

저전력 통신을 위한 PSPM(Phase Shift Position Modulation) 방식과 다중 경로 채널에서 성능 분석

PSPM System for Low Power Communication and Performance Analysis in Multipath Channel

최재훈 · 유흥균

Jae-Hoon Choi · Heung-Gyoon Ryu

요약

이 논문은 저전력 통신을 위해 제안된 PSPM 변조의 다중 경로 채널에서 성능을 분석한다. PSPM(Phase Shift Position Modulation) 변조는 PSK를 기반으로 하여 PPM 변조를 결합한 방식이다. PSPM 변조 방식은 신호의 주기를 나누어 각각의 심볼을 배치하는 방식으로 기존의 PSK와 PSSK에 비해 대역 효율은 떨어지지만 전력 효율은 증가한다. 또한, 송신기의 전력 효율 이외에도 변조 레벨이 낮아짐으로써 심볼 간의 해밍거리가 증가하여 BER 성능이 증가하게 된다. PSPM 변조 방식은 기존의 FSK보다 높은 대역 효율을, PSK보다는 높은 전력 효율을 가지게 된다. 이러한 특성은 저전력을 필요로 하는 인체 통신 분야나 센서 네트워크 분야에서 유용하게 사용될 수 있으며, 기존에 제안된 FSK 방식보다 높은 전송량을 기대할 수 있다. 이 논문에서는 기존의 PSK, PSSK와 PSPM의 BER 성능과 throughput을 AWGN 채널과 다중 경로 채널에서 비교 분석한다.

Abstract

In this paper, we analyze performance of PSPM(Phase Shift Position Modulation) modulation scheme in multi-path channel. A PSPM modulation method transmits the information data by both PSK symbol data and symbol position data, so that we can significantly improve the power efficiency. The bandwidth efficiency of PSPM is quarter than PSK but improve BER performance, because increasing symbol hamming distance. In this results, a PSPM scheme is bandwidth efficiency better than FSK and power efficiency better than PSK. This characteristic can be useful in WBAN and wireless sensor networks also PSPM modulation method can be expected high throughput than existing FSK. In this paper, we compare PSPM, PSSK and PSK regard to BER performance and throughput in multi-path channel.

Key words : PSSK, PSPM, Low Power, Power Efficiency, Bandwidth Efficiency

I. 서론

최근 전자기기의 소형화와 유비쿼터스 환경 구현에 대한 관심이 증가함에 따라 저전력 통신 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. WPAN과 WBAN은 그 중에서 가장 활발하게 진행인 근거리 통신

시스템이다. WPAN 시스템은 UWB와 같은 근거리 고속 통신 시스템과 Bluetooth, Zigbee 등을 이용한 센서 네트워크 통신 시스템으로 나뉜다. UWB 통신 시스템은 광대역 주파수를 사용하기 때문에 무선 장치들과의 간섭을 줄이기 위하여 저전력 통신이 요구되며, Bluetooth와 Zigbee와 같은 센서 네트워크

「이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0007567).」
충북대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20100817-111
· 교신저자 : 유흥균(e-mail : ecomm@cbu.ac.kr)
· 수정완료일자 : 2010년 11월 5일

시스템은 사용 시간을 늘리기 위한 방법으로 저전력 통신이 요구되고 있다. WBAN 기술은 인체의 내부 및 외부 약 3 m 이내에 부착되는 장치들을 무선 네트워크로 연결하여 기기간 상호 통신을 제공하는 근거리 무선 통신 기술로, in-body와 on-body 시스템으로 구분할 수 있다. In-body 시스템은 주로 인체의 기관에 이식되어 있는 장치(implant device)와 생체 전극을 이용하여 인체 부착 장치(wearable device) 간의 네트워크 시스템으로 구성할 수 있으며, on-body 시스템은 인체 주변의 데이터 전달, 게임 응용 등 다양한 엔터테인먼트 분야에 활용이 가능하다^[1].

