

# 무선광대역 시스템을 위한 블록 부호화 상관기 기반의 효율적인 수신기 설계 기법

민승욱\*

<sup>1</sup>상명대학교 컴퓨터과학과

## Efficient Receiver Design Based On Block-Coded Correlator Scheme for UWB-IR

Seungwook Min<sup>1</sup>\*

<sup>1</sup>Department of Computer Science, Sangmyung University

**요약** 광대역 통신을 위한 대표적인 비동기 전송방식인 TR 방식은 동기식 레이크 수신기에 비하여 하드웨어 복잡도가 낮아서 주목을 받아왔다. 최근에는 TR 방식보다 효과적인 데이터 전송을 할 수 있는 BCM 방식이 효율적인 비동기 방식으로 인정받고 있다. BCM 방식의 수신기로는 CMSA 방식이 널리 사용되고 우수한 성능을 가진 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 프레임간 혹은 심볼간 간섭이 존재하는 환경에서, BCM으로 송신된 신호에 대하여 CMSA 방식보다 성능이 우수한 수신기를 제안한다. 제안하는 방식은 TR 방식에서와 같이 상관기를 이용한다. TR 방식에서는 하나의 기준신호에 근거한 상관기를 사용하는 반면, 제안하는 방식은 BCM으로 전송된 신호를 복조하기 위하여 블록 코드를 이용한 블록 코드 상관기를 사용한다. 모의실험을 통하여, 제안하는 방식은 CMSA 방식보다 비트오율 측면에서 더 우수한 성능을 나타낸다. 특히, 채널모델 CM4 에서 BER =  $10^{-3}$  일 때, SNR 측면에서 5 dB 이득을 얻을 수 있었다.

**Abstract** Noncoherent receivers are favored for block-code-modulated ultrawideband impulse radio (UWB-IR) systems because of their low implementation complexity compared with coherent rake receivers. However, existing noncoherent schemes, such as transmitted reference (TR) systems and averaged differential receivers (ADR), suffer from performance degradation and energy efficiency loss. Codeword matching and signal aggregation (CMSA) is a low complexity noncoherent receiver for UWB-IR. As the frame/symbol duration is shortened to boost data rate, interframe interference (IFI) or intersymbol interference (ISI) occurs and degrades the detection performance of CMSA. In this paper, block coded correlator which consists of the delay components and the reference signal is proposed to improve the performance of the receiver. Simulation results show that the proposed system leads to the better performance compared to the conventional CMSA receiver.

**Keywords** : UWB (ultrawide band), interframe interference (IFI), inter-symbol interference (ISI), Block Code Modulation (BCM), Correlator

### 1. 서론

UWB-IR (Ultrawideband Impulse Radio) 시스템에서는 송신단에서 1 nsec 이하의 짧은 펄스를 전송하고, 전

송된 신호는 무선 채널을 거쳐서 수 많은 다중 경로로 페이딩으로 구성된 신호로 수신된다. 최적의 동기 레이크 수신기 (Coherent Rake Receiver)를 구현하기 위해서는 다중 경로에 대한 채널 추정과 채널 동기를 얻기 위하여

본 논문은 상명대학교 2013학년도 일반연구기관 선발과제 연구비를 지원받아 수행되었음.

\*Corresponding Author : Seungwook Min (Sangmyung Univ.)

Tel: +82-2-2287-5339 email: [swmin@smu.ac.kr](mailto:swmin@smu.ac.kr)

Received September 25, 2015

Revised October 22, 2015

Accepted November 6, 2015

Published November 30, 2015

복잡한 하드웨어와 비용이 요구된다. UWB 채널의 이러한 복잡한 문제를 회피하기 위한 방법으로 비용과 성능 사이의 취사선택을 할 수 있는 다양한 비동기 (Noncoherent) 방식이 제안되었다 [1,2].

