

논문 2016-53-3-1

# ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 변조 기반의 근거리 무선통신 시스템에서 기기 간 상호 간섭의 영향 분석

( An Analysis on the Effects of Inter-Device Interference in the  
ORC-OQ<sup>2</sup>PSK Based Wireless Personal Area Networks )

전 상 엽\*, 김 명 진\*\*

( Sang Yeop Jeon and Myoung Jin Kim<sup>©</sup> )

## 요 약

동일한 공간에서 다수의 근거리 무선 네트워크(WPAN)가 작동하는 네트워크 환경을 구축하는 경우 기기 간 간섭의 영향을 고려할 필요가 있다. 사용하는 변조 방식에 따라 인접한 주파수 채널의 간섭 신호가 주는 영향이 차이가 있을 수 있다. 스펙트럼의 부엽이 큰 변조 방식을 사용하는 경우 다른 주파수 채널을 사용하더라도 간섭으로서 영향을 미칠 수 있으며, 간섭원의 공간상 거리에 따라 심각한 성능 저하가 발생할 가능성도 있다. 본 논문에서는 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 변조 기반의 WPAN에서 인접 주파수 채널을 사용하는 기기로부터의 간섭 영향을 분석하였다. 분석 결과를 기존 GFSK 기반의 WPAN과 비교하여 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 변조 기반의 WPAN에 대한 타당성 검증을 수행하였다.

## Abstract

To establish a network environment where multiple wireless personal area networks(WPAN) are simultaneously operating in the same area, we need to consider the effects of inter-device interference. The extent of interference effect from neighboring frequency channel interferer may be different depending on the modulation types that are used for constructing the wireless network. If a modulation scheme with high spectral side lobes is used, the spatial separation between devices plays a major role in determining the amount of interference from neighboring frequency channel interferer. In this paper, we investigate the effect of inter-device interference in the overlapped raised cosine offset quadrature-quadrature phase shift keying (ORC-OQ<sup>2</sup>PSK) modulation based WPAN. By comparing the results with those of GFSK modulation based WPAN, we verify the feasibility of ORC-OQ<sup>2</sup>PSK based WPAN.

**Keywords** : Overlapped raised-cosine pulse shaping, ORC-OQ<sup>2</sup>PSK, Bandwidth efficient modulation, WPAN

## I. 서 론

근거리 무선 네트워크(Wireless Personal Area Network: WPAN)가 주로 사용하는 주파수대는 비면허의 ISM (Industrial Scientific Medical) 대역으로서

\* 학생회원, \*\* 정회원, 한국외국어대학교 정보통신공학과 (Department of Information and Communications Engineering, Hankuk University of Foreign Studies)

© Corresponding Author(E-mail: mjkim@hufs.ac.kr)

※ 이 연구는 2016학년도 한국외국어대학교 교내학술연구비의 지원에 의하여 이루어진 것임.

Received ; August 2, 2015      Revised ; February 23, 2016

Accepted ; March 5, 2016

WLAN이나 Bluetooth, ZigBee와 같은 WPAN 및 다양한 장비들이 동일한 공간에서 동작하고 있어서 상호 간섭이 많이 발생한다. 앞으로 IoT(Internet of Things)가 활성화되면 매우 많은 무선 기기들이 동시에 작동하여 상호 간섭의 문제가 심각해질 수 있다. 많은 장치들이 동일한 공간에서 동시에 작동되면 이종 시스템 간의 간섭뿐만 아니라 동종 시스템 간의 간섭도 증가한다. 사용하는 변조 방식에 따라 다르지만 밀집된 실내 환경에서는 동일한 주파수 채널이 아니더라도 인접 주파수 채널의 신호가 간섭을 일으킬 가능성이 많이 있다. 스펙트럼 부엽(side lobe)이 큰 변조 방식을 사용하면 원

하는 송신기로부터의 거리에 비해 간섭원 송신기가 가깝게 위치한 경우 간섭의 영향으로 성능 저하가 발생할 수 있다. 따라서 무선 서비스의 추세인 멀티미디어 데이터의 전송이 가능하게 전송 속도가 높으면서 스펙트럼 부엽의 크기가 작은 변조 방식이 바람직하다.

대역폭 효율이 높은 변조 방식의 예로 quadrature-quadrature phase shift keying(Q<sup>2</sup>PSK) 변조는 직교 반송파( $\cos 2\pi f_c t$  및  $\sin 2\pi f_c t$ )뿐만 아니라 데이터 펄스도 직교하는 파형( $\cos(\pi t/2T)$  및  $\sin(\pi t/2T)$ )을 사용함으로써 이중 다중화 효과를 얻을 수 있어서 QPSK보다 더 높은 대역폭 효율을 얻을 수 있다<sup>[1]</sup>. Q<sup>2</sup>PSK의 스펙트럼은 MSK(minimum shift keying)보다 주엽(main lobe)의 폭이 절반으로 감소하지만 부엽의 크기가 커서 대역 외 간섭이 크다는 단점이 있다.

