

의료용 In-Body WBAN 시스템을 위한 Offset Phase Rotation Shift Keying 및 Phase Silence Rotation Shift Keying 변조 방식

정회원 최 일 목*, 원 경 훈*, 종신회원 김 기 윤**, 최 형 진*

Offset Phase Rotation Shift Keying and Phase Silence Rotation Shift Keying Modulation for Medical In-Body WBAN Systems

Il Muk Choi*, Kyung Hoon Won* *Regular Members*,
Ki-Yun Kim**, Hyung-Jin Choi* *Lifelong Members*

요 약

본 논문에서는 의료용 In-Body Wireless Body Area Network (WBAN) 시스템을 위한 Offset Phase Rotation Shift Keying (OPRSK) 및 Phase Silence Rotation Shift Keying (PSRSK) 변조 방식을 제안한다. 현재 IEEE에서는 인체 통신을 위한 WBAN 시스템을 802.15. Task Group (TG) 6로 지정하고 이에 관한 표준화를 진행하고 있다. 최근에는 WBAN 시스템의 전력 효율 향상을 위해 Phase Silence Shift Keying (PSSK), Phase Silence Position Keying (PSPK), 및 Phase Rotation Shift Keying (PRSK) 등의 변조 방식들이 제안되었으나, 기존의 방식들은 비선형 증폭기에 의한 왜곡에 취약한 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 심볼 구간의 전력 분산 및 정상도의 위상 오프셋을 통해 최대 위상 전이 범위를 제한함으로써 비선형 왜곡에 강인한 OPRSK 및 PSRSK 방식을 제안하며, 다양한 성능 분석을 통해 제안된 방식의 우수성을 입증하였다.

Key Words : 인체통신, 변조 기법, OPRSK, PSRSK, WBAN

ABSTRACT

In this paper, we proposed new modulation schemes, Offset Phase Rotation Shift Keying (OPRSK) and Phase Shift Rotation Shift Keying (PSRSK), for medical in-body wireless body area network (WBAN) systems. In IEEE, the WBAN system is assigned as 802.15. Task Group (TG) 6, and the related standardization is being progressed. Recently, in this Group, Phase Silence Shift Keying (PSSK), Phase Silence Position Keying (PSPK) and Phase Rotation Shift Keying (PRSK), which can obtain higher power efficiency, are proposed as new modulation schemes for low-power operation of WBAN system. However, they have a disadvantage for non-linear amplifier distortion. Therefore, in this paper, we proposed OPRSK and PSRSK, which are robust to non-linear amplification, by employing a phase offset in constellation and a power distribution in symbol duration, and verified that the proposed methods have good performance and stable operation through performance evaluation.

※ 본 연구는 지식경제부 우수기술연구센터(ATC) 사업(10035991) 지원으로 수행되었습니다.

* 성균관대학교 정보통신대학 ({reason, kairess, hjchoi}@ece.skku.ac.kr), (° : 교신저자)

** 명지전문대학 정보공학부 전기과(kkim@mjc.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-10-483, 접수일자 : 2011년 10월 19일, 최종논문접수일자 : 2012년 4월 26일

I. 서론

최근 IT-BT 융합 기술의 일환으로 인체를 중심으로 약 3미터 이내에 존재하는 인체 내부의 장치 또는 외부에 부착되는 장치들간의 상호 통신을 제공하는 근거리 무선통신 기술인 WBAN 시스템이 각광받고 있다. WBAN 시스템은 심전도 및 근전도 등의 생체 신호를 측정함으로써 만성 환자 또는 노약자들의 건강상태를 모니터링하는 의료용 모니터링 시스템, 그리고 인체 외부 3미터 이내의 가전기기들 간의 네트워크를 형성하는 홈 네트워크 시스템 등 여러 근거리 네트워크 시스템에 적용이 가능하다¹¹.

이러한 관심을 반영하여 IEEE에서는 Wireless Body Area Network (WBAN) 시스템을 802.15. Task Group (TG) 6로 지정하고 이에 대한 표준화를 진행하고 있다. WBAN 시스템은 응용 서비스에 따라 의료용 WBAN (Medical WBAN) 시스템과 비의료용 WBAN (Non-Medical WBAN) 시스템으로 구분된다. 의료용 WBAN 시스템은 인체 내부에 이식된 장치와의 무선 네트워크를 연결하는 in-body 시스템과 외부에 부착된 장치와의 무선 네트워크를 연결하는 on-body 시스템으로 구분한다²⁻⁴¹. 이러한 WBAN 시스템의 PHY 연구는 Ultra Wide Band (UWB), Narrow Band (NB), 그리고 Human Body Communication (HBC)으로 나뉘어 수행되고 있다.

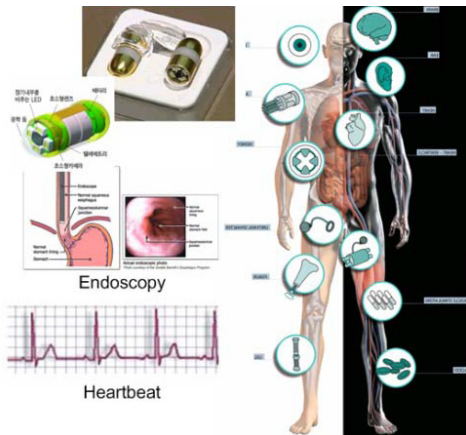


그림 1. 의료용 WBAN 시스템의 응용 분야³¹.
Fig. 1. Applications of medical WBAN system.