WBAN 시스템은 인체의 내부와 외부에서 생체 신호를 지속적으로 관찰이 가능하다는 장점이 있다. 지속적으로 모니터링이 가능해지면 수술 직후의 환자, 노약자, 장기질환 환자의 건강 상황을 병원에서 실시간으로 관찰하여 이상 징후를 확인할 수 있으며, 적절한 응급조치를 취할 수 있다. 이러한 신체 측정 장치들은 인체 내부에 이식하거나 외부에 장기간 부착을 해야 하기 때문에 크기는 소형화가 되어야 하며, 장기간 사용이 가능해야 할 필요성이 있다. 장치의 소형화는 곧 소모 전력에 제한을 가져오게 되며, 낮은 전력 소모를 요구하게 된다. 또한, 이식 장치의 경우 인체 내부에서 충전이 불가능할 경우, 수술을 통하여 장치를 교체해야만 하는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 기존의 자유공간에서의 무선 전력 전송을 이용하여 인체 매질을 통한 전력 전송이 연구되고 있으나, 아직까지는 효율이 높지 못하다. 이러한 이유로 WBAN의 in-body 시스템에는 전력 소모를 최소로 할 수 있는 FSK 계열의 변조 방식이 제안되었으나, 대역 소모가 크다는 단점이 있다^{[2]-[6]}. 이러한 단점을 개선하기 위해 PSSK 계열의 변조 방식이 제안되었다^[7]. PSSK 방식은 기존의 PSK와 비교하여 전력 효율을 개선시킨 방식으로 대역 효율은 2배 낮아지지만 전력 효율을 6 dB까지 증가시킨 방식으로 PSK보다 높은 전력 효율을, FSK보다 높은 대역 효율을 목적으로 제안된 방식이다. 이 같은 특성을 갖는 PSSK는 저전력을 요구하는 in-body 시스템 중에서 높은 전송량이 요구되는 capsule-endoscope 등에 사용하기 적합한 방식이다^[8].

인체 매질을 이용하는 근거리 WBAN의 경우 주

파수 대역이 매우 제한적이고, 전송 거리 또한 짧기 때문에 다중 경로 채널에 의한 영향은 크지 않다. 이러한 이유로 802.15.6의 표준화 그룹의 채널 모델에서도 거리에 따른 신호 감쇄의 영향만을 고려하고 있으며^[9], 기존의 제안된 PSSK 변조 역시 AWGN에서의 성능만을 분석했다.

본 논문에서는 기존에 제안된 PSSK, PSK 변조 방식과 제안하는 PSPM 변조 방식의 BER 성능을 다중 경로 채널 환경에서 비교 분석한다. 이는, 다중 경로 채널 환경에서도 PSPM과 PSSK의 특성이 동일하게 유지되는지를 알아보기 위함이며, NLOS가 존재하는 on-body 통신 상황을 고려하기 위해서이다. 또한, AWGN 채널과 다중 경로 채널 환경에서 변화하는 SNR에 따른 throughput 성능을 비교하여 시스템에서 요구하는 성능 요건을 만족하는 변조 방식을 결정하기 위해 이용한다.

II. PSPM(Phase-Shift-Position-Modulation) 변조

PSSK 변조 방식은 앞에서 기술한 것과 같이 대역 효율을 낮추고 전력 효율을 높이는 방식이다. PSPM 변조 방식은 기존의 PSSK 변조 방식에서 대역폭을 2배로 늘리고 전력 효율을 더욱 낮춘 방식으로 신호 주기를 4로 나누어 $T/4$ 의 주기에 심볼을 배치하고, $3T/4$ 의 주기에는 0을 전송한다. 한 신호 주기에서 심볼이 차지하는 비율이 줄어들어 송신 신호 전력이 감소한다.

2-1 PSPM의 성상도와 심볼 구간

제안하는 PSPM 변조 방식은 PSK 신호를 서로 직교하는 4개의 심볼로 전송하는 방식으로 기존의 PSK 방식에 PPM 방식을 적용시켜 심볼의 위치를 결정한다. 그림 1은 16PSPM의 constellation을 나타낸 것이다. 16 PSSK는 4진 정보를 2개의 8PSSK를 직교하여 전송하지만, 16PSPM은 4진 정보를 4개의 QPSK를 직교하여 전송한다. 첫 2비트를 이용하여 결정된 위치에 $(\log_2 M) - 2$ 비트의 PSK 신호를 전송한다. 즉, 2비트의 PPM 신호와 $(\log_2 M) - 2$ 비트의 PSK 신호를 결합한 방식이 된다. 16 PSK는 4진 신호를 16개의 위상을 통하여 전송하는 방식으로 심볼 간의 거리는 $2\sqrt{E_s} \sin(\pi/16)$ 이 된다^[10]. 16PSPM은

