

논문 2008-45TC-3-3

# Coherent IR-UWB 시스템을 위한 펄스 반복 전송 기반의 선택적 검출 기법

( Pulse Repetition Based Selective Detection Scheme  
for Coherent IR-UWB Systems )

김 세 권\*, 김 재 운\*, 신 요 안\*\*

( Sekwon Kim, Jaewoon Kim, and Yoan Shin )

## 요 약

본 논문에서는 Coherent 임펄스 라디오-초광대역 (Impulse Radio-Ultra Wide Band; IR-UWB) 시스템에서 복잡도와 비트 오율 (Bit Error Rate; BER) 성능을 모두 고려하기 위한 펄스 반복 전송 기반의 선택적 검출 기법을 제안한다. 우선 제안된 기법은 시스템의 복잡도를 고려하기 위해, Coherent IR-UWB 송신기에서는 매우 간단한 시간 다이버시티 알고리즘인 일반적인 PRC (Pulse Repetition Coding)와 동일하게 UWB 신호를 반복 전송하게 된다. 하지만, 제안된 기법은 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시키기 위해, Coherent IR-UWB 수신기에서는 반복 전송되어 수신된 신호의 신호대잡음비 (Signal-to-Noise Ratio)를 추정하여 선택적으로 신호 검출을 수행한다. 그러므로, 제안된 기법은 일반적인 PRC 알고리즘과 비교하여 시스템의 복잡도를 거의 증가시키지 않고 Coherent IR-UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시킨다.

## Abstract

We propose a selective detection scheme based on pulse repetition considering the BER (Bit Error Rate) performance and complexity of coherent IR-UWB (Impulse Radio-Ultra Wide Band) systems. To take system complexity into account, the proposed scheme transmits the UWB signals by pulse repetition at the transmitter, like conventional PRC (Pulse Repetition Coding). However, to effectively improve BER performance of the system, the proposed scheme performs selective detection by estimating the SNR (Signal-to-Noise Ratio) of the received pulse-repeated signal at the UWB receiver. Hence, the proposed scheme effectively improves BER performance of the coherent IR-UWB systems without increasing system complexity, as compared to the conventional PRC algorithm.

**Keywords :** UWB, Selective Detection, Pulses Repetition, Impulse Radio, Coherent Receiver.

## I. 서 론

2002년 4월 미국 연방통신위원회 (Federal Communication Commission; FCC)의 주파수 할당 및 상업화승인 이후 초광대역 (Ultra Wide Band; UWB)<sup>[1]</sup> 통신기술에 대한 연구와 개발이 전 세계적으로 활발히 진행

되고 있다. 특히 초고속 W-PAN (Wireless Personal Area Network)용 UWB 표준화를 담당하는 IEEE 802.15.3a<sup>[2]</sup>와 더불어, 무선 측위 기능까지 수반하는 저속 저전력 W-PAN용 UWB 표준화 그룹인 IEEE 802.15.4a<sup>[3]</sup>를 중심으로 관련 업체들이 경쟁적인 UWB 연구 개발 대열에 적극 참여하고 있는 상황이다<sup>[4]</sup>.

연속적인 정현파를 사용하는 기존의 무선통신 시스템과는 달리, 전형적인 임펄스 라디오 (Impulse Radio; IR)-UWB 시스템 송신단에서는 1 nsec 내외의 매우 좁은 폭을 갖는 펄스 혹은 가우시안 모노사이클 펄스 (Gaussian Monocycle Pulse)를 단속적으로 전송한다<sup>[5]~[7]</sup>. 이 때문에 IR-UWB 시스템은 수백 MHz~수 GHz의

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 숭실대학교  
정보통신전자공학부  
(School of Electronic Engineering, Soongsil University)  
※ 본 논문은 서울지방중소기업청 산학연 협력사업 사업 (과제번호 00023135)의 지원으로 이루어짐  
접수일자: 2008년 3월 19일, 수정완료일: 2008년 3월 19일

대역에 걸쳐 매우 낮은 전력의 초광대역 특성 및 간섭 특성을 갖게 되고, 높은 채널 용량과 데이터 전송율을 지원하며 다중경로에 대한 세밀한 분해가 용이하므로 오차가 수십 cm 이내의 정밀한 무선측위가 가능해진다<sup>[7]</sup>.