IEEE 802.15.TG6에서는 WBAN 시스템의 표준화를 진행하며 몇 가지 기술적 요구사항을 정하고 있다¹⁵. 최소 인체 주변 3m 이내의 장치 간의 네트워크가 지원 되어야 하며, 다양한 정보 전송률 (120kbps ~ 10Mbps)에 따른 전송률 확장이 가능해야 한다. 또한

WBAN 시스템은 인체 내부 또는 인체 외부의 소형 장치가 이식 또는 부착 되기 때문에 장비의 전지 관리를 위한 저전력 송·수신이 필수적이다. 이와 같은 요구사항 중, 체내에 이식되는 장비의 전지 교체가 어렵기 때문에 장치의 소형화 및 저전력 전송이 가장 중요한 요소로 고려되었으며, 이에 따라 Frequency Shift Keying (FSK), Pulse Position Modulation (PPM), On-Off Keying (OOK), Gaussian-filtered Minimum Shift Keying (GMSK) 방식 등의 전력 효율적인 변조 방식의 사용이 논의되었다⁶¹.

하지만 위의 변조 방식들은 전력 효율은 우수하나, 이에 따른 대역 효율의 열화가 크게 나타나는 변조 방식이기 때문에 최근에는 전력 효율이 우수한 PPM 방식과 대역 효율이 우수한 PSK 방식을 결합한 Phase Silence Shift Keying (PSSK), Phase Shift Position Keying (PSPK), Phase Rotation Shift Keying (PRSK) 등이 제안되었다⁷⁻¹¹¹. PSSK 방식과 PSPK 방식은 PSK 신호의 주기를 유효 심볼 주기와 silence 주기로 나누어 대역 효율을 낮추고 전력 효율을 높이는 방식이며, PRSK 방식은 PSK 심볼 주기를 두 개의 유효 심볼 주기로 나누어 서로 다른 위상의 PSK 신호를 전송하고, 두 구간의 위상 전이에 따라 정보를 전송하여 전력 효율을 높이는 방식이다.

WBAN 시스템의 요구 사항인 다양한 정보 전송률에 따른 전송률 확장을 만족하기 위해 PSSK, PSPK, PRSK 등의 다양한 변조 방식들이 제안되었으나, 위의 변조 방식들은 유효 심볼 구간의 전력의 증가 및 인접 심볼간의 π 의 위상 전이로 인해 비선형 필터의 통과 시 side lobe가 증가하게 되며, 인접 대역간 간섭의 증가로 효율적인 전송률 확장에 어려움을 줄 수 있다. 따라서 본 논문에서는 저전력 및 효율적인 대역폭 사용을 요구하는 in-body WBAN 시스템을 위한 Offset Phase Rotation Shift Keying (OPRSK) 및 Phase Silence Rotation Shift Keying (PSRSK) 변조 방식을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 WBAN 시스템의 전력 효율 향상을 위해 제안된 PSSK, PSPK, PRSK 변조 방식을 분석하며, III장에서는 II장의 분석 결과를 바탕으로 비선형 왜곡에 강인한 특성을 갖는 OPRSK 방식과 PSRSK 방식을 제안한다. IV장에서는 제안된 방식과 기존의 방식간의 성능 비교를 통해 제안된 방식의 우수성을 입증한 뒤, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 인체 통신을 위한 기존의 변조 방식

2.1. Phase Silence Shift Keying

PSSK는 PSK 변조의 한 종류로 볼 수 있으며, PPM과 PSK을 결합함으로써 PSK의 대역 효율적 측면과 PPM 변조의 전력 효율적 측면을 모두 고려한 방식이다⁷⁻⁹⁾. PSSK는 그림 2와 같이 2개의 직교하는 성상도에 PSK을 맵핑하여 전송하는 방식으로, PSK 심볼을 맵핑한 유효 심볼 주기와 신호가 존재하지 않는 silence 주기로 나누어 보냄으로써 대역 효율은 감소하지만 전력 효율을 높일 수 있다. 동일 전송 속도를 가정하는 경우 PSSK는 PSK 심볼의 위치에 일부의 정보를 전달하기 때문에 유효 심볼 위치에서 일반적인 PSK보다 낮은 변조 차수의 PSK 신호 전송을 통해 수신 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. PSSK의 대역 효율은 M -ary PSK의 대역 효율 ($0.5\log_2 M$)의 절반인 $0.25\log_2 M$ 이 되며, M -ary FSK의 대역 효율 ($\log_2 M/2M$)에 비하여 $M/2$ 배 더 우수하다. 하지만 silence 구간에는 신호가 존재하지 않기 때문에 유효 심볼 구간의 전력은 평균 전력에 비하여 2배 높은 전력을 가지며, 이로 인한 비선형 왜곡이 PSK에 비하여 크게 발생하는 단점이 존재한다.