Fig. 1(a)는 기준 신호 (Reference Signal)를 먼저 전송한 후, 시간지연  $T_d$  후에 정보 신호 (Data Modulated Signal)를 전송하는 전통적인 TR (Transmitted Reference) 방식을 나타낸다 [3]. Fig. 1(b)와 같이 전통적인 TR 방식에서 기준 신호 대신에 이전에 보낸 신호를 기준으로 하는 차등 TR (Differential Transmitted Reference: DTR) 방식으로 전송 효율을 높이는 방식이 제안되었다 [4]. 다른 접근방식으로는, 기준 신호의 노이즈 영향을 제거하기 위하여 기준 신호를 생성할 때, 여러 개의 기준 신호를 누적하여 평균 값을 취하는 평균 TR (Averaged Transmitted Reference: ATR) 방식이 제안되어 성능 향상을 이루었다 [5]. 하나의 비트를 구성하는 여러 개의 프레임에 대하여, DTR을 적용하여 성능을 향상 시킨 프레임 수준 차등 TR (Frame Level Differential Transmitted Reference: FDTR) 등이 비동기 UWB-IR 시스템의 좋은 대안으로 제안되었다 [6].

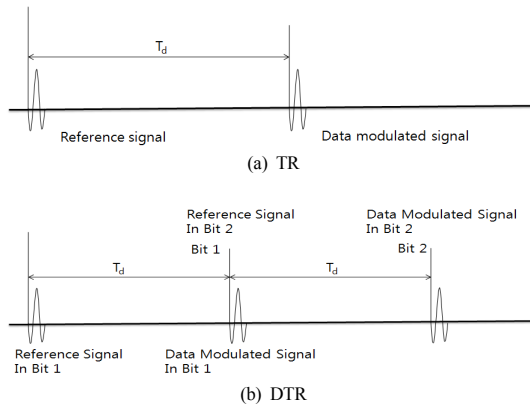


Fig. 1. Transmitted Signal for the Conventional Transmitted Reference Systems

위에서 언급한 다양한 TR 방식보다 전송 효율이 뛰어난 블록 코드를 이용하는 BCM (Block Coded Modulation) 신호로 송신하는 경우, 수신 방식으로 CMSA (Code Matching and Signal Aggregation) 기법이 제안되어 뛰어난 성능을 보여 주었다 [7]. CMSA 방식은 비트오율 (Bit Error Rate: BER) 측면에서 ATR이나 FDTR 방식 보다 우수한 성능을 보여 주고 있다 [8].

TR 방식과 BCM에서 사용하는 블록코드를 이용하여 전송 효율을 높이는 방식도 제안되었다 [9].

본 논문에서는 BCM 방식으로 송신할 때, 간섭이 존재하는 환경에서, 수신 성능을 개선하기 위하여, 참고문헌 [9]에서 제안한 방식에 (1) 전통적인 TR 방식에서 사용되는 별도의 기준 신호를 송신하는 대신에 BCM 송신 신호의 첫 번째 신호를 기준 신호로 하고, (2) ATR에서 사용되는 여러 개의 기준 신호를 평균하여 노이즈를 제거하는 기법을 사용하고, (3) BCM 방식에서 사용하는 블록코드를 적용하여 블록 코드 상관기 기반의 수신기를 제안한다.

## 2. 본론

### 2.1 시스템 모델

#### 2.1.1 표시법 정리

본 논문에서 사용된 기호들의 표시법을 Table 1에 정리하였다.

Table 1. List of Key Variables

Notation	Definition
$T_s$	symbol time duration
$T_p$	pulse time duration
$T_f$	frame time duration
$\mathbf{a}_i$	binary orthogonal block code for $i$ th symbol
$a_{i,j}$	code for $j$ th frame in $i$ th symbol
$N$	the number of frames in a symbol duration
$E_p$	transmitted energy for a pulse
$p(t)$	energy normalized gaussian mono pulse waveform