이들 장점에도 불구하고, UWB 수신기에서는 많은 수의 다중경로 성분과 AWGN에 의해 왜곡된 수신 UWB 신호를 재결합하는 것은 매우 어렵기 때문에 IR-UWB 시스템은 주어진 채널 환경에 상당히 민감하다고 할 수 있다. 또한, 수신된 UWB 신호의 순시적인 신호대잡음비 (Signal-to-Noise; SNR)는 각 비트 혹은 심벌에 따라 AWGN (Additive White Gaussian Noise)에 의해 랜덤하게 변화된다. 더욱이, UWB 송수신기의 구현에 있어서 시스템 계층뿐만 아니라 링크 계층에서도 저복잡도, 저전력, 작은 칩 크기, 패이딩에 대한 강인성 등은 필수적으로 고려되어야 한다<sup>[8]</sup>. 따라서 UWB 시스템의 복잡도와 비트오율 (Bit Error Rate; BER) 성능을 모두 고려하여 왜곡된 수신 UWB 신호를 효과적으로 재결합하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 Coherent IR-UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시키기 위한 코딩 및 신호 검출 기법을 제안하고자 한다. 이를 위해, 본 논문에서는 IEEE 802.15.4a 다중경로 채널 모델<sup>[9]</sup>을 고려하였고, Coherent IR-UWB 시스템에 널리 사용되고 있는 BPM (Bi-Phase Modulation), PPM (Pulse Position Modulation) 그리고 OOK (On-Off Keying) 변복조 방식<sup>[10]</sup>을 사용하였다. 일반적으로, 무선 통신 시스템에서는 BER 성능을 효과적으로 향상시키기 위해 블록 코드와 트렐리스 코드와 같은 채널 코딩 기법을 사용한다<sup>[11]</sup>. 예를 들어, 길쌈부호화기 (Convolutional Code)는 가장 일반적으로 사용되는 채널 코딩 알고리즘 중 하나이지만, 길쌈부호화기를 사용하는 무선 통신 시스템의 복잡도는 부호율 (Code Rate)과 구속장 (Constraint Length)에 따라 급격히 증가하게 된다<sup>[11]</sup>.

이에, 본 논문에서는 Coherent IR-UWB 시스템의 복잡도와 BER 성능을 모두 고려하기 위해 펄스 반복 전송 기반의 선택적 검출 기법을 제안한다. 제안된 기법은 시스템의 복잡도를 고려하기 위해, Coherent IR-UWB 송신기에서는 매우 간단한 시간 다이버시티 알고리즘인 일반적인 PRC (Pulse Repetition Coding)<sup>[12]</sup>~<sup>[13]</sup>와 동일하게 UWB 신호를 반복 전송하게 된다. 그러나 제안된 기법은 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시키기 위해, Coherent IR-UWB 수신기에서는 일

반적인 PRC 알고리즘과는 달리 반복 전송되어 수신된 신호의 SNR을 추정하여 선택적으로 신호 검출을 수행한다. 따라서 제안된 기법은 일반적인 PRC 알고리즘과 비교하여 시스템 복잡도의 큰 증가 없이 Coherent IR-UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있게 된다.

## II. Coherent IR-UWB 시스템

### 1. 다중경로 채널에서 UWB 신호와 송신기

전형적인 Coherent IR-UWB 시스템 송신단에서 다음과 같은 가우시안 모노사이클 펄스  $p(t)$ 를 수신단으로 전송한다고 가정한다<sup>[6]</sup>.

$$p(t) = 2A \sqrt{\pi} e^{\left(\frac{t}{\tau_p}\right)^2} e^{-2\pi(t/\tau_p)^2} \quad (1)$$

여기서  $A$ 는 펄스의 크기를 나타내는 상수이고,  $\tau_p$ 는 펄스폭을 결정하는 파라미터이다. 식 (1)의 전송 펄스  $p(t)$ 가 송신단 및 수신단 안테나의 미분 특성에 의한 영향을 받으면, 수신단의 에너지 원도우 뱅크에는 이 펄스를 미분한 형태의 새로운 펄스가 입력된다. “수신 단 에너지 원도우 뱅크에 입력되는 펄스  $w(t)$ 는 다음 식과 같이 표현될 수 있다”<sup>[6]</sup>.

$$w(t) = A' \left(1 - \frac{4\pi t^2}{\tau_p^2}\right) e^{-2\pi(t/\tau_p)^2} \quad (2)$$

위 식에서  $A'$ 은 크기를 나타내는 적절한 상수이다.

한편, 송신단에서 사용되는 변조 방식은 Coherent IR-UWB 수신기에서 용이하게 검출할 수 있도록 신호를 발생시켜야 한다. 이에, 본 논문에서는 Coherent IR-UWB 시스템에 널리 이용되고 있는 BPM, PPM 그리고 OOK 변복조 방식<sup>[10]</sup>을 고려하였다. 이들 방식에 의해 변조된 전송 신호는 다음과 같다<sup>[6, 10]</sup>.

$$s_{BPM}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_j \cdot w(t-jT_f) \equiv \sum_{j=-\infty}^{\infty} s_{BPM,j}(t) \quad (3)$$

$$s_{PPM}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} w(t-jT_f - b_j \Delta_T) \equiv \sum_{j=-\infty}^{\infty} s_{PPM,j}(t) \quad (4)$$

$$s_{OOK}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} b_j \cdot w(t-jT_f) \equiv \sum_{j=-\infty}^{\infty} s_{OOK,j}(t) \quad (5)$$

