논문 2009-5-19

인체 무선통신용 소출력 UWB변복조 기술개발 및 RFIC화에 관한 연구

UWB based MODEM Technology and RFIC Property Overview for Wireless Human Body Communication

차재상*, 김은철**, 김진영**, 김재현***

Jae-Sang Cha, Eun-Cheol Kim, Jin-Young Kim, Jai-Hyun Kim

요 약 본 논문에서는 WBAN (Wireless Body Area Network)환경하에서 운용되는 인체 무선 통신기술로서, ZCD (Zero Correlation Duration) 코드기반의 WBAN용 Ultra Wide Band(UWB)변복조기술을 제시하고, WBNA채널환경하에서의 모의실험 및 성능분석을 통하여, ZCD-UWB통신기술이 인체 무선통신용 기술로서도 유용하게 활용될수 있음을 확인하였다. 또한 UWB변복조 기술을 인체에 적용하여 RFIC화 할 경우에 고려할수 있는 사례를 소개하고 검토사항을 간략히 제시함으로써, 인체 무선통신용 UWB통신소자의 RFIC화의 가능성을 제시하였다.

Abstract In this paper, we propose a ZCD (Zero Correlation Duration) code based Ultra Wide Band(UWB) MODEM(modulation and demodulation) technique for WBAN as a hunman body wireless communication operating in WBAN (Wireless Body Area Network) environment. We certified ZCD code based UWB schemes are available for hunman body wireless communications by various simulation and performance analysis using WBAN transmission channels. Furthermore, we suggested some possibility of RFIC implementation related to human body based UWB communication module by presenting some related examples.

Key Words : WBAN, Human body, Ultra Wide Band (UWB), Zero Correlation Duration (ZCD)

Ⅰ. 서 론

최근, 인간 신체내부 및 주변거리인 수 미터 내·외 의 커버리지안에서 수 kbps부터 수십 Mbps에 이르는 데이터를 전송할 수 있는 WBAN (Wireless Body Area Network) 에 대한 연구가 제안되어 국내·외적으로 IEEE802.15.6과 TTA 등을 중심으로 표준화 연구가 활발히 진행되고 있다.[1-4]

WBAN 기술은 융합형 통신기술로서 인체 주변에 존재하는 다양한 센서를 통신 모듈과 연계하여 동작시키며, 전송데이터는 u-Health케어 관련 생체데이터 나 멀티미디어 정보 등을 다룬다. WBAN의 경우 센서부착의 위치에 따라서 인체 내부 (In-Body), 인체 표면 (On-Body), 그리고 인체 외부 (Off-Body) 방식으로 구분할수 있다. WBAN용 주파수 대역으로서는 MICS(Medical Implant Communication Service), ISM (Industrial, Scientific, Medical) 및 UWB (Ultra Wide Band) 대역 등이 고려될수 있다. 특히 본 논문주제와 관련 있는 UWB기술의 경우, 현재 IEEE802.15.6에서 인체 외부 (Off-Body)용 무선통신방식으로 활발하게 검토가 진행중에 있다. UWB통신시스템을 WBAN환경에 적용하고자 할 경우, 전송채널환경을 반드시 고려해야 하는데, WBAN용 전송채널은 멀태패스와 같은 극심한 시간

*정회원, 서울산업대학교 매체공학과
**정회원, 광운대학교 전파공학과
***정회원, 서경대학교 산업공학과
접수일자 2009.9.9, 수정일자 2009.10.5

지연 간섭특성을 가지고 있어서 수신기의 통신 오류 발생의 요인이 될 수 있다. 특히 생체정보 데이터를 다수 다루고 있는 WBAN시스템에서 통신오류는 치명적일수 있으므로, 채널상의 시간간섭 문제를 처리하기 위한 효율적인 방안의 제시가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 주저자가 기존에 제안했던 2진 ZCD (Zero Correlation Duration) 부호[5] 를 기반으로 하여, WBAN 환경하에서도 채널상의 시간간섭문제를 근원적으로 해결가능한 UWB 변복조기술을 제시하고자 한다. 부가적으로, UWB 변복조 기술을 인체에 적용하여 RFIC화 할 경우에 고려할수 있는 몇가지 사례들을 정리하여 제시함으로써, 인체 무선통신용 UWB통신소자의 RFIC화의 가능성을 제시하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 Ⅱ장에서는 이진 ZCD 부호에 대해 간략히 소개하고, UWB 시스템 모델 및 WBAN 환경의 채널 모델을 제 Ⅲ장에서 제시한다. 제 Ⅳ장에서는 모의 실험 및 결과를 분석하고 RFIC와 관련한 사례 및 방안을 간략히 기술한 뒤, Ⅴ장에에서 결론을 맺고자 한다.

