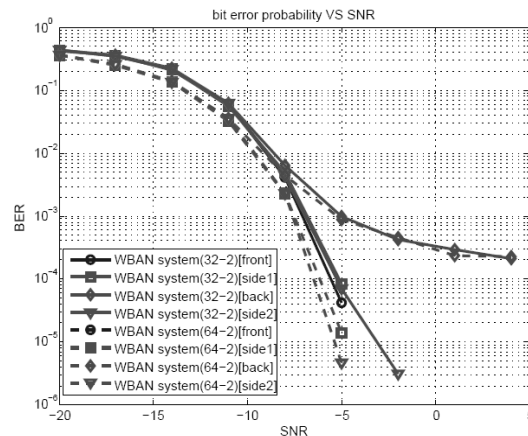
<그림 10>은 인체 방향 앞면(0°), 뒷면(180°), 옆면(90°, 270°)의 환경에서 32-1과 64-1 시스템의 성능을 나타낸다. 1/2 컨볼루션 채널 부호를 사용하였을 경우(32-1)와 채널 부호를 사용하지 않고 심벌 길이를 두 배로 늘렸을 때의 성능을 비교하였다. 64-1 시스템이 앞면과 옆면 환경에서 비트 에러율 10^{-4} 에서 약 2 dB정도 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있으며 채널 환경이 좋지 않은 뒷면 환경의 SNR이 -5



<그림 10> WBAN 32-1, 64-1 시스템의 비트 에러율 성능
<Fig. 10> BER performance of WBAN 32, 64-1 system

dB인 부근에서 에러 플로어가 생기는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 채널 부호를 사용한 오류 정정으로 인한 성능 향상보다 심벌 길이를 늘려 채널의 다중경로에 의한 신호 지연의 영향을 덜 받게 하는 것이 성능 향상에는 더 효과적임을 확인할 수 있다.

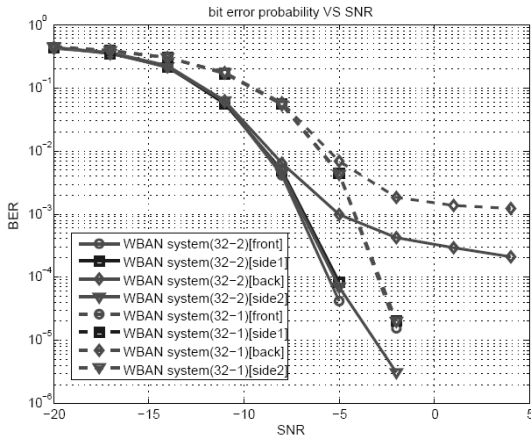
<그림 11>은 앞면, 뒷면, 옆면 환경에서 WBAN 32-2와 64-2의 BER 성능을 보여준다. 4가지 환경 모두에서 더 긴 심벌 길이를 갖는 64-2의 BER 성능이 채널 부호를 사용한 32-2 보다 우수하였다. 이는 앞의 그래프와 마찬가지로 제시된 WBAN 심벌 구조에서 채널 부호를 사용하는 것보다 심벌 길이에 의한



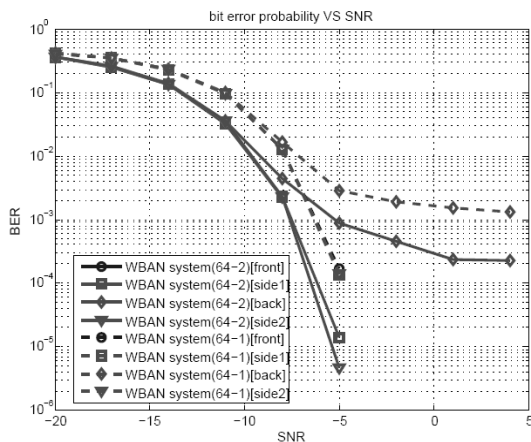
<그림 11> WBAN 32-2, 64-2 시스템의 비트 에러율 성능
<Fig. 11> BER performance of WBAN 32, 64-2 system

성능 향상이 효과적임을 나타낸다. 비가시선 성분이 많은 뒷면 환경은 두 시스템 모두 에러 플로어가 생기는 것을 확인할 수 있다.

<그림 12>는 32-1과 32-2 시스템을 연접신호에 들어가는 칩의 의 수에 따라 성능을 비교한다. 32-1 시스템의 심벌 구조는 4개의 칩으로 구성되어 있으며 32-2 시스템은 1개의 칩으로 구성되어 있다. 같은 심벌 길이에서 칩의 수가 더 많은 경우에는 다중 경로 채널의 영향으로 인한 지연현상이 PPM 구간뿐만 아니라 다음 비트에 더 많은 영향을 미치기 때문에 칩의 수가 적은 경우가 더 좋은 성능을 보인다. 그래프



<그림 12> WBAN 32-1, 2 시스템의 비트 에러율 성능 <Fig. 12> BER performance of WBAN 32-1, 2 system



<그림 13> WBAN 64-1,2 시스템의 비트 에러율 성능 <Fig. 13> BER performance of WBAN 32, 64-2 system

에서 확인 할 수 있듯이 각 채널 환경에서 연접신호에 들어가는 칩의 수가 적은 32-2가 더 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