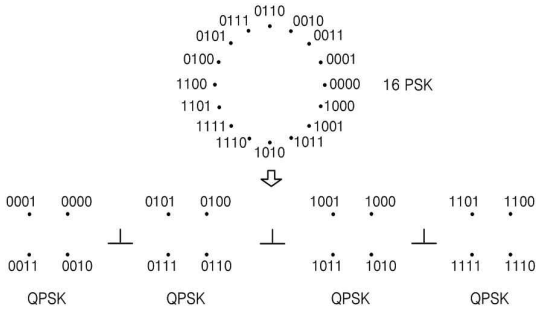


그림 1. PSPM 성상도
Fig. 1. PSPM constellation.

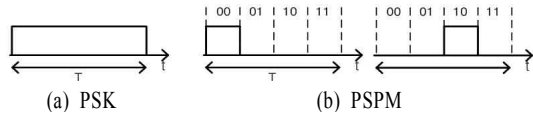


그림 2. PSPM 심볼 구간
Fig. 2. PSPM symbol duration.

직교하는 4개의 QPSK를 이용하여 전송하는 방식을 사용한다. 심볼의 주기는 신호 주기의 1/4이 되어 대역폭이 4배 증가하게 되지만, 심볼 간의 거리는 $2\sqrt{E_s} \sin(\pi/4)$ 가 되며, 송신 신호 전력 또한 감소한다.

그림 2는 PSPM의 심볼 주기를 나타낸 것이다. T의 심볼 주기를 T/4로 나누고, 2개의 비트 정보를 이용하여 신호 주기 내의 심볼 위치를 결정한다. 심볼 주기가 줄어든 만큼 대역폭은 증가하게 된다.

2-2 PSPM의 이론적 분석

M≥8인 M-Ary PSPM 신호는 다음과 같이 정의된다.

$$s_m(t) = \sum_{n=0}^3 A_{m,n} \alpha(t - nT/4) \exp[j2\pi f_c t + j\theta_m] \quad (0 \leq t \leq T), \quad (1-1)$$

$$A_{m,n} = \begin{cases} 1, & n < \text{floor}(4m/M) < n+1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1-2)$$

$$\alpha_n(t) = u[t - 0.25(n-1)T] - u[t - 0.25nT], \quad n = 1, 2, 3, 4 \quad (1-3)$$

$\alpha_n(t)$ 는 스텝 함수로, 반송파를 심볼 주기에 맞추게 된다. $\alpha_n(t)$ 의 값에 의해 반송파는 정보 신호와 동일하게 1/4 주기 동안에는 $[\cos 2\pi f_c t + \sin 2\pi f_c t]$,

3/4 주기 동안에는 0이 된다.

송신 신호 $s_m(t)$ 는 식 (2)와 같이 정의되며, $A_{m,n}$ 의 값에 의하여 각 심볼들은 직교성을 유지하게 된다.

$$s_m(t) = \sum_{n=0}^3 A_{m,n} \alpha(t - nT/4) (\cos 2\pi f_c t - \sin 2\pi f_c t) \quad (2)$$

송신 신호 $s_m(t)$ 는 PSK 변조된 신호와 심볼의 위치 정보를 가지고 있는 신호의 곱으로써 전송되게 되며, 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다. 이렇게 송신되는 신호의 대역 효율은 $0.125 \log_2 M$, $M \geq 8$ 이 된다. PSPM의 대역 효율은 PSK의 1/4, PSSK의 1/2이다. 이것은 심볼의 주기가 T/4로 감소하였기 때문이다. FSK의 대역 효율과 비교를 해 보면, 위상 비동기식 FSK의 경우 대역 효율이 $\log_2 M / 2M$ 으로 PSPM 방식이 FSK 방식보다 대역 효율이 M/4 더 좋다. PSPM 수신기는 그림 3과 같이 동기 방식을 사용한다. 수신되는 신호는 식 (2)의 $s_m(t)$ 와 AWGN 채널 노이즈의 합으로 나타낼 수 있다.