Ⅱ. WBAN용 UWB에 적용하는 ZCD 코드

두 개의 부호 $C_N^{(x)} = \left[c_0^{(x)}, c_1^{(x)}, ..., c_{N-1}^{(x)}\right]$과 $C_N^{(y)} = \left[c_0^{(y)}, c_1^{(y)}, ..., c_{N-1}^{(y)}\right]$의 주기상관함수는 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$Cor_{x,y}(\tau) = \sum_{n=0}^{N-1} c_n^{(x)} c_{n\oplus\tau}^{(y)} \quad (1)$$

여기서 N은 주기이며, $\oplus$는 modulo N 연산을 나타낸다. $x = y$인 경우 식 (1)은 자기상관함수 (ACF : Auto-Correlation Function)이 되고, $x \neq y$인 경우 상호상관함수 (CCF : Cross-Correlation Function)이 된다. 또한 $\tau = 0$일 때 주변의 특정 시간 영역 내에서 연속적으로 주기 ACF 부엽의 최대값 (Cor_{as})과 주기 CCF의 최대값 (Cor_c)을 연속적으로 0이 되도록 하는 이진 코드를 만드는 것이 가능한데, 이러한 시간 구간을 ZCD라 한다. 따라서 ZCD 부호를 확산 부호로 사용한 시스템은 ZCD 동안 확산 신호간의 직교성이 유지되므로 다중 접속 간섭 (MAI : Multiple Access Interference) 이나 다중경로 페이딩에 강인한 특성을 보인다. 본 논문에서는 [5]에서 제시된 ZCD 부호를 사용하였다. 이진 ZCD 확산 부호는 부호 발생기의 하드웨어 구현이 용이하고, 부호 길이가 N인 경우 $(0.5 \times N + 1)$칩의 최대 ZCD 구간을 갖는다.

Ⅲ. 시스템 모델

본 논문에서는 여러 장치가 인체 외부의 WBAN 환경에서 동시에 작동하는 상황이라고 가정하였다. 따라서 여러 장치의 신호로 인해 MAI가 존재한다. 또한 PAM 방식의 DS-UWB 시스템을 고려하였다. UWB 시스템의 동작 주파수는 3.1 GHz ~ 10.6 GHz도 설정하였다.

가. WBAN에 적용하는 ZCD코드기반 UWB 송신기

ZCD 확산 부호로 확산된 i번째 장치의 UWB 송신 신호, $s_{TX}^{(i)}(t)$, 는 식 (2)와 같다.

$$s_{TX}^{(i)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} d_j^{(i)} p(t - jT_s) \quad (2)$$

여기서 $p(t)$는 펄스 신호이고, T_s는 펄스 반복 주기이다. 그리고 $d_j^{(i)}$는 i번째 장치의 송신 데이터가 ZCD 부호에 의해 확산된 결과이고 $d_j^{(i)} = b_j^{(i)} c^{(i)}$이다. $c^{(i)}$는 i번째 장치의 ZCD 부호이다. 따라서 I개의 장치가 존재하는 경우 전체 송신 신호는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{TX_Total}(t) = \sum_{i=0}^{I-1} s_{TX}^{(i)}(t) \quad (3)$$

나. WBAN 전송채널의 특징

식 (4)는 WBAN 채널의 복소 충격 응답을 나타낸다.[2]

$$h(t) = \sum_{m=0}^{L-1} \alpha_m \delta(t - \tau_m) \quad (4)$$

여기서 L은 전체 도착 경로의 수로써 평균이 400인 Poission 랜덤 변수로 모델링되었으며, m은 신호의 경로를 나타내고, α_m은 각 경로의 크기를 나타내며, τ_m은 도착율이 $\lambda = 1/(0.50125\,ns)$인 Poission 랜덤 프로세스로 모델링된 경로 도착 시간을 나타낸다. α_m은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$|\alpha_m|^2 = \Omega_0 \exp\left(-\frac{\tau_m}{\Gamma} - k[1-\delta(m)]\right)\beta \quad (5)$$

여기서 Ω_0는 경로 손실로써 자유공간으로 가정할 수 있고, β는 평균이 0이고 표준 편차가 σ인 로그노말 랜덤 변수이다. 또한 k는 NLOS (Non Line of Sight)의 K factor의 영향을 나타낸다. NLOS 환경에서 k는 식 (6)과 같이 첫 번째 임펄스 응답과 평균값의 차이인 Δk를 사용하여 계산할 수 있다.

$$k = \Delta k(\ln 10/10) \quad (6)$$

σ와 k 및 Γ는 각각 인체의 방향에 따라서 표 1[2]과 같이 설정할 수 있다.