#### 2.1.1 신호 모델

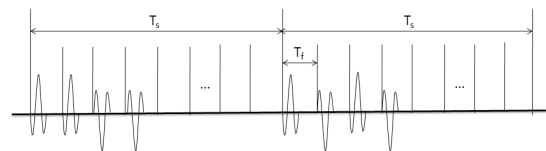


Fig. 2. Illustration of BCM Signals in case of Block Length  $N=4$

Fig. 2는 UWB-IR 시스템에 적용된 BCM 신호를 나타낸다.  $T_f$ 는 프레임 구간을 표시하고,  $T_s$ 는 심볼 구간을 나타낸다. 블록 크기  $N=4$  이고, 2개의 심볼을 표시하였

다. 블록 크기  $N$ 으로 구성된 BCM 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다 [7].

$$s(t) = \sqrt{E_p} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N-1} a_{i,j} p(t - iT_s - jT_f) \quad (1)$$

식 (1)에서 사용된 기호들은 Table 1에 정리되어있다.  $\mathbf{a}_i$  는  $N \times N$  왈쉬-하다마드 행렬 중에서 선택된 하나의 열 벡터이다. 블록 크기가  $N$ 인 코드워드는  $K = \log_2 N$  개의 정보비트를 전송한다.

### 2.1.2 채널 모델

무선 채널 모델은 UWB 시스템에서 일반적으로 사용되는 IEEE 802.15.3a에서 제안된 모델을 사용한다. 무선 채널에 대한 다중 경로 채널의 임펄스 응답은 다음과 같이 주어진다 [10].

$$h(t) = X \sum_{n=1}^L \sum_{k=1}^{K(n)} \alpha_{nk} \delta(t - T_n - \tau_{nk}) \quad (2)$$

이때,  $X$  는 채널의 경로별 신호의 크기를 나타내는 로그-노말 분포를 갖는 확률변수이고,  $L$  은 관찰된 클러스터의 수이고,  $K(n)$  은  $n$  번째 클러스터의 다중 경로의 수이다.  $\alpha_{nk}$  는  $n$  번째 클러스터의  $k$  번째 다중경로의 신호세기이고,  $T_n$  은  $n$  번째 클러스터의 도착시간이고,  $\tau_{nk}$  는  $n$  번째 클러스터의  $k$  번째 다중경로의 지연시간이다. Table 2는 각각의 채널모델 CM1~CM4에 대한 변수 값을 정리한 것이다.

### 2.2 제안하는 시스템

제안하는 시스템은 BCM 신호에 대한 수신기이다. BCM 신호는 Fig. 2와 같이 전송되고, 무선 채널  $\mathbf{h}(t)$ 를 거쳐서 수신된다. 수신신호  $\mathbf{r}(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$r(t) = \sqrt{E_p} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N-1} a_{i,j} p(t - iT_s - jT_f) + n(t) \quad (3)$$

이때,  $q(t) = p(t) * h(t)$  는  $\mathbf{p}(t)$ 와  $\mathbf{h}(t)$ 의 컨볼루션이다.  $\mathbf{n}(t)$  는 전력밀도가  $N_0/2$  인 백색 가우시언 잡음을 나타낸다.

기존의 CMTSA 방식은 수신신호를 복조하기 위하여 먼저 수신신호에  $a_i$ 를 곱한 후 제곱을 취하고 적분한다. 이때,  $i = 0, 1, \dots, N-1$  범위를 가진다. 각 코드에 대하여 얻어진  $J_i$  중에서 최대값을 가지는 코드를 송신코드로 추정한다. 이를 식으로 표현하면 식 (4)와 (5)와 같이

나타낼 수 있다 [7].

$$\hat{a}_i = \arg_i \max J_i \quad (4)$$

$$J_i = \int_{T_d}^{T_d + N_f T_f} |a_i r(t)|^2 dt \quad (5)$$

Table 2. Parameter Settings for the IEEE UWB channel Model

(a) Definition for Notations

Notation	Definition
$\Lambda$	the cluster average arrival rate
$\lambda$	the pulse average arrival rate
$\Gamma$	the power decay factor for clusters
$\gamma$	the power decay factor for pulses within a cluster
$\sigma_\xi$	the standard deviation of the fluctuations of the channel coefficients for clusters
$\sigma_\zeta$	the standard deviation of the fluctuations of the channel coefficients for pulses within each cluster
$\sigma_g$	the standard deviation of the channel amplitude gain