여기서  $b_j \in \{0, 1\}$ 은 2진 심벌이고,  $c_j$ 는  $2b_j - 1$ 이다.  $w(t)$ 는 펄스폭이  $T_p$ 인 가우시안 모노사이클 펄스<sup>[6, 10]</sup>

가 송수신단 안테나 특성에 의해 미분된 형태로 수신되는 펄스를 나타내며,  $T_f$ 는 각 데이터 심벌을 위한 프레임 구간을 의미한다. 또한,  $\Delta_T$ 는 PPM 변복조 방식의 데이터 심벌  $b_j$ 에 따라 펄스의 위치를 결정하는 오프셋이다.

일반적인 UWB 다중경로 채널 모델은 전형적으로 탭 지연선 (Tap-Delay-Line) 모델링<sup>[14]</sup>을 기반으로 하며, 이 채널 임펄스 응답 함수  $h(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$h(t) = \sum_{\ell=0}^{L-1} \alpha_\ell \delta(t - \tau_\ell) \quad (6)$$

여기서  $L$ 은 다중경로 성분의 수를 나타내며,  $\alpha_\ell$ 는  $\ell$ 번째 경로의 신호 크기를 나타낸다. 또한,  $\tau_\ell \equiv \tau_0 + i T_m$ 은  $\ell$ 번째 경로의 시간 지연이고, 여기서  $T_m$ 은 다중경로 성분을 분해할 수 있는 최소 시간을 의미하며,  $\tau_0$ 는 송수신기간 거리로 인한 전송 시간 지연이며, 전체 프레임 구간  $T_f$  내에서 균일하게 분포한다고 가정하였다. 그리고 본 논문에서는 수신 신호 사이의 부분적인 상관 (Partial Correlation)을 피하기 위해 펄스폭  $T_p$ 와  $T_m$ 을 동일하게 설정하였다<sup>[14]</sup>. 이 때, UWB 다중경로 채널로부터 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$r_{BPM}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{\ell=0}^{L-1} \alpha_\ell \cdot c_j \cdot w(t - jT_f - \tau_\ell) + n(t) \quad (7)$$

$$r_{PPM}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{\ell=0}^{L-1} \alpha_\ell \cdot w(t - jT_f - b_j \Delta_T - \tau_\ell) + n(t) \quad (8)$$

$$r_{OOK}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{\ell=0}^{L-1} \alpha_\ell \cdot b_j \cdot w(t - jT_f - \tau_\ell) + n(t) \quad (9)$$

여기서  $n(t)$ 는 AWGN을 나타낸다.

## 2. Coherent 수신기

Coherent IR-UWB 시스템은 수신 신호의 복조 및 검출을 위해 일반적으로 상관기 (Correlator) 기반의 Rake 방식의 수신기<sup>[10]</sup>를 사용하며,  $j$ 번째 심벌의 복조를 위한 참조 신호는 다음과 같이 산출된다.

$$v_j(t) = s_j^{(1)}(t) - s_j^{(0)}(t) \quad (10)$$

여기서  $s_j^{(0)}(t)$ 와  $s_j^{(1)}(t)$ 는 각각  $j$ 번째 2진 심벌 0 혹은 1에 대한 BPM, PPM, OOK에 의해 각각 변조된 송

신 신호를 나타낸다.

Rake 수신기의  $m$ 번째 Finger의 상관기 출력  $z_{j,m}$ 은 다음 식을 통해 계산된다.

$$z_{j,m} = \int_{jT_f + mT_p}^{jT_f + (m+1)T_p} r(t)v_j(t)dt \quad (11)$$

여기서  $m$ 은 0에서  $L-1$ 사이의 값이다. 데이터 검출을 위해, Coherent IR-UWB 시스템은 Rake 수신기에서 Finger 수  $F$ 에 따라 상관기 출력값  $z_{j,m}$ 을 다음과 같이 합산한다.

$$\Psi_j = \sum_{m=1}^F \alpha_m \cdot z_{j,m} \quad (12)$$

여기서  $\alpha_m$ 은 Rake 수신기의 최대비 결합 (Maximum Ratio Combining)을 위한 가중치 성분이다.