표 1. 인체 방향에 따른 WBAN 채널 파라미터 값
Table 1. Values of WBAN channel parameters according to the direction of body.

Direction of Body	Γ [ns]	k (Δk [dB])	σ [dB]
0	44.6346	5.111 (22.2)	7.30
90	54.2868	4.348 (18.8)	7.08
180	53.4186	3.638 (15.8)	7.03
270	83.9635	3.983 (17.3)	7.19

LOS 환경에서 시스템 표본화율, τ_0, 은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_0 = d/c \quad (7)$$

여기서 d는 송신기와 수신기 사이의 거리를 나타내고, $c = 3\times10^8\ m/\sec$는 빛의 속도를 나타낸다.

그림 1은 본 논문에서 고려한 WBAN 채널의 임펄스 응답을 나타낸다.

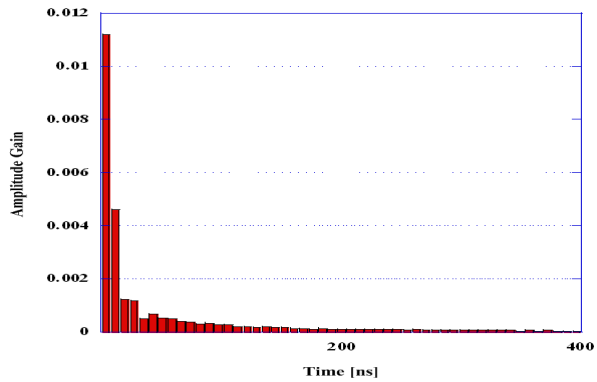

그림 1. 본 논문에서 고려한 WBAN 채널의 임펄스 응답
Fig. 1. WBAN channel impulse response considered in this paper.

다. UWB 수신기

WBAN 채널을 통과한 후 수신기에 수신된 신호는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \sum_{i=0}^{I}\sum_{m=0}^{L-1}\sum_{j=-\infty}^{\infty} \alpha_m d_j^{(i)} p(t - jT_s - \tau_m) + n(t) \quad (8)$$

여기서 $n(t)$는 평균이 0 이고 분산이 σ_N^2인 복소 부가 백색 가우시안 잡음 (CAWGN : Complex Additive White Gaussian Noise) 이다. 수신 신호에서 원하는 $i=0$인 경우의 신호를 원하는 신호라고 가정하면, 수신 신호는 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = r_w(t) + r_{mui}(t) + n(t) \quad (9)$$

여기서 $r_w(t)$는 원하는 신호 성분이고, $r_{MAI}(t)$는 MAI 성분이며 각각 식 (10) 및 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_w(t) = \sum_{m=0}^{L-1}\sum_{j=-\infty}^{\infty} \alpha_m d_j^{(0)} p(t - jT_s - \tau_m) \quad (10)$$

$$r_{MAI}(t) = \sum_{i=1}^{I}\sum_{m=0}^{L-1}\sum_{j=-\infty}^{\infty} \alpha_m d_j^{(i)} p(t - jT_s - \tau_m) \quad (11)$$

수신기는 수신된 신호에서 간섭 신호와 잡음 신호를 제거하고 원하는 신호를 검출하기 위해서, 송신단에서 원신호를 확산시키는데 사용한 ZCD 부호와 동일한 부호를 이용하여 수신 신호를 역확산하고 원하는 신호를 검출한다.

Ⅳ. 모의 실험 및 RFIC화의 사례소개

가. 모의실험 및 성능분석

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 시스템의 성능을 평가하기 위해서 MAI와 다중 경로 간섭을 고려하여 모의 실험을 하였다. 실험 환경은 LOS 환경만 고려하였으며, 성능 비교를 위해 64 비트와 128 비트의 PN 부호와 ZCD 부호를 사용하였다.