MSK는 OQPSK(offset QPSK)에서 데이터 펄스를 구형과 대신 반과장 정현파를 사용한 변조 방식으로 볼 수 있는 한편, 변조된 신호의 위상이 연속적으로 변하기 때문에 연속위상변조(continuous phase modulation: CPM) 방식으로 분류된다<sup>[2]</sup>. MSK는 OQPSK에 비하여 주엽의 폭은 1.5배 넓지만 부엽의 크기가 큰 폭으로 감소하여 스펙트럼 사용 효율이 더 우수하다<sup>[2-5]</sup>. CPM 변조로 본 MSK에서 주파수 펄스를 Gaussian lowpass filter(GLPF)로 펄스정형함으로써 위상 변화를 부드럽게 만든 변조 방식이 GMSK이다<sup>[6]</sup>. 주파수 펄스의 길이가 심볼 길이보다 커서 심볼 간 간섭이 발생하여 MSK에 비해 약간의 비트오율 성능 열화가 발생하지만 부엽 크기가 크게 감소하여 높은 스펙트럼 효율을 얻을 수 있다.

Quadrature MSK (QMSK) 변조 방식은 차동부호화 직렬 구조의 MSK 변조기를 정현파 기반 및 여현파 기반으로 구성하고, 두 개의 MSK 신호를 다중화하여 전송하는 방식이다<sup>[7]</sup>. QMSK를 Q<sup>2</sup>PSK와 비교하면, 주엽의 폭은 약  $0.375/T_b$ 로 동일하지만 부엽이 억제되어 더 높은 스펙트럼 효율을 얻을 수 있다. MSK보다 부엽 억제 특성이 우수한 GMSK를 다중화한 quadrature multiplexed GMSK (QM-GMSK)는 Q<sup>2</sup>PSK나 QMSK보다 주엽의 폭은 약  $0.125/T_b$  정도 넓지만 부엽이 크게 억제되므로 실제 스펙트럼 효율이 상대적으로 더 높다<sup>[8-9]</sup>.

QM-GMSK에서 기저대역 펄스를 반과장 정현파의 제공으로 근사화시키면 GLPF 펄스정형 필터를 사용하지 않고 송신기를 구현할 수 있어서 구조가 간단해지는

데, 이것이<sup>[10]</sup>에서 제안된 offset-Q<sup>2</sup>PSK(OQ<sup>2</sup>PSK)이다. OQ<sup>2</sup>PSK는 별도의 필터 사용이 요구되지 않으면서 QM-GMSK와 유사한 스펙트럼 특성을 갖는 장점이 있다. OQ<sup>2</sup>PSK에서 심볼 길이보다 긴 상승여현(raised cosine: RC) 펄스를 사용하여 중첩 펄스정형함으로써 OQ<sup>2</sup>PSK보다 스펙트럼 특성을 개선시킨 기법이 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK(overlapped raised cosine OQ<sup>2</sup>PSK)로 제안되어 있다<sup>[11]</sup>.

본 논문에서는 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 기반의 WPAN을 대상으로 기기 간 상호 간섭의 영향을 분석한다. 인접한 주파수 채널을 사용하는 기기에 의한 간섭으로 인한 비트 오율 성능 열화의 정도를 구하며, 그 결과를 Bluetooth에서 사용하는 GFSK의 경우와 비교한다. 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 변조 방식에 대해 기술하고, III장에서는 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 기기 간 중심 주파수 이격에 따른 간섭의 영향을 살펴본다. IV장에서는 실내 무선 환경을 가정하고 인접 주파수 채널을 사용하는 간섭원의 거리에 따른 영향을 분석한 결과를 제시하며, V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 변조

Q<sup>2</sup>PSK 변조는 직교 데이터 펄스와 직교 반송파를 사용하여 다중화함으로써 대역폭 효율을 높인 변조 방식이나 스펙트럼 부엽이 크다는 단점이 있다. ORC-OQ<sup>2</sup>PSK는 Q<sup>2</sup>PSK 송신기 구조에서 4 개의 심볼 열 중에서 2 개를 반 심볼 길이만큼 지연시키고 심볼 길이의 두 배인 상승여현 펄스를 중첩하여 펄스 정형하는 변조 방식으로 높은 대역폭 효율과 강한 부엽 억제 특성이 있다<sup>[11]</sup>.

### 1. ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 송신기

그림 1에 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 송신기의 구조를 보인다. 정보 비트열로부터  $b_{11}(t)$ ,  $b_{12}(t)$  및  $b_{01}(t)$ ,  $b_{02}(t)$ 가 생성된다. 여기서 심볼 열  $b_{12}(t)$ 와  $b_{02}(t)$ 는 각각  $b_{11}(t)$ 와  $b_{01}(t)$ 보다 반 심볼, 즉  $T_b$ 만큼 지연된다. 그 다음 각 심볼 열은 펄스 정형되어 다음과 같은 신호를 생성한다.

$$x_{11}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{1n}^1 \cdot p(t - 2nT_b) \quad (1)$$

$$x_{12}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{1n}^2 \cdot p(t - (2n+1)T_b) \quad (2)$$