(b) Parameter Settings for Notations

Scenario	CM1	CM2	CM3	CM4
$\Lambda$ (1/nsec)	0.0233	0.4	0.00667	0.00667
$\lambda$ (1/nsec)	2.5	0.5	2.1	2.1
$\Gamma$	7.1	5.5	14	24
$\gamma$	4.3	6.7	7.9	12
$\sigma_\xi$	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
$\sigma_\zeta$	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
$\sigma_g$	3	3	3	3

제안하는 방식은 BCM 신호를 복조하기 위하여, 기준 신호에 대한 기준 격자신호  $H_r(t)$ 를 다음과 같이 구성한다.

$$H_r(t) = \begin{cases} \frac{1}{N_A} \sum_{i=0}^{N_A-1} r(t - iT_s), & iT_s \leq t \leq iT_s + T_f \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

(6)에서  $H_r(t)$  은  $i$  번째 심볼에서 첫 번째 프레임이 기준 신호를 구성하는데 사용되고, 잡음의 영향을 줄이기 위하여  $N_A$  개의 프레임을 평균하는 것으로 ATR 방식에서 기준 신호의 평균을 이용하는 기법을 적용한 것이다.

Fig. 3에서의 기준 격자신호  $H_r(t)$  은  $N_A = 1$  인 경우를 나타낸다.  $H_r(t)$  과형은 송신신호가 무선 채널을 거쳐서 나오는 수신신호이며, 모의실험에서는 송신신호가 무

선 채널 모델 식 (2)와 콘볼루션으로 구할 수 있고, 식 (3)과 같이 얻어진다. 기준 격자신호를 이용하여 블록 부호화 격자신호를 (7)과 같이 구성한다.  $a_{i,j} \in \{-1, 1\}$  이기 때문에 기준 격자신호는 위상 천이기 (Phase Shifter)와 시간 지연 소자 (Delay Component)를 사용하여 Fig. 4와 같이 구현 할 수 있다.

$$H_i(t) = \begin{cases} \sum_{j=1}^{N-1} a_{i,j} H_r(t - jT_f), & 0 \leq i \leq N-1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

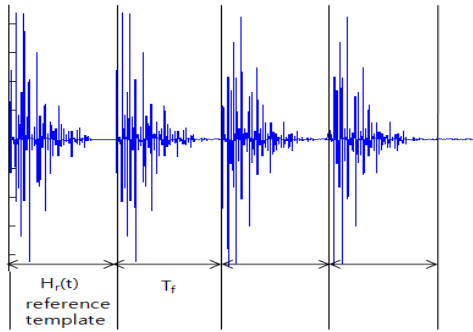


Fig. 3. Reference Template of Received Signal when block length  $N=4$  and codeword  $\mathbf{a}_i = [1 \ 1 \ -1 \ -1]$