$$r_m(t) = s_m(t) + n(t) \quad (3)$$

PSPM의 복조는 기존의 PSSK의 복조와 동일한 방식을 이용한다. 먼저 신호 주기에서 심볼의 위치를 찾기 위해 심볼의 위치를 찾아야 하므로 수신 신호에 $\alpha_n(t)$ 를 곱한다. 자기 자신이 곱해지지 않는 경우는 모두 0이므로, 하나의 신호 주기를 4개의 심볼 주기로 구분할 수 있게 된다. 따라서 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} y_n(t) &= (s_m(t) + n(t)) \times \alpha_n(t) \\ &= (A_{m,n} \cdot \cos \theta_m) \cos 2\pi f_c t \\ &\quad - (A_{m,n} \cdot \sin \theta_m) \sin 2\pi f_c t + n(t)\alpha_n(t), \end{aligned} \quad (n = 1, 2, 3, 4) \quad (4)$$

식 (4)에 반송파를 곱하여 기저 대역으로 내리게 되면, 각 심볼의 위치에 대한 PSK 신호를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} R_n &= A_{m,n} \cos \theta_m + A_{m,n} \sin \theta_m + n(t) \\ &= A_{m,n} (\cos \theta_m + \sin \theta_m) + n(t)\alpha_n(t), \end{aligned} \quad (n = 1, 2, 3, 4) \quad (5)$$

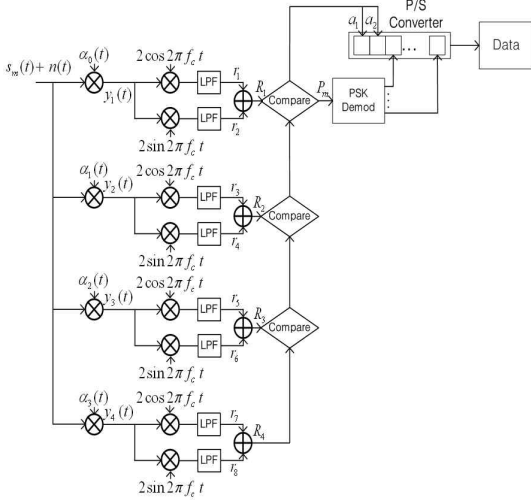


그림 3. PSPM 수신기의 구조
Fig. 3. PSPM receiver.

심볼의 위치는 식 (5)의 R_n 의 신호 전력을 비교하여 신호 주기에서의 심볼의 위치를 파악하게 되면, 2비트 정보를 알아낼 수 있다.

$$\max(|R_n|^2) = \begin{cases} R_1 \Rightarrow a_1 = 0, a_2 = 0, P_m = r_1 + j \cdot r_2 \\ R_2 \Rightarrow a_1 = 0, a_2 = 1, P_m = r_3 + j \cdot r_4 \\ R_3 \Rightarrow a_1 = 1, a_2 = 0, P_m = r_5 + j \cdot r_6 \\ R_4 \Rightarrow a_1 = 1, a_2 = 1, P_m = r_7 + j \cdot r_8 \end{cases} \quad (6)$$

식 (6)에서 보듯이 R_n 의 신호 전력을 확인하여 알아낸 2비트의 정보와 P_m 의 PSK 복조 정보를 합하여 M-ary PSPM 신호를 복조한다. PSPM의 경우 4개의 PSK 신호의 조합으로 이뤄지기 때문에 $M \geq 8$ 이 되어야 한다. $M \geq 16$ 의 경우, PSPM은 PSK와 PSSK 보다 심볼간의 해밍 거리가 더 크다. PSPM 방식은 PSSK 방식에서 대역을 2배로 확장하여 4개의 직교 심볼을 전송하는 방식이다. 따라서 PSPM의 수신 에러 확률은 PSSK 방식과 동일하게 정리할 수 있다.

$$P_c = P(|r_1|^2 > |r_2|^2, |r_1|^2 > |r_4|^2, |r_1|^2 > |r_6|^2 | \theta < \pi / M) \quad (7)$$