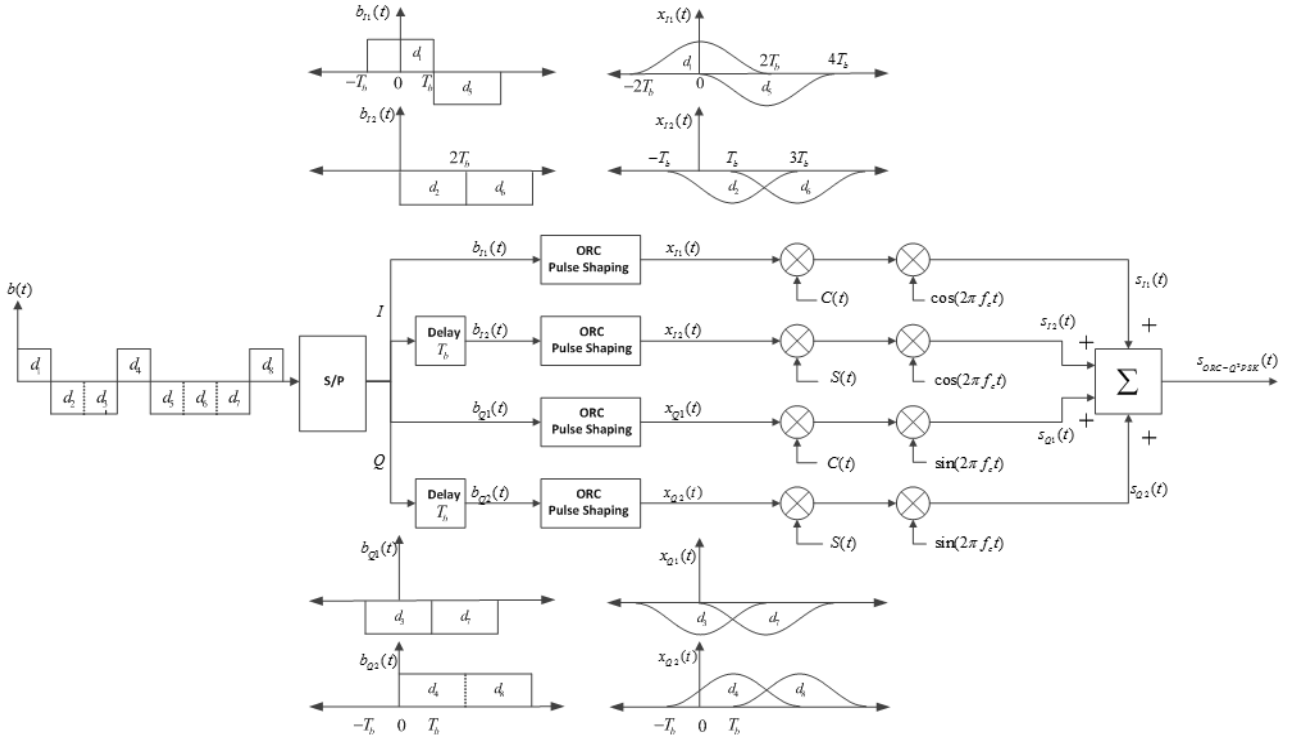


그림 1. ORC-OQ²PSK 송신기  
Fig. 1. Transmitter of ORC-OQ²PSK.

$$x_{Q1}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{Qn}^1 \cdot p(t - 2nT_b) \quad (3)$$

$$x_{Q2}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} d_{Qn}^2 \cdot p(t - (2n+1)T_b) \quad (4)$$

여기서  $d_I^1$ 과  $d_I^2$  및  $d_Q^1$ 과  $d_Q^2$ 는 I 채널 및 Q 채널의 정보 비트 데이터를 나타낸다.

ORC-OQ²PSK에서 펄스 정형으로 사용하는 펄스는 길이가 심볼 길이의 두 배인  $4T_b$ 이며, [11]에서는 다음 식과 같이 정의되는 RC(raised cosine) 및 SRC(squared raised cosine) 형태의 두 종류 펄스를 제안하고 있다.

$$q_{RC}(t) = \left[ \cos\left(\frac{\pi t}{4T_b}\right) \right]^2, \quad -2T_b \leq t \leq 2T_b \quad (5)$$

$$q_{SRC}(t) = \left[ \cos\left(\frac{\pi t}{4T_b}\right) \right]^4, \quad -2T_b \leq t \leq 2T_b \quad (6)$$

펄스 정형된 신호는 다음으로 Q²PSK 변조되어 전송된다. 즉 각 채널의 홀수 비트열 신호  $x_{I1}(t)$ 와  $x_{Q1}(t)$ 에는  $C(t) = \cos(\pi t/2T_b)$ 를 곱하고, 짝수 비트열 신