본 논문에서는 다중경로 성분을 효과적으로 결합하기 위해 S (Selective)-Rake 방식의 수신기를 사용하였으며, 채널 추정은 본 논문에서의 주된 이슈가 아니므로 채널의 임펄스 응답  $h(t)$ 는 완벽히 추정되었다고 가정하였다. 그리고 신호의 검출을 위해 ML (Maximum Likelihood) 검출기를 고려였으며, 이 검출기의 데이터 결정 방식은 다음과 같다.

$$\hat{b}_j = \begin{cases} 0, & \text{if } \Psi_j \geq T_H \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

여기서  $T_H$ 는 데이터 결정을 위한 임계값 (Threshold)을 나타내며, BPM과 PPM 변조일 경우에는 0이고, OOK 변조일 경우 본 논문에서는 채널이 이상적으로 완벽히 추정되었다고 가정하였으므로 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$T_{H, OOK} = \int_0^{T_p} w^2(t)dt \times \sum_{m=1}^F \alpha_m^2 \quad (14)$$

## III. 펄스 반복 전송 기반의 제안된 선택적 결합 기법

일반적으로 UWB 수신기에서는 많은 수의 다중경로 성분과 AWGN에 의해 왜곡된 수신 UWB 신호를 재결합하는 것은 매우 어렵기 때문에 IR-UWB 시스템은 주어진 채널 환경에 상당히 민감하다고 할 수 있다. 또한, 실제로 수신된 UWB 신호의 순시적인 SNR은 각 비트

혹은 심벌에 따라 AWGN에 의해 랜덤하게 변화된다. 따라서 IR-UWB 시스템의 복잡도와 BER 성능을 고려하여 왜곡된 수신 UWB 신호를 효과적으로 재결합하는 것이 중요하고 할 수 있다. 본 논문에서는 Coherent IR-UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시키기 위해 코딩 및 검출 기법을 제안하고자 한다.

제안된 기법과의 비교를 위해 우선 본 논문에서는 매우 간단한 시간 다이버시티 알고리즘인 PRC 알고리즘을 소개한다. 이 PRC (혹은 반복 코드)는 BER 성능을 향상시키기 위해  $R$ 개의 동일한 비트들을 반복적으로 전송하는 ( $R,1$ ) 코딩 알고리즘이며, 여기서  $R$ 은 부호화된 (Coded) 비트 혹은 반복된 펄스의 수를 나타낸다. 따라서 반복 코드 부호화기 (Encoder)는 펄스 변조기에서 특정 비트 혹은 심벌을  $R$ 번 반복하여 전송하는 간단한 장치이다. 또한, 반복 코드 복호화기 (Decoder)는 과반수 논리 (Majority Logic) 검출을 통해 반복 전송되어 수신된  $R$ 개의 비트열에서 가장 많이 발생된 비트를 송신된 비트로 선택하게 된다. 예를 들어, (3,1) 반복 코드를 사용하면 송신 비트열  $m_{PRC} = \{0,1,0\}$ 는  $C_{PRC} = \{000,111,000\}$ 로 부호화되어 전송된다. 한편, 수신단에서 복조된 비트열  $r_{PRC}$ 가  $\{001,011,110\}$ 일 경우, 복호화기는  $\hat{m}_{PRC} = \{0,1,1\}$ 로 복호화한다<sup>[12]~[13]</sup>.

이러한 PRC 알고리즘을 사용하는 Coherent IR-UWB 시스템은 시스템의 복잡도가 크게 증가하지는 않지만, 전송률 (Data Rate) 감소율에 의해 BER 성능 이득이 크지 않은 단점이 있다<sup>[13]</sup>. 반면, Coherent IR-UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시키기 위해 길쌈부호화기가 사용될 수 있지만, 이 코드는 부호율과 구속장에 따라 복잡도가 급격히 증가하게 된다. 따라서 저복잡도와 저가를 목표로 하는 UWB 시스템의 주요 적용 분야를 고려해 볼 때, 시스템의 복잡도는 크게 증가하지 않으면서도 효과적으로 BER 성능을 향상시킬 수 있는 기법이 필히 요구된다고 할 수 있다.

이에, 본 논문에서는 Coherent IR-UWB 시스템의 복잡도와 BER 성능을 모두 고려하기 위해 펄스 반복 전송 기반의 선택적 검출 기법을 제안한다. 제안된 기법은 시스템의 복잡도를 고려하기 위해, Coherent IR-UWB 송신기에서는 매우 간단한 시간 다이버시티 알고리즘인 일반적인 PRC (Pulse Repetition Coding)<sup>[12]~[13]</sup>와 동일하게 UWB 신호를 반복 전송하게 된다. 그러나 제안된 기법은 시스템의 BER 성능을 효과적으로

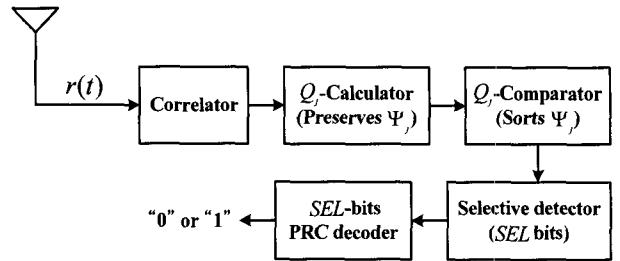


그림 1. 제안된 기법 기반의 Coherent IR-UWB 시스템의 수신기 구조

Fig. 1. Receiver structure of a coherent IR-UWB system based on the proposed scheme.