<그림 13>은 64-1과 64-2 시스템의 성능을 나타낸다. SNR이 0 dB인 지점에서 64-2이 64-1 시스템보다 약 2 dB정도의 성능 향상을 보인다. 그림 10에서와 마찬가지로 연접신호에 들어가는 칩의 수가 적은 64-2 시스템이 각 채널 환경에서 더 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 4가지의 WBAN PHY 심벌 구조를 제안하였으며, WBAN 채널 환경에서 단일 사용자 상황으로 성능을 비교 분석하였다. 각 시스템은 채널 부호 사용 유무에 따른 심벌 길이와 연접신호에 들어가는 칩의 수에 따라서 구분 되었다. 시뮬레이션 결과 채널 부호를 사용하지 않고 심벌 길이를 늘인 심벌 구조가 다중경로 채널 상황에서 더 우수한 성능을 나타내었으며, 연접신호의 칩 수에 따른 결과는 칩의 수가 더 적은 경우가 성능 향상을 보이는 것을 확인하였다. 즉, 제시된 4가지 WBAN 심벌 구조에서 채널 부호보다 심벌 길이에 의한 성능 향상이 효과적이며 더 적은 수의 칩을 사용하는 것이 더 효과적임을 보였다. 또한 비가시선 성분이 많은 뒷면 환경에서는 4가지 시스템 모두 에러 플로어가 생기는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 현재 표준화가 진행 중인 WBAN 연구에 효율적인 방안을 제시할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 오주택, 조준희, 이상용, 김영삼, “위험운전 유형 분류 및 데이터 로거 개발,” *한국ITS학회 논문지*, 제7권, 제3호, pp. 15-28, 2008. 6.
- [2] Y. H. Jeon, E. Kim, and D. Shim, “Useful applications for IG-BAN,” *IEEE P802.15-BAN-0457-01*, Nov. 2006.
- [3] *IEEE 802.15 WPAN WG homepage*,

- <http://www.ieee802.org/15>
- [4] 이성협, 윤양문, 김도현, “IEEE 802.15.6 중심의 WBAN 국내외 표준화 동향,” *한국통신학회지 (정보와통신)*, 제25권 제2호, pp. 26-31, 2008. 2.
- [5] 이형수, “WBAN주파수 분배동향 및 주파수대역 제안,” *한국통신학회지 (정보와통신)*, 제25권, 제 2호, pp. 6-10, 2008. 2.
- [6] 이재천, 남상욱, “저전력 고속 OOK 무선 캡슐형 내시경 시스템의 설계 및 제작,” *한국통신학회지 (정보와통신)*, 제25권, 제2호, pp. 41-46, 2008. 2.
- [7] J. Farserotu, “Applications in LDR PAN/ BAN Optimised PN,” IEEE 802.15-06-0249-00-0ban-LDR_PN_Apps, May 2006.
- [8] S. Ullah, H. Higgins, 광경섭, “내장형 및 부착형 인테센서네트워크의 연구동향 및 이슈,” *한국통신학회지 (정보와통신)*, 제25권, 제2호, pp. 18-25, 2008. 2.
- [9] C. Cordeiro, “Use Cases, Applications, and Requirements for BANs,” *IEEE P802.15-07-0564*, Jan. 2006.
- [10] K. Y. Yazdandoost and K. Sayrafian-Pour, “Channel model for body area network (BAN),” *IEEE 802.15-08-0780-01-0006*, Nov. 2008.
- [11] Z. Irahauten, J. Dacuna, G. J. M. Janssen, and H. Nikookar, “A link budget model for UWB-WPAN applications,” *Proc. European Conf. Wireless Technology*, pp. 95-98, Sept. 2006.
- [12] IEEE 802.15 Working Group for WPANs, “PART 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless personal Area Networks(LR-WPANs),” TG 4a drafting doc. April 2005.
- [13] H. Urkowitz, “Energy detection of unknown deterministic signals,” *Proc. IEEE*, vol. 55, no. 4, pp. 523-531, April 1967.

저자소개



최 낙 현 (Choi, Nack-Hyun)

2007년 2월 : 인하대학교 컴퓨터공학과 공학사
 2007년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신대학원 석사과정



황 재 호(Hwang, Jae-Ho)

2006년 2월 : 인하대학교 전자공학과 공학사
 2008년 2월 : 인하대학교 정보통신대학원 석사
 2008년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신대학원 박사과정



장 성 진(Jang, Sung-Jeen)

2007년 2월 : 인하대학교 전자공학과 공학사
2007년 3월 : 현재인하대학교 정보통신대학원 석사과정



김 재 명(Kim, Jae-Moung)

1974년 2월 : 한양대학교 전자공학과 공학사
1981년 8월 : 미국 남가주대학교(USC) 전기공학과 석사
1987년 8월 : 연세대학교 전자공학과 박사
1974년 3월 ~ 1979년 6월 : 한국과학기술연구소, 한국통신기술연구소 근무
1982년 9월 ~ 2003년 3월 : 한국전자통신연구원 위성통신연구단장/무선방송연구소 소장
역임
2003년 4월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신대학원 원장/교수, 현재 통신위성 우주
산업연구회 회장 외 기술자문으로 다수 활동 중