호  $x_{I2}(t)$ 와  $x_{Q2}(t)$ 에는  $S(t) = \sin(\pi t/2T_b)$ 를 곱하며, I 채널 신호는  $\cos 2\pi f_c t$ 로 변조하고 Q 채널 신호는  $\sin 2\pi f_c t$ 로 변조하여 전송한다. 송신 신호를 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} s_{ORC-OQ^2PSK}(t) &= s_{I1}(t) + s_{I2}(t) + s_{Q1}(t) + s_{Q2}(t) \\ &= \{x_{I1}(t)C(t) + x_{I2}(t)S(t)\} \cos 2\pi f_c t \\ &\quad + \{x_{Q1}(t)C(t) + x_{Q2}(t)S(t)\} \sin 2\pi f_c t \end{aligned} \quad (7)$$

## 2. OQ²PSK의 전력 스펙트럼 밀도

ORC-OQ²PSK의 전력 스펙트럼을 구하기 위해서는 펄스정형 필터의 특성을 살펴 볼 필요가 있다. 여기서 사용되는 펄스 정형 필터의 임펄스 응답은 길이가 심볼 길이  $2T_b$ 의 두 배이어서 중첩 펄스 정형되기 때문에 특정 심볼 구간의 펄스 정형 출력은 그 심볼뿐만 아니라 인접 심볼 데이터에 의해서도 영향을 받는다.

펄스 정형되어 반송파에 실려질 신호를 펄스 폭  $2T_b$  단위의 기본 펄스  $p(t)$ 로 표현해 보자. 기저대역 기본 펄스  $p(t)$ 는 인접한 세 개의 심볼 데이터에 의해 결정되므로 총 8 가지 파형이 가능하다. 펄스의 모양이 같으면서 부호만 반대인 파형이 2개씩 존재하므로 세 개

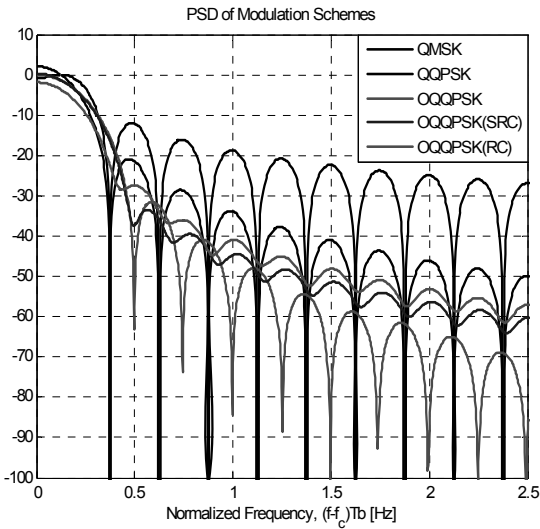


그림 2. RC 및 SRC 펄스로 펄스 정형한 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK의 PSD

Fig. 2. PSD of ORC-OQ<sup>2</sup>PSK with RC and SRC pulses.

의 심볼로 이루어진 펄스의 모양은 총 4가지라 할 수 있다. 4 가지의 기저대역 기본 펄스 파형을 각각  $p_1(t)$ ,  $p_2(t)$ ,  $p_3(t)$ ,  $p_4(t)$ 라 하면 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK의 PSD는 다음과 같이 근사화된다.

$$P_{ORC-OQ^2PSK}(f) \approx \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{|P_i(f)|^2}{4T_b} \quad (8)$$

여기서  $P_i(f)$ 는  $p_i(t)$ 의 푸리에 변환을 나타내며, 4 가지 펄스가 발생하는 통계적 확률은 동일하다고 가정하였다. 기본 펄스 파형은 [11]에 제시되어 있다.

그림 2에 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK의 PSD를 보인다. 비교를 위해 기존 OQ<sup>2</sup>PSK, QMSK, Q<sup>2</sup>PSK의 PSD가 같이 제시되어 있다. 결과를 살펴보면 RC 펄스를 사용한 경우 주엽의 폭은 약  $0.375/T_b$ 로 QMSK나 Q<sup>2</sup>PSK와 동일하면서 부엽의 크기가 대폭 억제되어 대역폭 효율이 더 높다. SRC 펄스를 사용한 경우 주엽의 폭은 약  $0.5/T_b$ 로 기존의 OQ<sup>2</sup>PSK와 유사하나 첫 번째 부엽의 크기가 더욱 억제되는 것을 관찰할 수 있다.

### 3. ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 신호의 복조

ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 신호는 OQ<sup>2</sup>PSK 수신기와 동일한 구조의 수신기를 사용하여 복조할 수 있다[11]. 펄스정형 필터의 임펄스 응답 모양과 길이가 OQ<sup>2</sup>PSK와 다르지

만  $C(t)$  및  $S(t)$ 를 곱함으로써 지연된 심볼과 지연되지 않은 심볼 간 간섭이 0이 되므로 OQ<sup>2</sup>PSK와 같은 수신기를 사용하여 복조하는 것이 가능하다. [11]에 제시된 결과에 의하면 AWGN 채널 환경에서 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK의 비트오율 성능은 BFSK와 동일하다.