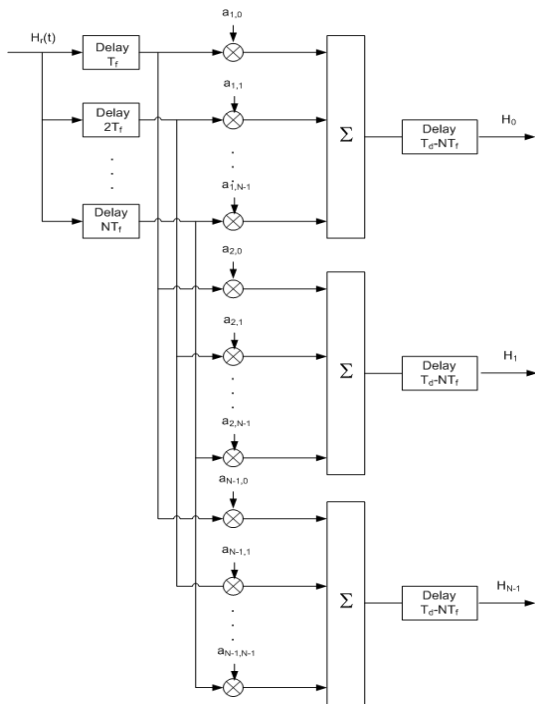


Fig. 4. Generator Structure of Block Coded Template

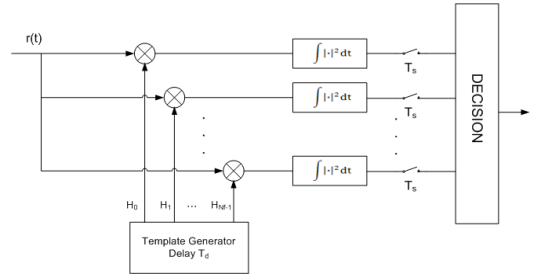


Fig. 5. Receiver Structure for Proposed System

Fig. 4는 제안하는 블록 부호화 격자신호 발생기의 구조를 나타낸다. 식 (6)에 의해 얻어진 기준 격자신호로부터 식 (7)과 같이 코드와 지연소자를 적용하여 블록 부호화 격자신호를 발생시킨다.  $N$ 개의 블록 부호화 격자신호는 Fig. 5와 같이 수신신호와 상관기를 거쳐서 얻어진 값 중에서 가장 큰 값으로 수신 코드를 추정한다. 이 과정을 수식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{a}_i = \arg_i \max J_i \quad (8)$$

$$J_i = \int_{T_d}^{T_d + N T_f} |H_i(t) r(t)|^2 dt \quad (9)$$

(8)과 (9)를 수행하는 수신기는 Fig. 5와 같이 구성할 수 있다.

## 2.4 모의실험

### 2.4.1 모의실험 환경

모의실험에 사용된 펄스파형은 참고문헌 [11]에서 사용된 펄스 파형 (Gaussian doublet)을 이용하였다. 펄스파형의 폭은  $T_p = 0.5 \text{ nsec}$  로 하기 위하여 식 (10)에서  $t = 0.25 \text{ nsec}$ 로 사용하였다.

$$w(t) = \left[ 1 - 4\pi \left( \frac{t}{\tau} \right)^2 \right] e^{-2\pi \left( \frac{t}{\tau} \right)^2} \quad (10)$$

채널 모델은 IEEE 802.15.3a 표준에서 권고한 채널 모델 중에서 일반적으로 성능이 가장 좋은 LOS (Line-Of-Sight) 환경을 나타내는 채널 모델 CM1과 NLOS (Non Line-Of-Sight) 환경 중에서 가장 열악한 환경인 채널 모델 CM4를 사용하였다.

모의실험에서 채널모델의 최대 지연 확산 (Delay Spread) 은  $100 \text{ nsec}$  로 한정하였다. 성능평가는 블록의 크기  $N$ , 펄스간의 중첩을 결정하는 프레임 시간 간격  $T_f$  등에 대하여 기존의 CMSA 방식과 제안된 방식간의 비트오율을 비교하여 성능 평가를 수행하였다.

모의실험에 사용된 매개변수들은 Table 3에 정리하였다.

Table 3. Simulation Parameters

Name	Parameter Settings
Pulse Waveform	Gaussian Doublet $w(t) = \left[1 - 4\pi\left(\frac{t}{\tau}\right)^2\right] e^{-2\pi\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}$ $t = 0.25 \text{ nsec}$
Channel Model	CM1 (LOS), CM4 (NLOS)
Max. Delay Spread	100 nsec
Block Length N	2/4/8
Frame Duration $T_f$	10/20/40 nsec
Bit Energy to Noise Ratio $E_b/N_0$	0/5/10/15/20/25/30 dB
# of Averaging $N_A$	1/5

2.4.2 모의실험 결과분석

모의실험의 결과를 분석하기 위하여, 식 (4)와 (5)에 의한 방식은 CMSA 방식이라고 하고, 식 (8)과 (9)에 의한 방식을 제안된 방식인 BCC (Block Coded Correlator) 방식으로 구분하였다.