따라서 에러 발생 확률은 $P_e = (1 - P_c)$ 로 정의할 수 있다. P_e 를 Q 함수로 표현하면 식 (8)과 같이 표현할 수 있으며,

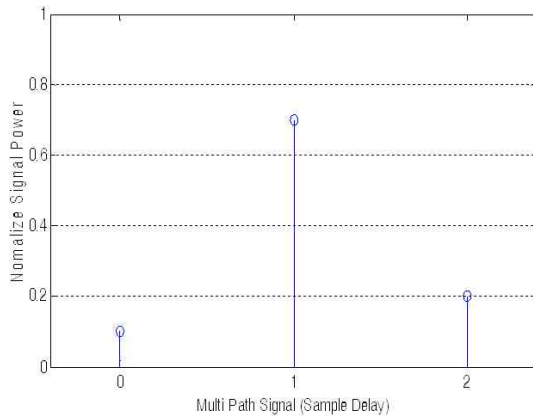
$$P_u = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sum_{j \in S_m} Q\left(\frac{d_{m,j}}{\sqrt{2N_0}}\right), \quad (8)$$

$$d_{m,j} = \sqrt{2E_b \log_2 M} \sin(\pi / M)$$

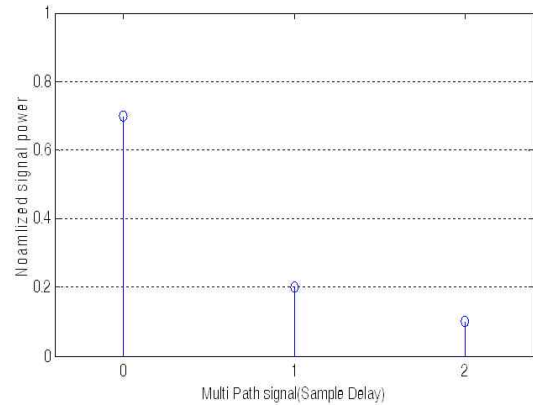
PSPM의 비트 오류 확률 PSSK와 마찬가지로 $P_b \approx 1 / \log_2(M) P_u$ 로 근사화 된다.

2-3 다중 경로 채널 모델

PSPM 변조의 다중 경로 채널 성능을 확인하기 위하여 그림 4의 다중 경로 채널 모델을 사용하였다. 3 tap 패스 모델이며, 각 패스는 1 심볼의 시간만큼 지연된다. 따라서, 수신되는 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



(a) 3 tap 다중 경로 채널 모델 1
(a) 3 tap multi-path channel model 1



(b) 3 tap 다중 경로 채널 모델 2
(b) 3 tap multi-path channel model 2

그림 4. 다중 경로 채널 모델
Fig. 4. Multi-path channel model.

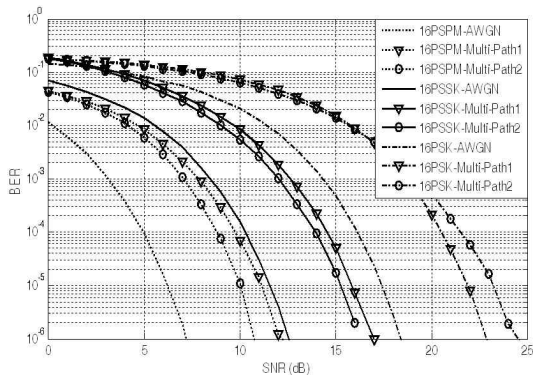
$$y(t) = \mu_0 S_m(t) + \mu_1 S_m(t - \tau_0) + \mu_2 S_m(t - \tau_1) + n(t) \quad (9)$$

$S_m(t)$ 는 식 (1-1)의 PSPM 송신 신호이며, μ 는 지연의 크기, τ 는 지연 시간을 의미한다. 지연 시간 τ 는 샘플의 전송 주기와 동일하므로, $\tau/T=1$ 이 된다. 따라서 송신 심볼과 지연된 심볼들은 서로 중첩되게 되며, 인접 심볼간 간섭이 발생하게 된다.