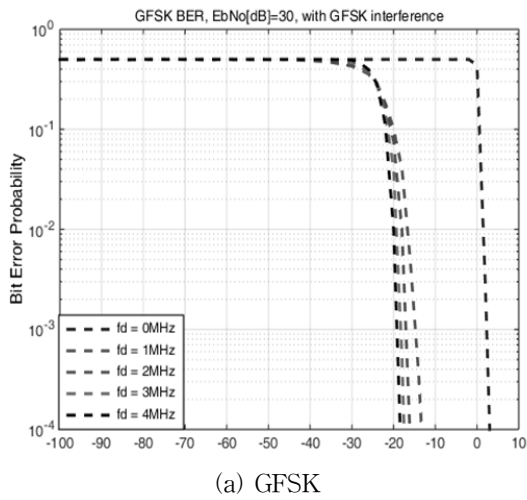
### III. 중심 주파수 이격에 따른 간섭의 영향

본 논문에서는 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 기반의 WPAN을 대상으로 하여 기기 간 상호 간섭의 영향을 물리계층 관점에서 분석한다. 인접 주파수 채널을 사용하는 기기의 간섭으로 인한 비트오율 성능 열화의 정도를 구하는데, 기존 Bluetooth와 같은 GFSK 기반 시스템과 결과를 비교한다. III장에서는 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 기기 간 반송파 주파수 이격에 따른 간섭의 영향을 살펴본 다음, IV장에서는 실내 무선 환경을 가정하고 인접 주파수 채널을 사용하는 간섭원과의 거리에 따른 영향을 분석한다.

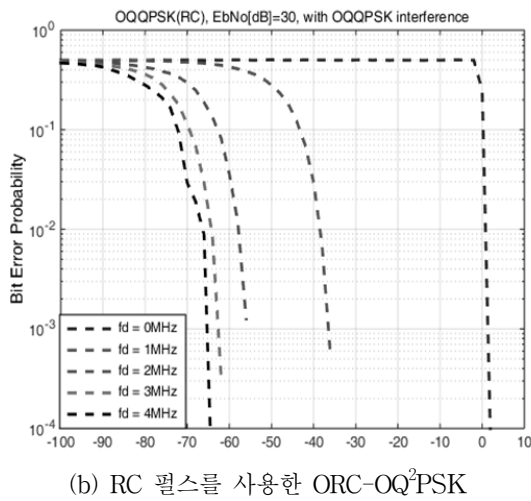
인접 채널을 사용하는 시스템으로부터의 간섭 영향을 분석하기 위하여 원하는 시스템과 간섭 시스템이 사용하는 주파수 채널의 간격을 변화시키면서 SIR(signal to interference ratio)에 따른 비트오율을 구하였다. 구체적으로 원하는 시스템과 간섭 시스템의 반송파 주파수의 이격을 0-4MHz로 변화시키면서 SIR에 따른 비트오율을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 측정하였다. 채널 환경은 AWGN 잡음만 있는 환경을 가정하였으며, 간섭의 영향을 분석하는 목적이므로  $E_b/N_0$ 는 충분히 큰 30 dB로 설정하였다.

그림 3에 시뮬레이션 결과를 보인다. 그림 3(a)는 GFSK 시스템의 경우이고, 그림 3(b)와 그림 3(c)는 각각 RC 펄스와 SRC 펄스를 사용하여 펄스 정형한 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 시스템의 경우이다. GFSK에서 Gaussian 필터의 정규화 대역폭은  $BT_b = 0.6$ 을 가정하였다. GFSK의 결과를 보면 반송파 주파수 차  $f_d$ 가 1 MHz인 경우  $10^{-3}$ 의 비트오율 성능을 얻으려면 -15 dB 이상의 SIR이 필요하다는 것을 알 수 있다. 또한 SIR이 -20 dB보다 작으면 주파수 채널을 충분히 떨어뜨려도  $10^{-3}$ 의 비트오율 품질을 얻기 어렵다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 채널 간격이 1 MHz인 Bluetooth WPAN에서 장치 간의 간섭 영향을 시사한다.

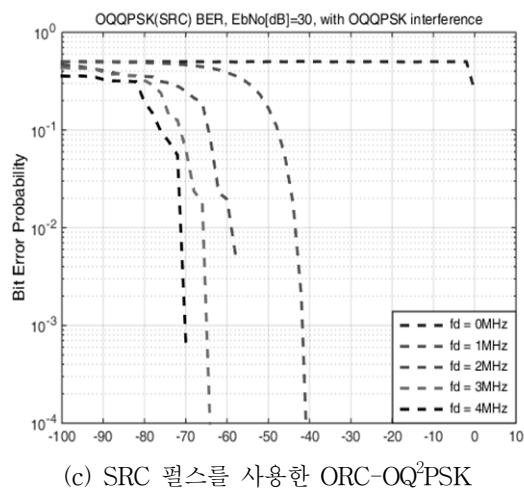
그림 3(b)와 (c)에 보인 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 시스템의 결과를 보면 GFSK 시스템에 비해 상호 간섭의 영향을 적게 받는 것을 확인할 수 있다.  $f_d = 1$  MHz인 경우