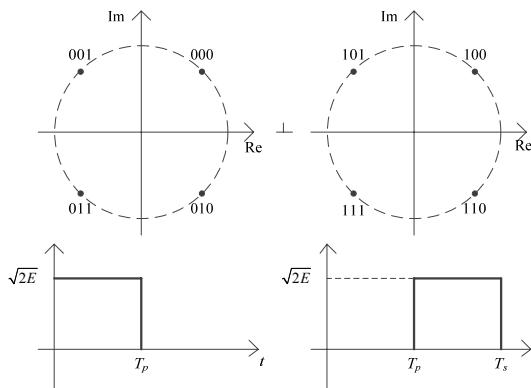


그림 2. 8-ary PSSK의 성상도.
Fig. 2. The constellation of 8-ary PSSK.

2.2. Phase Shift Position Keying

PSPK는 PSSK를 응용한 변조 방식이며, 4개의 심볼 구간을 갖는 PPM 방식과 PSK 방식을 결합함으로써 PSSK보다 더 낮은 대역 효율을 갖지만 향상된 전력 효율을 나타내는 방식이다¹⁰⁾. PSPK는 그림 3과 같이 심볼의 주기를 총 네 구간으로 나눔으로써 PSK를 맵핑한 하나의 유효 심볼 주기와 세 개의 silence 주기로 나누어 전송하며, PSSK보다 높은 전력 효율을 얻을 수 있다. 따라서 PSPK의 대역 효율은 PSSK의 대역 효율의 절반인 $0.125\log_2 M$ 이 되며, M -ary FSK의 대역 효율에 비하여 $M/4$ 배 더 우수하다. 하지만 PPSM 방식도 PSSK 방식과 마찬가지로 silence

구간에는 신호가 존재하지 않기 때문에 유효 심볼 구간의 전력은 평균 전력에 비하여 4배 높은 전력을 가지며, 이로 인한 비선형 왜곡이 크게 발생하게 된다.

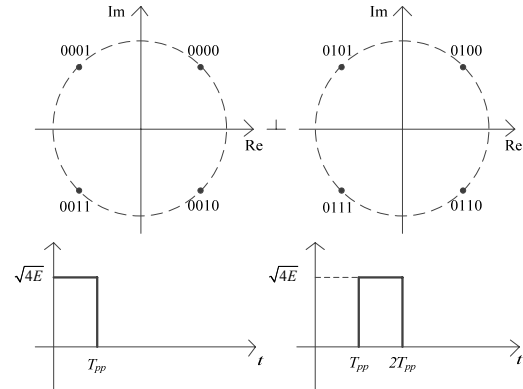


그림 3. 16-ary PSPK의 성상도.
Fig. 3. The constellation of 16-ary PSPK.

2.3. Phase Rotation Shift Keying

PRSK은 두 개의 유효 심볼 구간에 맵핑된 PSK 심볼간의 위상 전이를 통하여 정보를 전달하는 방식이다¹¹⁾. PRSK는 그림 4와 같이 심볼 주기를 두 개의 유효 심볼 주기로 나누어 각 유효 심볼 주기에 서로 다른 위상을 갖는 PSK 심볼을 맵핑하며, 유효 심볼 주기 간의 위상 전이에 따라 bit 정보를 전송함으로써 추가적인 전송률 이득을 얻을 수 있다. PRSK의 대역 효율은 PSSK와 동일하게 M -ary PSK의 대역 효율의 절반인 $0.25\log_2 M$ 이 되며, M -ary FSK의 대역 효율에 비하여 $M/2$ 배 더 우수하다. Silence 구간이 존재하지 않는 PRSK는 PSSK에 비하여 유효 심볼 구간의 전력으로 인한 비선형 왜곡은 발생하지 않지만, 인접 심볼간의 심볼 전이 과정에서 π 의 위상 전이가 발생하는 단점이 있다.

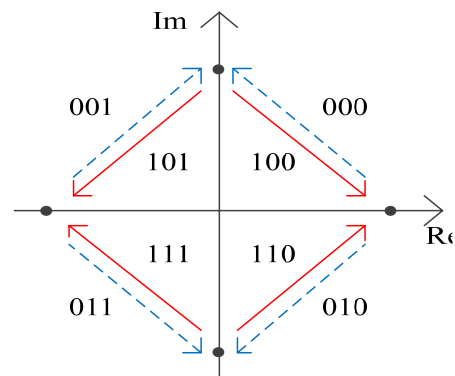


그림 4. 8-ary PRSK의 성상도.
Fig. 4. The constellation of 8-ary PRSK.

III. 제안하는 변조 방식

기존의 변조 방식들은 silence 구간의 존재로 인한 유효 심볼 구간의 전력 집중 및 인접 심볼간 π 의 위상 전이로 인한 비선형 왜곡이 크게 발생하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 변조 방식들을 기반으로 증폭기의 비선형 왜곡에 강인한 OPRSK와 PRSK 변조 방식을 제안한다.