향상시키기 위해, Coherent IR-UWB 수신기에서는 일반적인 PRC 알고리즘과는 달리 반복 전송되어 수신된 신호의 SNR을 추정하여 선택적으로 신호 검출을 수행한다.

실제로, UWB 다중경로 채널에서 수신된 신호는 가우시안 모노사이클 펄스의 폭이 매우 짧으므로 많은 수의 다중경로 성분에 의해 확산된 형태로 들어오게 된다. 게다가, 반복 코드를 사용하여 동일한 비트 혹은 심벌이 반복 전송될 경우일지라도, 각 비트 혹은 심벌에 대해 측정된 수신 UWB 신호의 순시적인 SNR 값은 AWGN의 시변 (Time-Varing) 특성에 의해 매우 랜덤하게 변동된다.

따라서 펄스 반복 전송 기반으로 Coherent IR-UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시키기 위해, 제안된 기법은 그림 1에서 도시한 바와 같이 반복 전송되어 수신된 신호의 SNR을 추정하여 신호를 선택적으로 검출한다.

그림 1에서는 펄스 반복 전송 기반의 선택적 검출 기법의 처리 절차에 대해 도시하고 있다. 우선, 제안된 기법은 식 (12)를 통해 계산한  $\Psi_j$ 를 이용해서 추정된 신호의 Quality 값  $Q_j$ 를 다음 식을 통해 계산한다.

$$Q_j = |\Psi_j|, j = 1, \dots, R \quad (15)$$

다음으로 제안된 기법은 변복조 방식에 따라 다음과 같이 비교기를 통해서 계산된  $Q_j$ 를 비교한다.

### (1) BPM과 PPM 수신기를 위한 비교기

비교기는  $R$ 번 반복 전송되어 수신된 UWB 신호들에 대해  $Q_j$  값을 큰 크기 순서대로 정렬하고,  $\Psi_j$ 의 값을 이와 대칭되는 순서로 저장한다.

## (2) OOK 수신기를 위한 비교기

우선, Coherent OOK 수신기는  $R$ 번 반복 전송되어 수신된 UWB 신호들에 대해  $\Psi_j$ 의 평균값  $\bar{\Psi}$ 을 계산한다. 다음으로  $\bar{\Psi}$ 가  $T_{H,OOK}$ 보다 크다면 비교기는 큰 크기 순서대로  $Q_j$  값을 정렬하고,  $\Psi_j$ 의 값을 이와 대칭되는 순서로 저장한다. 이와는 달리  $\bar{\Psi}$ 가  $T_{H,OOK}$ 보다 작다면 비교기는 작은 크기 순서대로  $Q_j$  값을 정렬하고,  $\Psi_j$ 의 값을 이와 대칭되는 순서로 저장한다.

마지막으로, 선택적 검출기는 비교기에 의해 정렬된 순서에 따라 선택된  $j$ 번째 프레임에서 심벌 검출을 수행한다. 여기서 선택된 심벌 프레임의 수는  $SEL$  ( $\leq R$ )로 정의된다. 이와 같이, 만약  $SEL$ 이 1이라면  $Q_j$ 가 가장 큰  $j$ 번째 프레임 하나만 선택하여 신호 검출을 수행한다. 그리고  $SEL$ 이  $R$ 이라면 제안된 기법은 일반적인 PRC 알고리즘과 같이 신호 검출을 수행한다. 즉, 제안된 기법은 반복 전송되어 수신된 펄스의 평균 SNR이 가장 큰  $SEL$ 개의 프레임을 선택하여 신호 검출을 수행한다.

표 1에서는 요구되는 메모리의 수와 처리단 측면에서 제안된 기법과 일반적인 PRC 알고리즘의 복잡도를 비교하여 정리하고 있다. 단, 제안된 기법은  $SEL = 1$  일 경우에 메모리와 PRC 복잡도를 필요하지 않다. 그러므로 제안된 기법은 시스템의 복잡도의 큰 증가 없이 Coherent IR-UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시킬 것으로 기대할 수 있다.

본래 변조 기법의 비부호화된 (Uncoded) BER 성능은 다음과 같이 계산된다.

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\chi \cdot SNR_r) \quad (16)$$

표 1. Coherent IR-UWB 시스템을 위한 제안된 기법과 일반적인 PRC 알고리즘의 수신단 복잡도 비교

Table 1. Comparison of receiver complexity between the proposed scheme and the conventional PRC for coherent IR-UWB systems.