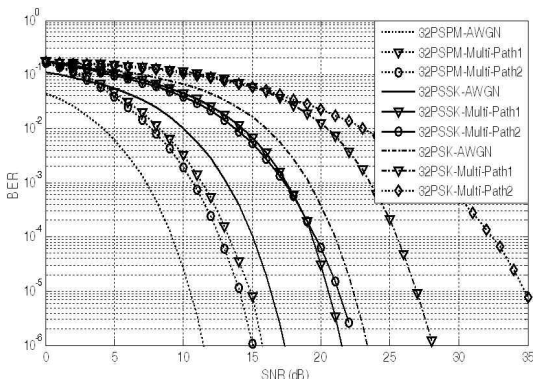
III. 시뮬레이션 결과와 검토

다중 경로 채널에서의 성능을 확인해 보기 위하여, 2개의 채널 모델과 MMSE 방식을 사용하였다. 2가지 채널 모델은 모두 3 tap 패스 모델이며, 각 패스는 1심볼씩 지연된다.

그림 5는 다중 경로 채널에서의 BER 성능을 시뮬



(a) 16-ary 다중 경로 채널 BER 성능
(a) 16-ary multi-path channel BER



(b) 32-ary 다중 경로 채널 BER 성능
(b) 32-ary multi-path channel BER

그림 5. 다중 경로 채널 BER 성능
Fig. 5. Performance of BER in multi-path channel.

레이션한 결과이다. 그림 5(a)에서 보듯이 다중 경로 모델 1의 경우 16PSPM은 12 dB, 16PSSK는 17 dB로, 16PSK는 23 dB로 나타난다. 모델 2의 경우에는 각각 10.8 dB, 16.6dB, 24.5 dB로 PSPM 방식이 PSSK에 비하여 5 dB, PSK에 비하여 11 dB의 향상된 BER 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 각각 AWGN 채널에서의 결과에 비해 4~5 dB 성능이 열화된 결과이다.

그림 5(b)는 32-ary 변조에서의 BER 시뮬레이션 결과이다. 채널 모델 1에서 32PSPM이 32PSSK에 비하여 7 dB, 32PSK와 비교해서는 11 dB 정도 더 뛰어난 성능을 보이며, 채널 모델 2에서는 32PSPM이 32PSSK에 비하여 7 dB, 32PSK와 비교해서는 20 dB 가까운 차이를 보인다. 이것은 PSPM의 BER 성능이 PSSK와 PSK의 BER 성능보다 AWGN 채널에서 더 뛰어나기 때문으로, PSPM이 다른 변조 방식과 비교했을 때 채널 모델 2에서 더 뛰어난 성능을 보인다. 그리고 PSPM 변조는 16-ary와 32-ary 변조에서 채널 모델의 변화에 따른 BER의 변화가 가장 적었으며, 이는 PSPM이 채널 상황 변화에 매우 강한 변조임을 알 수 있게 해주는 결과이다.

표 1은 각 변조들의 전력 효율과 대역 효율을 나타낸 것이다. 3 MHz의 동일한 대역폭을 가질 때, PSK는 PSK의 1/2의 데이터 전송량을 가지며, PSPM은 PSK의 1/4의 전송량을 갖는다. 그러나 PSSK의 pulse-on duration은 PSK에 비하여 1/2이며, PSPM은 PSK의 1/4이 된다. 따라서, PSSK는 3 dB, PSPM은 6 dB의 송신기의 전력 이득(duty gain)을 얻게 된다.

그림 6은 AWGN 채널에서의 PSK와 PSSK, PSPM의 throughput을 시뮬레이션한 결과로, 표 1의 환경을 이용하여 시뮬레이션 하였다. SNR의 증가에 따라 throughput은 증가를 하게 되며, BER 그래프의 특성을 따르게 된다. PSPM은 throughput이 PSK의 1/4, PSSK의 1/2이지만 SNR의 변화에 크게 영향을 받지 않는 특성을 나타낸다. PSSK의 데이터 전송량은 PSK의 절반으로 PSPM보다는 SNR의 변화에 민감한 특성을 나타내며, 32PSSK의 경우 낮은 SNR 구간에서 32PSK보다 높은 throughput 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 다중 경로 채널에서의 throughput을 시뮬레이션한 결과로, 2가지 다중 경로 채널 모델에 따

표 1. PSK와 PSSK, PSPM의 전력 효율과 대역 효율(bandwidth=3 MHz)