3.1. Offset Phase Rotation Shift Keying

OPRSK는 PRSK와 같이 심볼 구간을 두 개의 유효 심볼 구간으로 나누어 서로 다른 성상도를 갖는 PSK 심볼을 전송하는 방식이며, PRSK 방식과 동일하게 두 유효 심볼 구간간의 위상 전이에 따라 bit 정보를 전달한다. M -ary OPRSK에서 전송되는 m 번째 심볼의 신호 $S_m(t)$ 은 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_m(t) = [\text{Re}\{\exp[j\theta_m]\} \cdot (A_m\alpha(t) + B_m\beta(t) \cdot \exp[j\pi/4]) + j\text{Im}\{\exp[j\theta_m]\} \cdot (B_m\alpha(t) + A_m\beta(t) \cdot \exp[j\pi/4])] \cdot \exp[j2\pi f_c t], 0 \leq t \leq T_s \quad (1)$$

$$A_m = \begin{cases} 1, & 0 \leq m \leq M/2 - 1 \\ 0, & M/2 \leq m \leq M - 1 \end{cases}$$

여기서 $\theta_m = 2\pi \text{mod}(m, 0.5M)/0.5M$ 로 표현 가능하며, $B_m = (1 - A_m)$ 이다. $\alpha(t)$ 와 $\beta(t)$ 는 PRSK의 펄스 성형 함수와 같다.

두 유효 심볼 구간의 성상도 축이 동일한 PRSK와는 달리 OPRSK는 그림 5와 같이 두 번째 유효 심볼 구간의 성상도 축이 $\pi/4$ 의 오프셋을 가지고 있다. 따라서 인접 심볼간의 위상 전이는 최대 $3\pi/4$ 의 위상 전이가 발생하며, PRSK에서 발생하는 π 의 위상 전이로 인한 비선형 왜곡은 나타나지 않게 된다. OPRSK는 PRSK와 동일하게 PSK 심볼을 $[0, T_p]$ 구간과 $[T_p, T_s]$ 구간으로 나뉘 전송하기 때문에 OPRSK의 대역 효율은 PRSK와 동일하게 M -ary PSK의 대역 효율의 절반인 $0.25 \log_2 M$ 이 되며, M -ary FSK의 대역 효율에 비하여 $M/2$ 배 더 우수하다.

그림 6. (a)는 OPRSK 송신기의 예를 나타낸다. 생성된 bit 정보를 S/P 변환기에 입력하여 병렬로 전환한 후, 각 bit에 따른 심볼 맵핑을 수행한다. OPRSK 심볼 맵핑은 PRSK와 동일하게 두 번째와 세 번째 bit 정보에 따라서 실수부와 허수부의 값이 정해지며, 첫 번째 bit 정보에 따라서 허수부와 실수부의 유효 심볼 구간 맵핑 순서가 결정된다. 위와 같이 PRSK 심볼을 생성한 후, 두 번째 유효 심볼 구간에 $\pi/4$ 의 오프셋을 부여하여 OPRSK 심볼을 생성한다. 그림 6. (b)는 OPRSK 수신기의 예를 나타내며, 동기가 완료된 심볼에 대하여 다음과 같이 수신 신호 $r(t)$ 의 위상 전이에

따른 ML (Maximum Likelihood) decision을 수행한다.

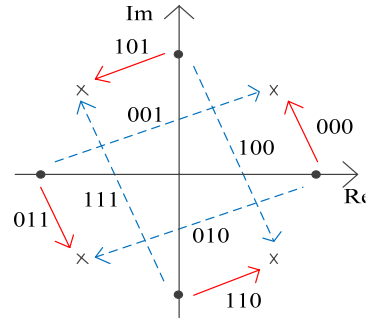


그림 5. 8-ary OPRSK의 성상도
Fig. 5. The constellation of 8-ary OPRSK.

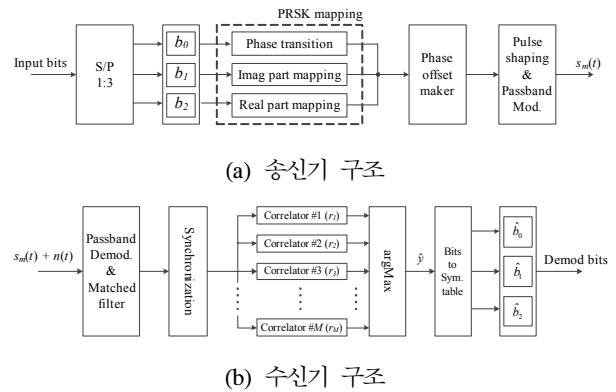


그림 6. 8-ary OPRSK의 송·수신기 블록도
Fig. 6. Transmitter/receiver block diagram of 8-ary OPRSK.

$$y = \arg \max_m \int_0^{T_s} r(t) r_m^*(t) dt \quad (2)$$

여기서, $r_m(t)$ 는 위상 전이에 따른 참조 심볼을 나타낸다. ML decision을 통하여 얻은 최대 전력 심볼 y 의 위상 전이 양상에 따라 bit 정보의 복조를 수행하며, union bound error probability P_u 를 이용한 OPRSK의 bit error probability P_b 는 PSSK 및 PRSK와 동일하며 (3)과 같다^{9,10}.

$$P_b \approx \frac{1}{\log_2(M)} Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0} \log_2 M \sin\left(\frac{2\pi}{M}\right)}\right) \quad (3)$$

여기서 N_0 는 가우시안 백색잡음 밀도를 나타내며, $Q(z)$ 는 표준 정규 분포의 z 값 이후의 면적을 나타낸다.