그림 2는 64 비트의 PN 부호와 ZCD 부호를 확산 부호로 사용한 경우, 다수의 장치가 존재하는 환경의 WBAN 채널에서 UWB 시스템의 SNR에 따른 BER 성능을 나타낸다. 장치의 개수가 2개 혹은 3개인 경우, PN 부호를 확산 부호로 사용한 경우보다 ZCD 부호를 확산 부호로 사용한 경우가 BER 성능이 더욱 우수한 것을 확인할 수 있다. 특히 장치의 개수가 2개에서 3개로 늘어나는 경우, ZCD 부호를 사용한 경우에 비해 PN 부호를 사용한 경우 급격한 성능 열화를 보이는 것을 확인할 수 있다.

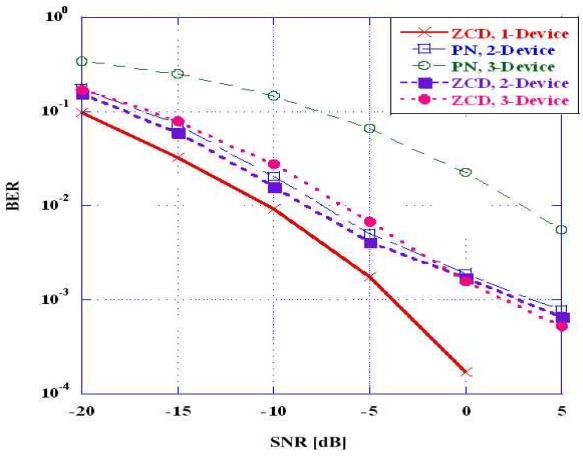

그림 2. 다수의 장치가 존재하는 경우, WBAN 채널에서 UWB 시스템의 SNR에 따른 BER 성능 (64 비트 부호)

Fig. 2. BER versus SNR performance of UWB system in WBAN channel for several-device case (64 bits code).

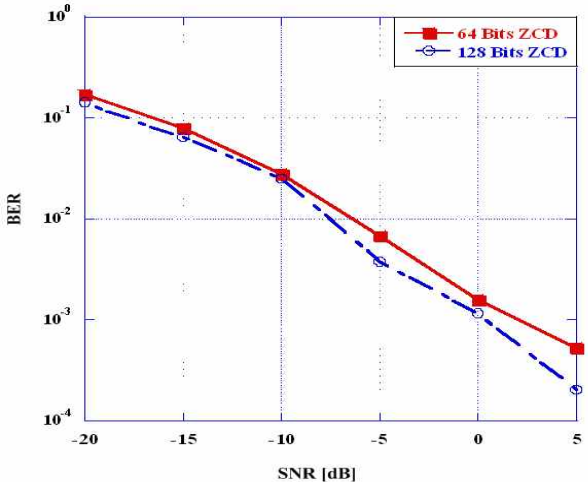

그림 3. 다양한 ZCD 부호의 길이에 대해, WBAN 채널에서 UWB 시스템의 SNR에 따른 BER 성능 (장치수 : 3)

Fig. 3. BER versus SNR performance of UWB system in WBAN channel for different ZCD code length (# of devices : 3).

그림 3은 64 비트와 128 비트의 ZCD 부호에 대해서, 3개의 장치가 존재하는 경우 WBAN 채널에서 UWB 시스템의 SNR에 따른 BER 성능을 나타낸다. 예상한 바와 같이 부호의 길이가 64 비트에서 128 비트로 증가하면, MAI 간섭 제거 성능이 더욱 향상되는 것을 확인할 수 있다.

나. UWB통신모듈의 RFIC화 사례소개 및 검토사항

본 절에서는 인체무선통신에 적용가능한 UWB통신모듈의 RFIC화의 사례와 그 개선 방안에 관하여 간략히 기술하고자 한다. 본 논문의 제1저자가 2008년도에 방문연구를 행한 플로리다 대학(Univ.of Florida)의 Kenneth.K.O교수는 RFIC분야에 있어서 세계 최고의 권위자이다. Kenneth.K.O교수의 연구그룹에서는 Walsh-Hadamard 코드기반의 OOK-CDM(on-off keying - code division multiplexing) 시스템을 제안하고, 중심주파수가 수백기가대역에서 동작하는 송수신부의 핵심모듈을 RFIC로 구현하였다[6][7]. 송신부에서는 OOK용 VCO 발진기 IC를 다수 설계하였으며, 수신부에서는 AM 검파기를 2단 궤환 저항을 갖는 LNA(Low Noise Amplifier)와 SBD(Schottky Barrier Diode)를 갖는 low-pass 필터로 구현 완료하였다. 한편, SIMICS의 연구실에서 구현한 RFIC가 가지는 특성을 좀더 개량하