Fig. 6은 채널 모델 CM4 에서, 프레임 시간  $T_f = 20 \text{ nsec}$  이고 블록 크기  $N = 4$  일 때, 기존의 CMSA 방식과 제안된 BCC 방식사이의 성능을 나타낸다. Fig. 5에서 사각형의 표시는 제안된 BCC 방식이  $N_A = 1$  일 때, 즉 식 (7)의 기준 격자신호를 하나의 심볼에서만 취했을 때의 성능을 나타낸다. 이 경우의 성능을 살펴보면, 제안된 방식이  $E_b/N_0$  가 17 dB 보다 낮은 SNR (Signal to Noise Ratio)에서는, CMSA 보다 성능이 떨어지고, 17dB 보다 높은 SNR에서는 CMSA 보다 좋은 성능을 나타내었다. 17dB 이하에서는 기준 격자신호의 노이즈 영향 때문에 기존의 CMSA 방식의 성능이 우수하였으나, 이를 극복하기 위하여  $N_A = 5$  로 증가 시켜 노이즈의 효과를 감소시키면, 모의실험 결과는 모든 SNR에서 제안된 BCC 방식이 CMSA 방식보다 우수하다는 것을 보여준다. Fig. 7은 같은 조건에서 채널 모델 CM1에 대하여 적용한 결과이다. CM4의 경우와 유사한 결과를 얻었다.

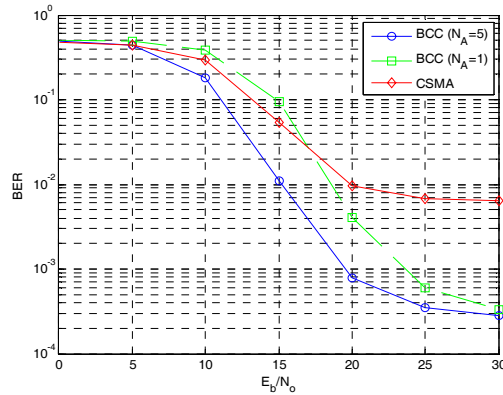


Fig. 6. Performance comparison between BCC ( $N_A=1, 5$ ) and CMSA under channel model CM4

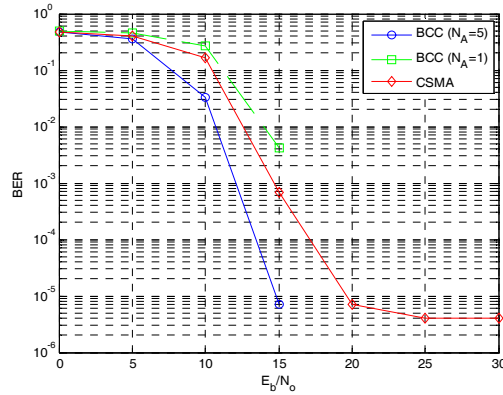


Fig. 7. Performance comparison between BCC ( $N_A=1, 5$ ) and CMSA under channel model CM1

Fig. 8과 9는 프레임간 시간 간격이 좁아서 간섭이 심한 경우에 대하여, 즉  $T_f = 10 \text{ nsec}$  일 때, 각각 채널 모델 CM4와 CM1에 적용한 결과를 보여준다. 두 경우 모두 제안된 방식이 항상 우수한 성능을 보여준다. 인접한 펄스간의 간섭이 심하면  $E_b/N_0$ 이 20 dB 이상으로 높아져도 인접한 프레임의 간섭도 동시에 커지기 때문에 비트오율이 개선되지 않는 현상이 나타난다.