3.2. Phase Silence Rotation Shift Keying

PRSK는 PSPK와 마찬가지로 대역 효율 및 전력 효율을 나타내지만 silence 구간을 증가시켜 전력 효

율을 높인 PSPK와 달리, PSSK와 PRSK를 결합하여 silence 구간을 증가 시키지 않고 전력 효율을 높임으로써 비선형 왜곡으로 인한 성능 열화를 감소시킬 수 있다. M -ary PSRSK에서 전송되는 m 번째 심볼의 신호 $S_m(t)$ 은 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_m(t) = [C_m s_{m,eff}(t) + D_m s_{m,\gamma}(t) \cdot \exp(j\pi/4)] \cdot \exp[j2\pi f_c t], \quad 0 \leq t \leq T_s$$

$$s_{m,eff}(t) = [A_m \alpha(t) + B_m \beta(t)] \cdot \text{Re}\{\exp[j\theta_m]\} + j[B_m \alpha(t) + A_m \beta(t)] \cdot \text{Im}\{\exp[j\theta_m]\}$$

$$s_{m,\gamma}(t) = [A_m \gamma(t) + B_m \gamma(t)] \cdot \text{Re}\{\exp[j\theta_m]\} + j[B_m \gamma(t) + A_m \gamma(t)] \cdot \text{Im}\{\exp[j\theta_m]\} \quad (4)$$

$$A_m = \begin{cases} 1, & 0 \leq \text{mod}(m, M/2) \leq M/4 - 1 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$C_m = \begin{cases} 1, & 0 \leq m \leq M/2 - 1 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases}$$

여기서 $\theta_m = 2\pi \text{mod}(m, 0.25M) / 0.25M$ 로 표현 가능하며, $B_m = (1 - A_m)$, $D_m = (1 - C_m)$ 이다. $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\gamma(t)$, $\nu(t)$ 는 PSPK의 펄스 성형 함수와 같다.

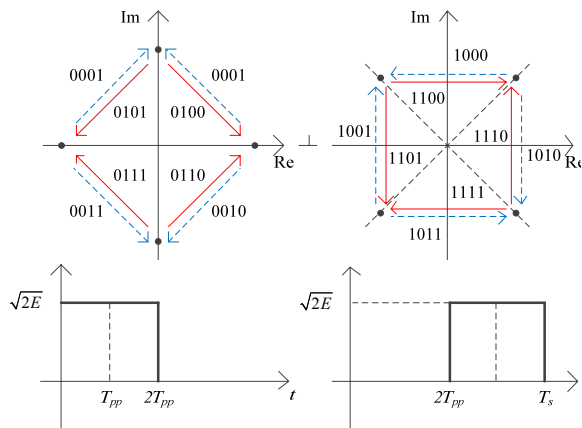
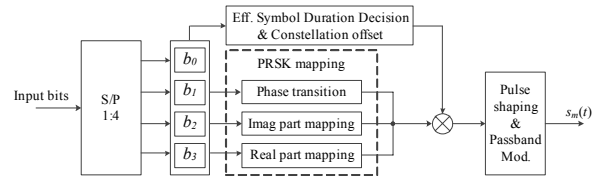


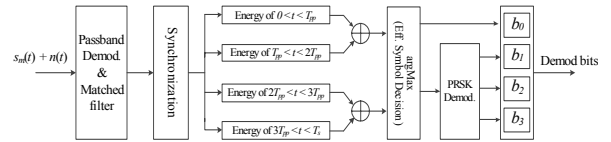
그림 7. 16-ary PSRSK의 성상도
Fig. 7. The constellation of 16-ary PSRSK.

그림 7은 16-ary PSRSK 심볼의 성상도를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 PSRSK는 PSSK와 같은 길이의 silence 구간을 가지고 있으며, 4개로 나뉜 심볼 구간 중 세 개의 silence 구간을 갖는 PSPK에 비해 평균 전력 보다 높은 유효 심볼 구간 전력으로 인한 비선형 왜곡이 감소하게 된다. 또한, 단일 16-ary PSRSK 심볼 내의 서로 위치가 다른 두 PSK 심볼의 성상도가 $\pi/4$ 의 오프셋을 가지고 있기 때문에 인접 16-ary PSRSK 심볼 간의 위상 전이는 최대 $3\pi/4$ 로 제한되며, PSPK에서 나타난 인접 심볼간 π 의 위상 전이로 인한 비선형 왜곡은 발생하지 않게 된다. PSRSK 방식은 4개의 구간으로 나누어 전송하기 때

문에 대역 효율은 $0.125 \log_2 M$ 이며, M -ary PSK의 대역 효율에 비하여 1/4 배이지만, M -ary FSK의 대역 효율에 비하여 $M/4$ 배 우수한 대역 효율을 나타낸다.