기 위하여 본 저자는 2가지 측면에서의 개량 방안을 검토하고 그 가능성을 확인하였다. 우선, 송신부의 OOK-CDM블록에서 초기 사용된 Anti-podal형태의 Walsh-Hadamard 코드는 직교성이 유지되지 못하므로 그 해결책으로서 Unipolar ZCD 확산코드를 사용하여 그 성능을 향상시켰다. 또한, 송신부에서는 데이터를 일부 반복전송하고, 수신부에서는 이를 Averaging처리하는 노이즈 에버리징기법을 검토함으로써 BER성능을 개선하였다. 본 절에서는 수백기가 대역에서 구현된 송수신 블록에 대한 RFIC화 사례와 이에 대하여 저자가 검토한 내용을 간략히 기술만 하였으며, 좀더 상세한 내용은 추후 별도의 논문에서 다시 다루고자 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 ZCD 코드기반의 WBAN용 UWB변복조기술을 제시하고, WBNA채널 환경하에서의 모의실험 및 성능분석을 통하여, 제시한 기술이 인체 무선통신용 기술로서 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였다. 또한 UWB변복조 기술을 인체에 적용하여 RFIC화 할 경우에 고려할 수 있는 사례를 간략히 소개하였다.

참 고 문 헌

[1] IEEE 802.15 WPAN WG Hompage, available at http://www.ieee802.org/15.

[2] K. Y. Yazdandoost and S. Kamran, "Channel model for body area network (BAN)," IEEE 802.15-08-0780-09-0006, Apr. 2009.

[3] D. Smith, et al "Power delay profiles for dynamic narrowband body area network channels," IEEE 802.15-09-0187-01-0006, Mar. 2009.

[4] K. Bynam et al "ETRI+Samsung physical layer proposal," IEEE 802.15-09-0323-00-0006, May, 2009.

[5] J. S. Cha et al. "New binary sequences with zero-correlation duration for approximately synchronized CDMA," IEEE Electron. Lett., vol. 36, no. 11, pp. 991-993, May 2000.

[6] H. Sawada et al. "Channel model between body surface and wireless access point for UWB band," IEEE 802.15-08-0576-00-0006, Aug. 2008.

[7] Changhua Cao, Eunyoung Seok and Kwnneth K. O"Millimeter-Wave CMOS Voltage-Controlled Oscillators"2007 IEEE International Symposium on
Circuits and Systems, pp. 2614-2617, May 2007, New Orleans, LA

[8] S. Sankaran and K. K. O, "A Schottky Barrier Diode Ultra-Wideband Amplitude Modulation Detector in Foundry CMOS Technology," June 2006, IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, pp. 309-312.

Acknowledgment
본 논문은 LG연암문화재단의 "2008년도 연암해외연구 교수사업"의 후원에 의하여 작성되었습니다.

감사의 글
본 연구와 관련하여 도움을 주신 미국 플로리다 대학교의 Kenneth.K.O교수님께 감사의 말씀을 드립니다.

저자 소개

차 재 상(정회원)

- 2000년 일본 東北대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 ETRI 이동통신연구소 무선 전송기술팀 선임연구원
- 2008년 미국 플로리다 대학교 방문교수
- 2009년 현재 서울산업대학교 매체공학과 조교수

<주관심분야 : 디지털 방송전손기술, Cognitive Radio, UWB, 홈네트워크 무선통신기술, 대역확산 및 다중접속기술, 4세대 이동통신기술>

김 은 철(정회원)

- 2003년 광운대학교 전자공학부 학사 졸업.
- 2005년 광운대학교 전파공학과 석사 졸업.
- 2009년 현재 광운대학교 전파공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 무선통신, 동기화, 채널 부호화, 양립성>

김 진 영(정회원)

- 1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 SK 텔레콤 네트웍연구원 책임연구원
- 2001년 현재 광운대학교 전파공학과 부교수
- 2009년 현재 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>

김 재 현(정회원)

- 1989년 미국 Oklahoma University, 산업공학과 석사
- 1994년 미국 Houston University, 산업공학과 공학박사
- 2009년 현재 서경대학교 산업공학과 부교수

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 채널부호화, 홈네트워크 무선통신기술, 4세대 이동통신기술>