Table 1. Power efficiency and bandwidth efficiency for PSK, PSSK and PSPM(bandwidth=3 MHz).

| | PSPM | | PSSK | | PSK | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| | 16PSPM | 32PSPM | 16PSSK | 32PSSK | 16PSK | 32PSK |
| Bit rate(Mbps) | 1.5 | 1.875 | 3 | 3.75 | 6 | 7.5 |
| Symbol period(ns) | 667 | 667 | 667 | 667 | 667 | 667 |
| Pulse-on duration(ns) | 167 | 167 | 334 | 334 | 667 | 667 |
| Duty gain(dB) | 6 | 6 | 3 | 3 | 0 | 0 |
| $E_b/N_0(10^{-6})$ | 7.2 | 11.3 | 12.5 | 17.3 | 18.3 | 23 |

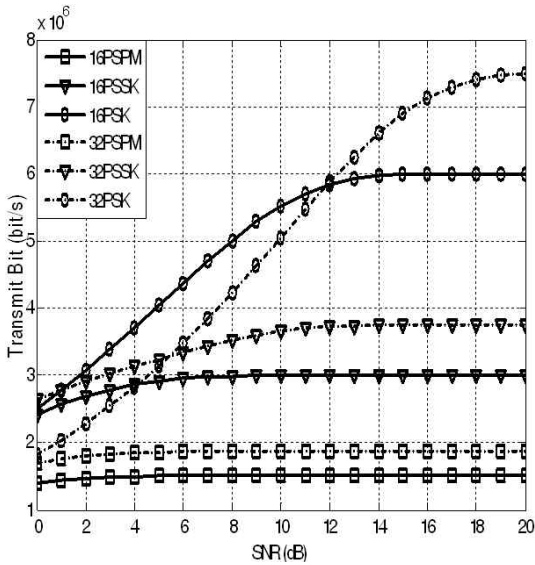
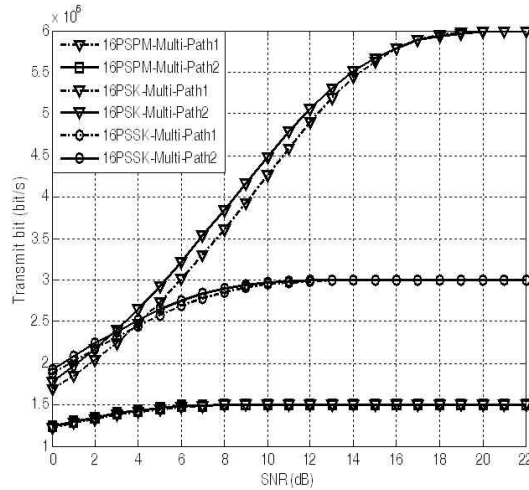


그림 6. AWGN 채널에서의 throughput 성능
Fig. 6. Performance of throughput in AWGN channel.

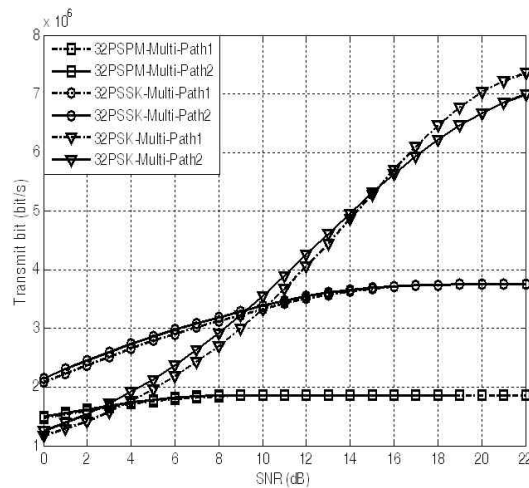
큰 각각의 변조들의 throughput을 시뮬레이션했다. 그림 7(a)는 16-ary 변조의 결과로 전체적인 특성은 AWGN 채널과 유사함을 알 수 있다. 그러나 그림 7 (b)의 32-ary의 결과를 보면 AWGN 채널에서와는 달리 낮은 SNR에서 32PSPM의 throughput 성능이 32-PSK보다 높음을 알 수 있다. 1/4로 throughput이 감소하였지만 multi-path 채널에서 BER이 13~20 dB 이상 차이가 나기 때문이며, 채널 모델 1의 throughput 결과에서는 이러한 특성이 더욱 심하게 나타난다.