(a) 송신기 구조



(b) 수신기 구조

그림 8. 16-ary PSRSK 신호의 송·수신기 블록도
Fig. 8. Transmitter/receiver block diagram of 16-ary PSRSK.

그림 8. (a)는 PSRSK 송신기를 나타낸다. 생성된 bit 정보는 S/P 변환기를 이용하여 병렬로 전환 된 후, 각 bit에 따른 심볼 맵핑이 수행된다. PSRSK 심볼 맵핑은 첫 번째 bit를 통하여 유효 심볼 구간과 silence 구간을 결정하고, 나머지 bit 정보를 이용하여 PRSK 심볼 맵핑을 수행한다. 첫 번째 bit가 0일 경우 첫 번째 유효 심볼 구간에 정상도의 오프셋 없이 PRSK 심볼을 생성하며, 첫 번째 bit가 1일 경우 두 번째 유효 심볼 구간에 정상도의 오프셋이 $\pi/4$ 를 갖는 PRSK 심볼을 생성한다. 그림 8. (b)는 PSRSK 수신기를 나타내며, 동기가 완료된 심볼에 대하여 (5)와 같이 전력 분석을 수행함으로써 유효 심볼 구간과 silence 구간을 구분한다.

$$P_i = E[r^2(t) \times \{u(t - (i-1)T_{pp}) - u(t - iT_s)\}], \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

$$\hat{b}_0 = \begin{cases} 0, & \text{if } P_1 + P_2 > P_3 + P_4 \\ 1, & \text{if } P_1 + P_2 \leq P_3 + P_4 \end{cases}$$

여기서, P_i 는 i 번째 T_p 심볼 구간의 전력을 나타내며, \hat{b}_0 은 복조된 첫 번째 bit를 의미한다. 유효 심볼 구간의 위치를 결정 한 후, ML decision을 통한 PRSK의 복조를 수행하여 남은 bit 정보를 복조한다. Union bound error probability P_u 를 이용한 PSRSK의 bit error probability P_b 는 PSPK와 동일하며 다음과 같다.

$$P_b \approx \frac{1}{\log_2(M)} Q \left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0} \log_2 M \sin\left(\frac{\pi}{M}\right)} \right) \quad (6)$$

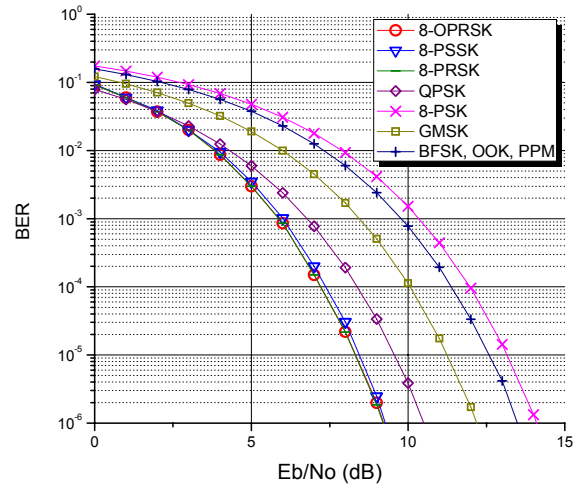
IV. 컴퓨터 모의 실험 결과

제안된 변조 방식과 기존의 변조 방식의 성능 비교를 위해 적용된 파라미터는 표 1과 같다. 변조 방식간의 성능 비교를 위해 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널에서 성능 평가를 수행하였다.

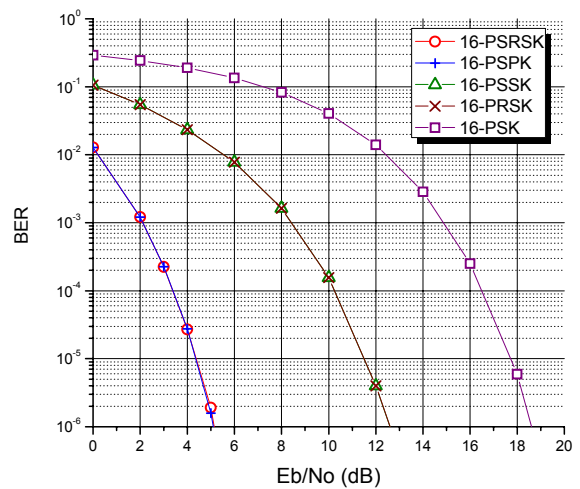
표 1. 시스템 주요 파라미터.
Table. 1. Main parameters of system.