(a) GFSK



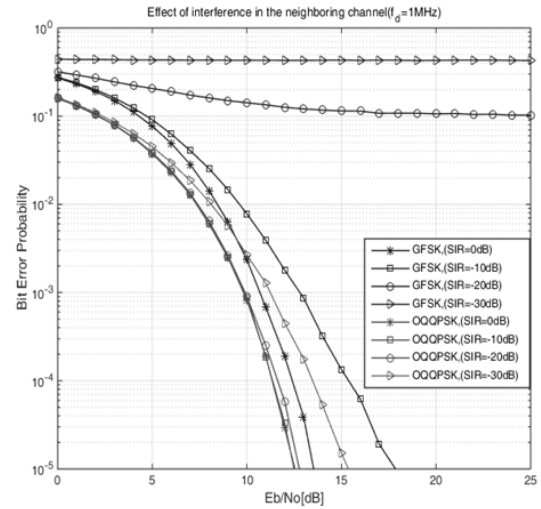
(b) RC 펄스를 사용한 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK



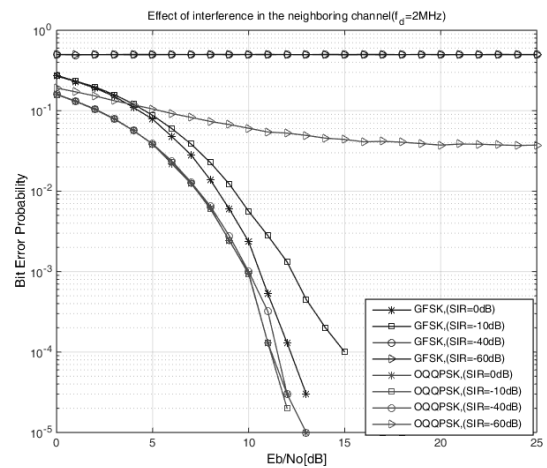
(c) SRC 펄스를 사용한 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK

그림 3. 반송파 주파수의 이격에 따른 간섭의 영향  
Fig. 3. Effect of interference versus carrier frequency separation.

$10^{-3}$ 의 비트오율을 얻기 위해 요구되는 SIR은 RC 펄스 기반 시스템은  $-37$  dB이고, SRC 펄스 기반 시스템은  $-42$  dB이다. GFSK 시스템과 비교하면 20 dB 이상



(a)  $f_d = 1$  MHz



(b)  $f_d = 2$  MHz

그림 4. 주어진 SIR 조건에서 음에 대한 비트오율 성능의 비교

Fig. 4. Comparison of BER performance under the given SIR condition.

차이가 나는 것을 볼 수 있다. ORC-OQ<sup>2</sup>PSK에서는 간섭원이 바로 인접한 채널에 있어도(즉  $f_d = 1$  MHz) 성능 열화가 크지 않다. 추가로, 그림 3의 결과를 보면  $f_d$ 가 클수록 주어진 성능을 얻기 위해 요구되는 SIR이 두 종류의 시스템 간 차이가 커지는 것을 알 수 있다.

그림 4에는 주어진 인접 채널 간섭 신호의 전력 조건에 대하여 AWGN 환경에서의  $E_b/N_0$  대비 비트오율을 측정된 결과를 보인다. 그림 4(a)는 시스템 간의 주파수 차이가  $f_d = 1$  MHz인 경우를 보이며, 그림 4(b)는 주파수 차이가  $f_d = 2$  MHz인 경우를 보인다. 그림 4(a)를 보면  $f_d = 1$  MHz인 경우 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 기반 시스템은  $10^{-4}$ 의 비트오율 성능이 얻어지기 위해서는 SIR이

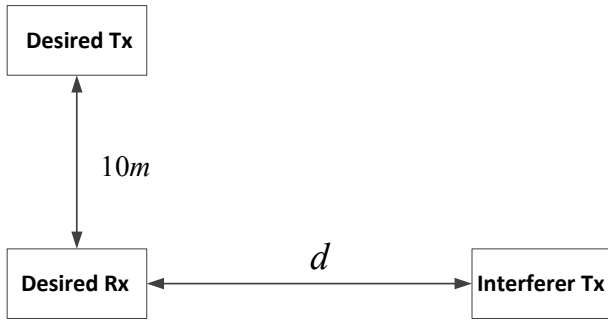


그림 5. 간섭 분석 모델

Fig. 5. Interference analysis model.

-10 dB인 간섭 조건에서 약 11 dB의  $E_b/N_0$ 가 요구되지만, GFSK 기반 시스템의 경우에는 SIR이 0 dB인 더 유리한 간섭 조건에서도 12 dB 이상의  $E_b/N_0$ 가 요구된다. SIR이 -20 dB 이하인 환경에서 GFSK 시스템은 성능이 심각하게 열화되는 것을 볼 수 있다. 그림 4(b)는  $f_d = 2$  MHz인 경우를 보이는데, GFSK의 경우  $10^{-4}$ 의 성능을 얻기 위해서는 SIR이 -10 dB인 간섭 조건에서 약 15 dB의  $E_b/N_0$ 가 필요하지만, ORC-OQ<sup>2</sup>PSK의 경우 약 11 dB의  $E_b/N_0$ 가 필요하다. ORC-OQ<sup>2</sup>PSK의 경우 SIR이 -60 dB보다 작아지면서부터 성능이 떨어지는 데 비해 GFSK의 경우에는 SIR이 -40 dB만 되어도 시스템이 전혀 동작하지 않는다는 것을 알 수 있다.