IV. 결 론

본 논문은 PSPM 변조의 BER 성능과 throughput 성능을 다중 경로 채널에서 분석하였다. 기본적으로



(a) 16-ary 다중 경로 채널 throughput 성능
(a) 16-ary multi-path channel throughput



(b) 32-ary 다중 경로 채널 throughput 성능
(b) 32-ary multi-path channel throughput

그림 7. 다중 경로 채널에서의 throughput 성능
Fig. 7. Performance of throughput in multi-path channel.

PSPM의 AWGN 채널 BER 성능은 PSSK에 비하여 5~6 dB, PSK에 비하여 11 dB 더 높다. 이러한 특성은 서로 다른 특징을 갖는 2가지 다중 경로 채널 모델의 시뮬레이션 결과에도 동일하게 나타났다. 이러한 BER의 이득은 대역 효율의 낮춤으로써 얻은 이득이다. PSPM의 throughput 시뮬레이션 결과를 보면, PSSK의 1/2, PSK의 1/4로 줄어드는 것을 알 수 있다. 그러나 송신기 duty gain의 이득이 6 dB로 PSPM 변조 방식은 PSSK와 PSK에 비해 전력 효율이 높으며, 서로 다른 특성의 멀티패스 채널에서도 BER 성능의 변화가 적은 모습을 보여주었다. 이러한 특성은 많은 데이터의 전송이 필요치 않고, 전력 소모를 최소화하여 기기의 수명을 늘려야 하는 WBAN과 센서 네트워크 시스템에 유용할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] IEEE P802.15-08-0407-03-0006, 802.15.6 Call for Applications-Response Summary. Jul. 2008.
 [2] IEEE 802.15, TG6 Technical Requirements Document, IEEE, Piscataway, N.J., Sep. 2008.
 [3] IEEE P802.15-10-0010-01-0006, NICT narrow band PHY proposal, Jan. 2010.
 [4] IEEE P802.15-09-0137-01-006, Group PPM method

to 802.15TG6, Mar. 2009.
 [5] S. J. Song, N. Cho, S. Kim, J. Yoo, and H. J. Yoo, "A 2 Mb/s wideband pulse transceiver with direct-coupled interface for human body communications", in *IEEE int. Solid-State Circuit Conf. Technol. Dig.*, pp. 558-559, Feb. 2006.
 [6] K. Hachisuka, A. Nakata, T. Takeda, Y. Terauchi, K. Shiba, K. Sasaki, H. Hosaka, and K. Itao, "Development and performance analysis of an intra-body communication device", in *Int. Solid-State Sens., Actuator, Microsyst. Conf.*, vol. 2, pp. 1722-1725, Jun. 2003.
 [7] D. K. Kim, H. S. Lee, "Phase-silence-shift-keying for power-efficient modulator", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E92-B, no. 6, Jun. 2009.
 [8] J. Y. Oh, J. H. Kim, and H. S. Lee. "PSSK modulation scheme for high data rate implantable medical device", *IEEE. Trans. Inf. Technol. Biomed.*, Nov. 2009.
 [9] IEEE 802.15-08-0780-09-0006, Channel Model for Body Area Network(BAN), Apr. 2009.
 [10] Rodger E. Ziemmer, William H. Tranter, *Principles of Communications(Systems, Modulation, and Noise)* 5Ed., John Wiley & Sons, 2001.

최 재 훈



2010년 2월: 충북대학교 전기전자 컴퓨터공학부 (공학사)
 2010년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 무선 통신 시스템, WBAN, WPAN

유 흥 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월~2004년 2월: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
 1992년~현재: IEEE, IET 논문 심사 위원
 2002년: 한국전자과학회 학술상 수

상
 2008년: 그리스 ICWMC 2008 국제학술대회 'Best Paper Award' 수상
 2009년: 프랑스 SPACOMM 2009 국제학술대회 'Best Paper Award' 수상
 [주 관심분야] 이동 통신 시스템, 위성 통신, 3G/4G 시스템, 통신 회로 설계 및 통신 신호 처리