	일반적인 PRC	제안된 기법
요구되는 메모리	$R$	$3R + SEL$
요구되는 처리단	$R$ -비트 PRC 복호기	$Q_j$ -계산기 $Q_j$ -비교기 $SEL$ -비트 PRC 복호기

여기서  $\operatorname{erfc}(z) \approx 2/\sqrt{\pi} \int_z^\infty e^{-x^2} dx$ 이고,  $\chi$ 는 각 번조 기법이 BER 성능에 영향을 미치는 성분이며,  $SNR_r$ 은 수신된 모든 UWB 신호에 대한 평균 SNR을 나타낸다. 만약, 비부호화된 BER  $P_e$ 이 주어진 상태에서  $R$  반복인 일반적인 PRC 알고리즘이 사용된다면, 부호화된 BER  $P_{e,PRC}$ 는 다음과 같이 얻게 된다.

$$P_{e,PRC} = \sum_{i=(R+1)/2}^R \binom{R}{i} P_e^i (1-P_e)^{R-i} \quad (17)$$

여기서  $\binom{R}{i} = R!/i!(R-i)!$ 이다.

유사한 방법으로, 제안된 기법에서 선택된 심벌 프레임에 대한 비부호화된 BER  $P_{e,S}$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{e,S} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\chi \cdot SNR_{r,SEL}) \quad (18)$$

여기서  $SNR_{r,SEL}$ 은 선택된 심벌 프레임의 평균 SNR이다. 그러므로 제안된 기법의 부호화된 BER  $P_{e,Prop}$ 은 다음과 같이 계산될 수 있다.

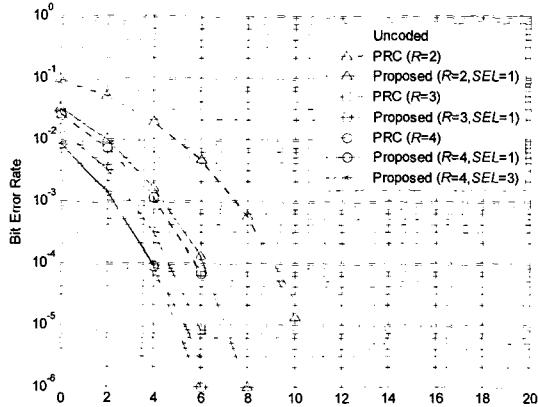
$$P_{e,Prop} = \sum_{i=(SEL+1)/2}^{SEL} \binom{SEL}{i} P_{e,S}^i (1-P_{e,S})^{SEL-i} \quad (19)$$

Coherent IR-UWB 수신기에서, 제안된 기법은 펄스 반복 전송되어 수신된 신호 중에 가장 큰 평균 SNR을 가진  $SEL$ 개의 프레임을 선택하여 검출을 수행하기 때문에  $SNR_{r,SEL} > SNR_r$ 이 보장된다. 또한,  $SEL$ 이 작아질수록  $SNR_{r,SEL}$ 은 커지지만, 일반적인 PRC의 코딩 이득은 비례하여 작아진다. 그리고 일반적으로 잘 알려진 것처럼, PRC의 코딩 이득은 제한적이다<sup>[12~13]</sup>. 따라서식 (18)과 (19)로부터 알 수 있듯이, PRC의 코딩 이득은 약간 감소하지만, 제안된 기법에 의해 수신 신호의 SNR이 크게 증가되므로 BER 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있게 된다. 더욱이, 일반적인 PRC는 짹수  $R$ 의 코딩 이득이  $R-1$ 인 코딩 이득과 같으므로, 짹수  $R$ 인 부호율을 항상 사용한다. 하지만, 제안된 기법은  $SEL$ 의 값을 임의로 선택 할 수 있기 때문에  $R$ 에 관계없이 적용 가능하고  $R$ 에 비례하여 BER 성능을 향상시킬 수 있다.