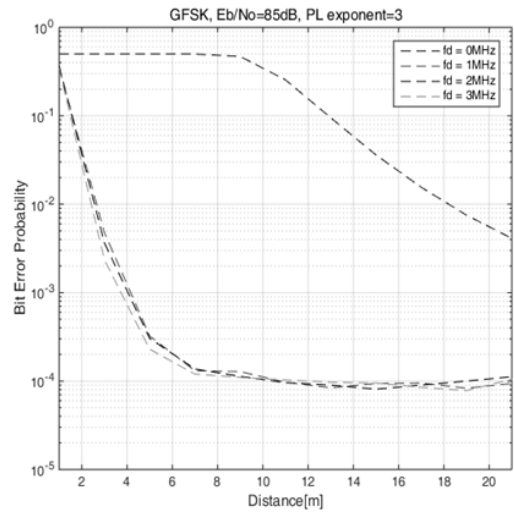
그림 3과 그림 4에 보인 결과가 의미하는 것은 다수의 기기들이 동시에 작동하는 환경에서 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 기반의 무선 네트워크가 GFSK 기반의 무선 네트워크에 비해 기기 간 간섭의 영향을 적게 받는다는 것이다.

#### IV. 간섭원과의 거리에 따른 간섭의 영향

앞 장에서는 인접 채널에 존재하는 간섭 신호의 영향을 수신 SIR에 따라 분석하였다. 이번 장에서는 실내 무선 환경을 가정하고, 인접 주파수 채널을 사용하는 간섭원과의 거리에 따른 영향을 분석한다.

그림 5에 간섭 분석 모델을 보인다. 이러한 조건은 동일한 공간에 여러 개의 WPAN이 동시에 작동하는 환경에서 발생할 수 있다. 간섭원 장치가 다른 네트워크에 속한다면 원하는 송수신기와 동일한 시간 슬롯에서 데이터를 전송할 수도 있을 것이다. 간섭원이 원하는 송수신기와 다른 주파수 채널을 사용하더라도 인접한 채널을 사용하는 경우, 떨어진 거리에 따라 다르지만 영향을 미칠 수 있음을 보이고자 한다.

그림 5의 모델에서 원하는 시스템의 송수신기 간 거



(a) GFSK

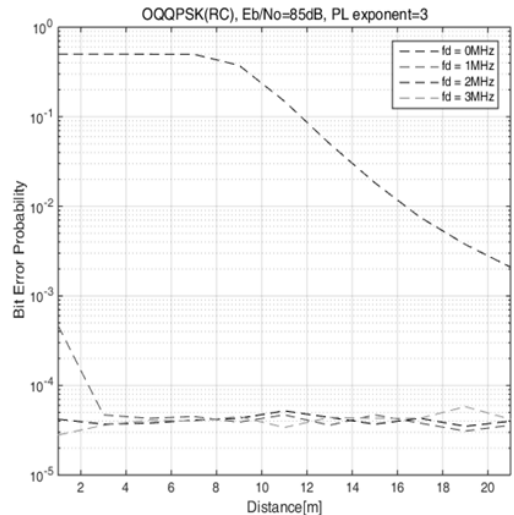
(b) ORC-OQ<sup>2</sup>PSK

그림 6. 거리에 따른 간섭의 영향

Fig. 6. Effect of interference depending on the distance.

리는 10m로 고정시키며, 간섭 시스템의 송신기와의 거리  $d$ 는 1m ~ 20m로 변화시키면서 비트오율을 측정한다. 송신기의 전력은 모두 10 mW로 고정하며, 원하는 시스템과 간섭 시스템의 반송파 주파수 차  $f_d$ 는 1 ~ 3MHz의 경우를 고려한다. 주파수대는 2.4 GHz를 가정하였으며, 송수신 안테나의 이득은 1로 가정하였다. 실내 무선 채널 환경을 고려하여 경로손실 지수는  $n = 3$ 을 가정하였다. 잡음에 대한 조건으로 송신  $E_b/N_0$ 를 85 dB로 설정하였다.

그림 6에 시뮬레이션 수행 결과를 보인다. GFSK나 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 시스템 공통으로, 간섭원이 동일한 주파수를 사용하는 경우 간섭원이 충분히 떨어져 있어야 성능에 영향을 미치지 않는다. ORC-OQ<sup>2</sup>PSK의 경우  $d$ 가

16m 이상 떨어져야 비트오율이  $10^{-2}$  이하로 감소하며, GFSK의 경우 18m 이상 떨어져야 비트오율이  $10^{-2}$  이하로 감소한다. 간섭원이  $f_d = 1MHz$  만큼 이격된 주파수 채널을 사용하는 경우  $10^{-4}$ 의 비트오율이 얻어질 조건은 GFSK는  $d$ 가 10m 이상이어야 하는데 비해 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK는 2m 이상만 되면 충족된다.  $f_d$ 가 2MHz 이상만 되면 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK에서는  $d$ 가 1m만큼 떨어진 거리에서도  $10^{-4}$ 의 비트오율이 얻어진다. 반면 GFSK에서는  $f_d$ 가 2MHz인 경우  $f_d = 1MHz$ 와 큰 차이를 보이지 않는다. 시뮬레이션 결과에서 관찰할 수 있는 다른 측면은 GFSK의 경우 주파수 채널 간격보다는 공간상 거리가 간섭 영향에 있어 더 주요하게 작용하며, ORC-OQ<sup>2</sup>PSK의 경우에는 공간적 거리보다는 주파수 채널이 더 주요하게 작용한다는 것이다.