Parameter	Value
Carrier frequency	900 MHz
Bandwidth	6 MHz
Symbol Duration	166.7 ns
Channel Model	AWGN channel
Oversample	8 samples
Raised Cosine Filter taps (Roll-off-factor)	48 taps (0.1)
Non-Linear Filter	Rapp's Model (Knee factor=2)

그림 9. (a)는 제안된 OPRSK와 다른 변조 방식에 따른 BER 성능을 나타낸다. 그림에서 보듯이 제안된 OPRSK는 기존의 8-PSSK 및 8-PRSK와 동일한 BER 성능을 나타냄을 확인할 수 있으며, QPSK에 비하여 대역 효율은 약 3/4 배 감소하지만 BER = 10⁻⁶ 기준 약 1.5 dB의 SNR 이득이 존재하며, 8-PSK에 약 1/2 배의 대역 효율 감소가 나타나지만 BER 성능은 BER = 10⁻⁶ 기준 약 5.4 dB가 우수함을 확인할 수 있다. 그림 9. (b)는 제안된 PSRSK와 다른 변조 방식에 따른 BER 성능을 나타낸다. 그림에서 보듯이 제안된 16-PSRSK는 기존의 16-PSPK와 동일한 BER 성능을 나타냄을 확인할 수 있으며, 16-PSSK 및 16-PRSK에 비하여 대역 효율은 약 1/2 배 떨어지지만 BER 성능은 BER = 10⁻⁶ 기준 약 7 dB가 우수하며, 16-PSK에 비하여 약 1/4 배 대역 효율의 손해가 존재하지만 BER = 10⁻⁶ 기준 약 13 dB의 SNR 성능 이득이 존재함을 확인할 수 있다.



(a) BER 성능 비교 (8-ary)

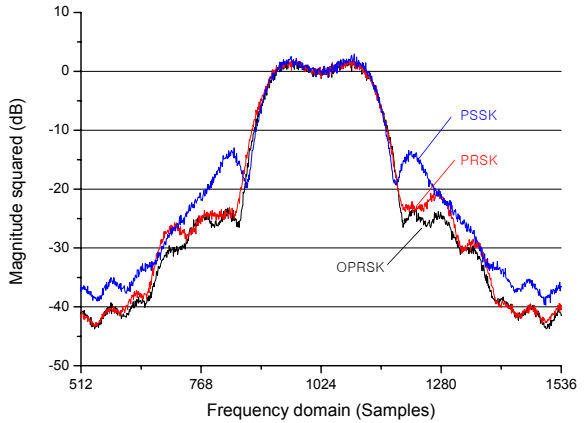


(b) BER 성능 비교 (16-ary)

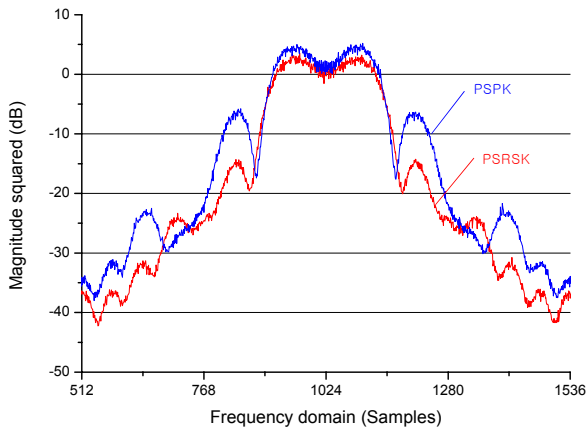
그림 9. 변조 방식에 따른 BER 성능.
Fig. 9. BER performance comparison of modulation methods.

그림 10은 동일 대역 효율을 갖는 각 변조 방식의 비선형 필터를 통과 시킨 이후의 신호 spectrum을 비교한 것이다. 그림 10. (a)는 PSSK, PRSK, 그리고 제안된 OPRSK를 비교한 신호 spectrum이다. 그림에서 보듯이 평균 전력이 동일할 경우, 유효 심볼 구간의 전력이 2배가 되는 PSSK에서 비선형 왜곡으로 인해 다른 방식들에 비하여 side lobe가 상대적으로 커짐을 확인할 수 있다. 또한 제안된 OPRSK는 PRSK에 비하여 최대 3π/4의 위상 전이가 나타나므로 π의 위상 전이가 나타나는 PRSK나 QPSK에 비해 side lobe의 왜곡이 약 10 dB정도 적게 나타남을 확인할 수 있다. 그림 10. (b)는 PSPK와 제안된 PSRSK를 비교한 신호 spectrum이다. 그림에서 보듯이 평균 전력이 동일할 경우, 유효 심볼 구간의 전력이 PSPK에 비하여 1/2배가 되는 PSRSK는 비선형 왜곡으로 인한 side

lobe가 상대적으로 적게 나타남을 확인할 수 있다. 또한 최대 π 의 위상 전이가 발생하는 PSPK에 비하여 PSRSK는 최대 $3\pi/4$ 의 위상 전이가 나타나기 때문에 비선형 왜곡으로 인한 성능 열화가 약 7 dB정도 적게 나타남을 확인할 수 있다.



(a) PSSK, PRSK, OPRSK



(b) PSPK, PSRSK

그림 10. 비선형 필터 통과 이후의 변조 방식에 따른 스펙트럼 비교
Fig. 10. Spectrum comparison of modulation methods after nonlinear filtering.

표 2. 변조 방식에 따른 대역 효율 및 요구 SNR (BER=10⁻⁶) 비교
Table. 2. Comparison of bandwidth efficiency and required SNR (BER=10⁻⁶) depending on modulation methods.