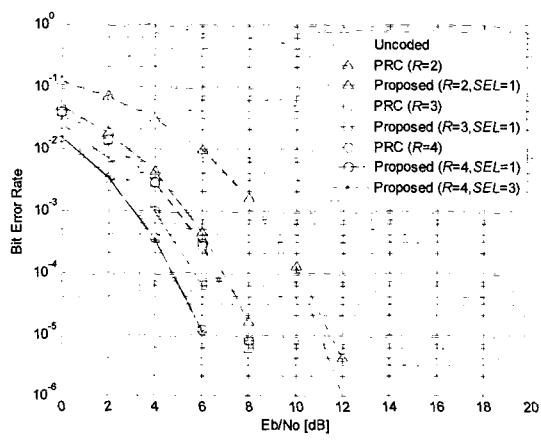
#### IV. 모의실험 결과

제안된 선택적 검출 기법과 일반적인 PRC 알고리즘에 대한 성능 분석을 위해, 본 논문에서는 IEEE

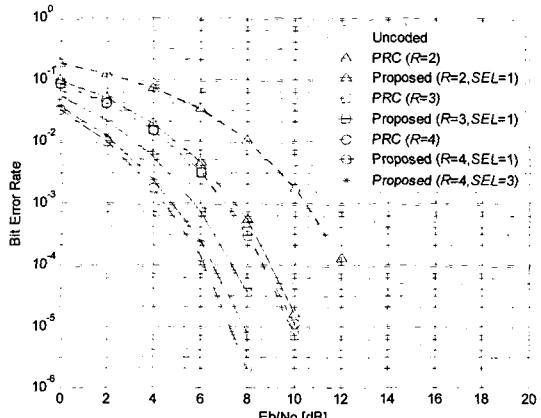
802.15.4a CM1, CM8 채널 모델<sup>[10]</sup>을 고려하였다. 또한 S-Rake 방식의 Coherent BPM, PPM, 그리고 OOK UWB 시스템을 적용하였으며, 여기서 Finger 수는 10으로 고정하였다. 모의실험에서 채널 임펄스 응답은  $R$



(a) BPM



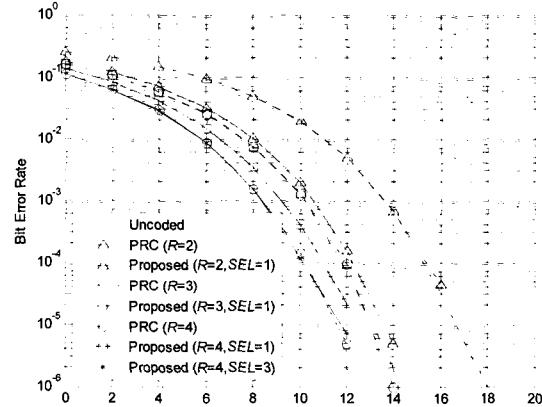
(b) PPM



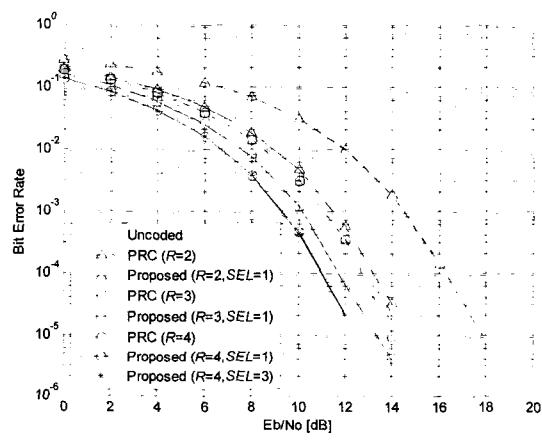
(c) OOK

그림 2. IEEE 802.15.4a CM1 채널 모델에서의 BER 성능 비교

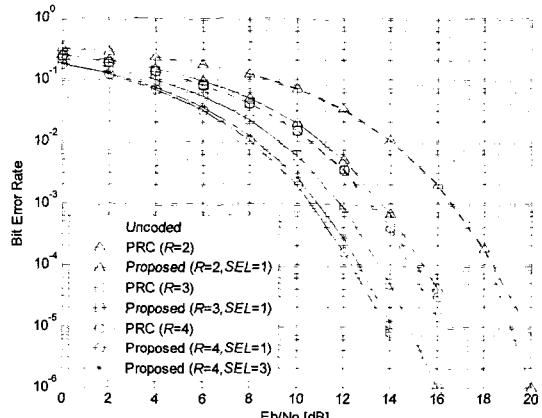
Fig. 2. Comparison of BER performance in the IEEE 802.15.4a CM1 channel model.



(a) BPM



(b) PPM



(c) OOK

그림 3. IEEE 802.15.4a CM8 채널 모델에서의 BER 성능 비교

Fig. 3. Comparison of BER performance in the IEEE 802.15.4a CM8 channel model.

번 폴스 반복 구간동안 유지되도록 설정하였으며, 약 0.7626 nsec 폴스폭의 가우시안 모노사이클 폴스를 사용하였다. 제안된 기법과 PRC는 공히 부호율을  $1/R$ 로 적용하였고, 제안된 기법을 위한 SEL 값은 1로 고정하였다. 또한, SEL 값에 따른 다양한 BER 성능을 확인하기 위하여,  $R=4$ 일 때 SEL을 3으로 설정하고 IEEE 802.15.4a CM1과 CM8 채널 모델에서 모의실험을 수행하였다.