이상의 분석 결과를 정리하면, ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 기반의 시스템이 GFSK 기반의 시스템에 비하여 상호 간섭의 영향을 적게 받는다고 할 수 있다. 따라서 실내 밀집한 공간에 다수의 네트워크가 동작하는 WPAN 환경을 구축하기 위해서는 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 변조를 사용하는 것이 유리하다.

## V. 결 론

본 논문에서는 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 변조 기반의 WPAN에 대하여 기기 간 간섭의 영향을 분석하였으며, 기존 GFSK 변조 기반의 WPAN과 비교하였다. 동일한 공간에서 여러 WPAN이 동작하는 환경에서 간섭원이 다른 주파수 채널을 사용하더라도 그 영향을 무시할 수 없으며, 특히 실내 무선 환경에서는 간섭원이 가깝게 위치한 경우 변조 방식에 따라 성능에 심각한 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. GFSK 기반의 WPAN에 비해 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK 기반의 WPAN이 기기 간 간섭의 영향을 적게 받는다는 결과가 얻어졌다. 분석된 결과는 밀집 공간에 다수의 네트워크가 동작하는 WPAN을 구축하는데 적용할 변조 방식으로 ORC-OQ<sup>2</sup>PSK의 선택에 타당성이 있음을 의미한다.

## REFERENCES

[1] D. Saha and T. G. Birdsall, "Quadrature-quadrature phase shift keying," IEEE Trans. on Comm., vol. 37, no.5, pp. 437-448, May 1989.  
[2] S. Pasupathy, "Minimum shift keying: A

spectrally efficient modulation," IEEE Comm. Mag., vol. 17, no. 4, pp. 14-22, July 1979.  
[3] C-E. Sundberg, "Continuous phase modulation," IEEE Comm. Mag., vol. 24, no. 4, pp. 25-38, Apr. 1986.  
[4] S. A. Gronemeyer and A. L. McBride, "MSK and offset QPSK modulation," IEEE Trans. on Comm., vol. COM-24, pp. 809-802, Aug. 1976.  
[5] R. E. Ziemer and C. R. Ryan, "Minimum-shift keyed modem implementations for high data rates," IEEE Comm. Mag., vol. 21, no. 7, pp. 28-37, Oct. 1979.  
[6] K. Murota and K. Hirade, "GMSK modulation for digital mobile radio telephony," IEEE Trans. Comm., vol. COM-29, pp. 1044-1050, Jul. 1981.  
[7] S. M. Ryu and C. K. Un, "A new data modulation method based on sinusoidal orthogonal waveforms and its applications," Ph.D. thesis, KAIST, Korea, 1985.  
[8] J. S. Han and M. J. Kim, "Quadrature multiplexed Gaussian minimum shift keying," in Proc. Int. Conf., on ICT Convergence 2012(ICTC 2012), Jeju, Korea, Oct. 2012.  
[9] J. S. Han and M. J. Kim, "BER Error Probability and Power Spectral Density of Quadrature Multiplexed GMSK," in Proc. Int. Conf., on ICT Convergence 2013(ICTC 2013), Jeju, Korea, Oct. 2013.  
[10] J. S. Han and M. J. Kim, "Offset Quadrature-Quadrature Phase Shift Keying with Half-Sine Pulse Shaping," in Proc. Int. Conf., on ICT Convergence 2013(ICTC 2013), Jeju, Korea, Oct. 2013.  
[11] S. Y. Jeon and M. J. Kim, "OQ<sup>2</sup>PSK Modulation with Overlapped Raised-Cosine Pulse Shaping," Journal of IEIE, vol. 52, no. 1, Jan. 2015.

## — 저 자 소 개 —



전 상 엽(학생회원)  
 2012년 한국외국어대학교 정보통신공학과 학사 졸업.  
 2016년 한국외국어대학교 정보통신공학과 석사 졸업.  
 <주관심분야 : WPAN, 통신신호처리, 무선통신, 무선측위>



김 명 진(정회원)  
 1982년 서울대학교 제어계측 공학과 학사 졸업.  
 1984년 서울대학교 제어계측 공학과 석사 졸업.  
 1992년 University of Minnesota, 전기공학과 박사 졸업.  
 1996년~현재 한국외국어대학교 정보통신공학과 교수  
 <주관심분야 : WPAN, 무선통신, 통신신호처리>