	QPSK	8-PSK	8-PSSK	8-PRSK	8-OPRSK
bits/sec/Hz	1.0	1.5	0.75	0.75	0.75
요구 SNR	10.5	14.2	9.2	9.3	9.2
	GMSK	BFSK,OOK	16-PSK	16-PSPK	16-PSRSK
bits/sec/Hz	0.88	0.5	2.0	0.5	0.5
요구 SNR	12.2	13.5	18.7	5.1	5.1

표 2는 변조 방식에 따른 대역 효율 및 BER=10⁻⁶을 위한 요구 SNR을 나타낸다. 동일한 M-ary 변조 방식을 고려할 때, OPRSK는 PSSK 및 PRSK와 동일한 전력 효율 및 대역 효율을 나타내며, 8-PSK에 비하여 1/2의 대역 효율을 갖지만 BER 성능이 우수함을 확인할 수 있다. PSRSK는 PSPK와 동일한 전력 효율 및 대역 효율을 가지며, 16-PSK에 비하여 대역 효율은 1/4배이지만, 전력 효율이 우수함을 나타낸다.

V. 결론

본 논문에서는 WBAN 시스템의 저전력 전송을 위한 OPRSK 및 PSRSK 변조 방식을 제안하였다. 제안된 방식들은 기존 방식들과 동일한 전력 효율을 갖지만 심볼 구간의 전력 분산 및 정상도의 위상 오프셋을 통해 최대 위상 전이 범위를 제한함으로써 비선형 필터 통과 이후 신호 spectrum의 side lobe를 감소시켜 비선형 왜곡에 의한 성능 열화를 최소화할 수 있다는 장점을 가지며, 수식 및 모의 실험을 통한 성능 비교 분석을 바탕으로 제안된 변조 방식들이 WBAN 시스템을 위한 저전력 통신을 효과적으로 수행할 수 있음을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] 남홍순, 이형수, 김재영, “WBAN 응용서비스 동향”, 전자통신동향분석 제24권 제5호, Oct. 2009.
- [2] 최영우, 김유진, 이형수, 김재영, “IT-BT 융합 분야에서의 WBAN 개발 동향”, 주간 기술동향, 1361호, Aug. 2008.
- [3] 이형수, “Medical BAN 기술 동향”, 한국전자과학회지 전자과학기술, 제19권 제5호, Sep. 2008.
- [4] IEEE P802.15-08-0407-03-0006, “802.15.6 Call for Application-Response Summary,” Jul. 2008.
- [5] IEEE 802.15, TG6, “Technical Requirements Document”, IRRR, Piscataway, Sep. 2008.
- [6] IEEE P802.15-10-0010-01-0006, “NICT narrowband PHY proposal,” Jan. 2010.
- [7] J. Y. Oh, J. H. Kim, H. S. Lee, J. Y. Kim, “PSSK Modulation Scheme for High data rate Implantable Medical Devices,” *IEEE Trans. On ITB*, Vol. 14, No. 3, May. 2010.

[8] D. K. Kim, H. S. Lee, "Phase Silence Shift Keying for Power-Efficient Modulator," *IEICE Trans. Commun.*, Vol. E92-B, No. 6, June. 2009.

[9] J. Y. Oh, J. H. Kim, H. S. Lee, J. Y. Kim, "New Modulation Scheme for High data rate Implantable Medical Devices," in *Proc. ISCIT* 2009. Sep. 2009.

[10] 최재훈, 손종원, 유흥균, "전력 효율을 개선하는 새로운 PSPM 변조방식," 한국통신학회 논문지, Vol. 35, No. 8, Aug. 2010.

[11] J. Y. Oh, J. K. Kim, H. S. Lee, S. S. Choi, D. S. Ha, "Phase rotation shift keying for low power and high performance WBAN in-body systems," in *Proc. ICTC* Nov. 2010.

김기윤 (Ki-Yun Kim)

종신회원



1997년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업
 1999년 2월 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 석사
 2002년 2월 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 박사
 2006년 4월~2007년 6월 미국

Univ. of California, Los Angeles(UCLA) 전기공학부 박사후 연구원

2001년~2008년 삼성탈레스 기술연구소 책임연구원
 2008년~현재 명지전문대학 정보공학부 전기과 부교수

<관심분야> 통신신호처리, 군통신, 이동통신, 의료통신 시스템 등

최일묵 (Il Muk Choi)

정회원



2010년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업
 2012년 2월 성균관대학교 휴대폰학과 석사
 2012년 3월~삼성전자 무선사업부
 <관심분야> 무선 및 이동통신 모델 기술

최형진 (Hyung-Jin Choi)

종신회원

1974년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
 1976년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 석사



1976년 3월~1979년 7월 (주) 금정사 중앙연구소 연구원
 1979년 9월~1982년 12월 미국 Univ. of Southern California 전기공학과 (공학 박사)

1982년 10월~1989년 2월 미국 Lincom Corp. 연구원

1989년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학대학 교수

<관심분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술

원경훈 (Kyung Hoon Won)

정회원



2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업
 2010년 2월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사
 2010년 3월~성균관대학교 휴대폰학과 박사과정
 <관심분야> 무선 및 이동통신 모델 동기 기술, OFDM, LTE

신모델 동기 기술, OFDM, LTE