그림 2와 3에서는 제안된 기법 ("Proposed")과 일반적인 PRC 알고리즘 ("PRC")에 대한 IEEE 802.15.4a CM1과 CM8 채널 모델에서 Coherent IR-UWB 시스템의  $E_b/N_0$ 에 따른 BER 성능을 비교하여 도시하고 있다. 또한, 이들 그림에서 점선은 Coherent IR-UWB 시스템의 비부호화된 BER 성능 ("Uncoded")을 의미한다. 그림에서 알 수 있듯이, 제안된 기법은 모든 경우에서 일반적인 PRC 알고리즘에 비해 1.5~3 dB 우수함을 확인할 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 일반적인 PRC는 짹수  $R$ 의 코딩 이득이  $R-1$ 인 코딩 이득과 같으므로, 홀수  $R$ 인 부호율을 항상 사용한다. 하지만, 제안된 기법은 SEL의 값을 임의로 선택 할 수 있기 때문에  $R$ 에 관계없이 적용 가능하고  $R$ 에 비례하여 BER 성능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 더욱이, 제안된 기법의 수신기는 일반적인 PRC 알고리즘과 비교하여 시스템 복잡도가 거의 증가되지 않는다.

## V. 결 론

본 논문에서는 Coherent IR-UWB 시스템의 복잡도와 BER 성능을 고려하여 폴스 반복 전송 기반의 선택적 검출 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 시스템의 복잡도를 고려하기 위해, Coherent IR-UWB 송신기에서는 매우 간단한 시간 다이버시티 알고리즘인 일반적인 PRC (Pulse Repetition Coding)<sup>[12~13]</sup>와 동일하게 UWB 신호를 반복 전송하게 된다. 그러나 제안된 기법은 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시키기 위해, Coherent IR-UWB 수신기에서는 일반적인 PRC 알고리즘과는 달리 반복 전송되어 수신된 신호의 SNR 값을 추정하여 선택적으로 신호 검출을 수행한다. IEEE 802.15.4a UWB 채널 모델에서의 모의실험 결과, 제안된 기법은 일반적인 PRC 알고리즘과 비교하여 시스템 복잡도의 큰 증가없이 Coherent IR-UWB 시스템의 BER 성능을 1.5~3dB 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's rules regarding ultra-wideband transmission," ET Docket 98-153, April 2002.
- [2] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3a.html>
- [3] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>
- [4] 신요안, 양석철, 오종옥, "IEEE 802.15 WPAN 기술 표준화 동향," Telecommun. Review (무선통신·방송의 표준 기술 특집호), 제87호, pp. 131-148, 2003년 11월
- [5] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, no. 4, pp. 679-691, April 2000.
- [6] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio : How it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 36-38, February 1998.
- [7] K. Siwiak and D. McKeown, *Ultra-Wideband Radio Technology*, John Wiley & Sons, 2004.
- [8] I. O'Donnell and R. Brodersen, "An ultra-wideband transceiver architecture for low power, low rate, wireless systems," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. 54, no. 5, pp. 1623-1631, Sept. 2005.
- [9] IEEE 802.15 TG4a Channel Model Subcommittee, "IEEE 802.15.4a channel model-Final report," available at <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>.
- [10] L. Yang and G. B. Giannakis, "Ultra-wideband communications: An idea whose time has come," *IEEE Signal Proc. Mag.*, vol. 21, no. 11, pp. 26-54, Nov. 2004.
- [11] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, 2nd Ed., Prentice-Hall, 2002.
- [12] F. Troesch, F. Althaus, and A. Wittneben, "Modified pulse repetition coding boosting energy detector performance in low data rate systems," *Proc. IEEE ICU 2005*, pp. 508-513, Zurich, Switzerland, Sept. 2005.
- [13] A. Ali and I. Al-Kadi, "On the use of repetition coding with binary digital modulations on mobile channels," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol. 38, no. 2, pp. 14-18, Feb. 1989.
- [14] J. R. Foerster, "The effects of multipath interference on the performance of UWB systems in an indoor wireless channel," *Proc. IEEE VTC 2001-Spring*, pp. 1176-1180, Rhodes, Greece, May 2001.

## 저자 소개



김 세 권(학생회원)  
2007년 숭실대학교  
정보통신전자공학부 학사.  
2007년~현재 숭실대학교  
정보통신공학과  
硕사과정 재학중.

<주관심분야 : 무선통신, UWB 전송 시스템>



김 재 운(학생회원)  
2004년 숭실대학교  
정보통신전자공학부 학사.  
2006년 숭실대학교  
정보통신공학과 석사.  
2006년~현재 숭실대학교  
정보통신공학과  
박사과정 재학중.

<주관심분야 : UWB 전송 시스템, OFDM 시스템,  
Cognitive Radio, MIMO-OFDM>



신 요 안(정회원)  
1987년 서울대학교  
전자공학과 학사.  
1989년 서울대학교  
전자공학과 석사.  
1992년 University of Texas at  
Austin 전기및컴퓨터  
공학과 박사.  
1992년~1994년 오스틴 소재 MCC (Micro-  
electronics & Computer Technology  
Corp.) 연구원으로  
Member of Technical Staff  
1994년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부  
정교수  
<주관심분야 : CDMA 및 OFDM 모뎀, UWB 전  
송 시스템, MIMO 시공간 신호처리, Cognitive  
Radio>