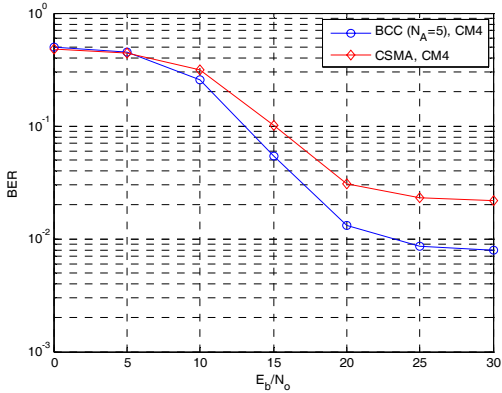


Fig. 8. Performance comparison between BCC ( $N_A=5$ ) and CMSA in case of  $T_f = 10$  nsec under channel model CM4

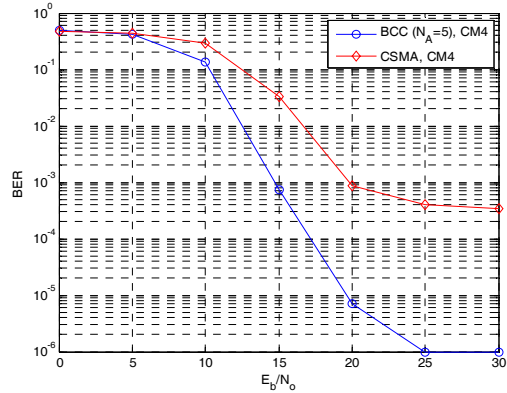


Fig. 10. Performance comparison between BCC ( $N_A=5$ ) and CMSA in case of  $T_f = 40$  nsec under channel model CM4

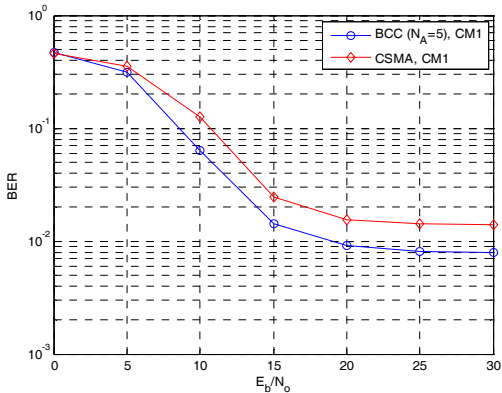


Fig. 9. Performance comparison between BCC ( $N_A=5$ ) and CMSA in case of  $T_f = 10$  nsec under channel model CM1

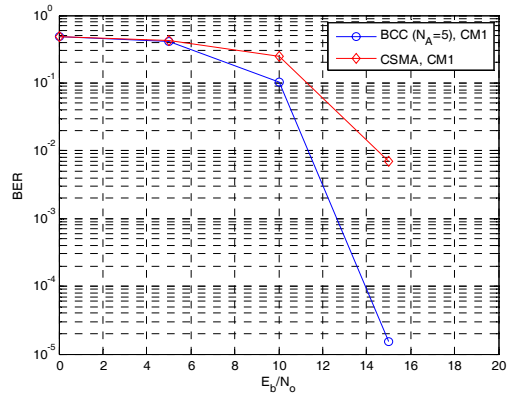


Fig. 11. Performance comparison between BCC ( $N_A=5$ ) and CMSA in case of  $T_f = 40$  nsec under channel model CM1

Fig. 10과 11은 프레임간 시간 간격이 커서 간섭이 적은 경우에 대하여, 즉  $T_f = 40$  nsec 일 때, 각각 채널 모델 CM4와 CM1에 적용한 결과를 보여준다. Fig. 10은 채널의 지연확산이 100 nsec 정도까지 영향을 주는 CM4 환경에서 제안된 방식이 CMSA 방식보다 훨씬 더 우수한 성능을 가진다는 사실을 보여준다. 제안된 방식은 CM4 환경에서, 비트오율이  $10^{-3}$  일 때, SNR 측면에서 5 dB 이득을 얻을 수 있다. Fig. 11은 CM1 환경에서의 결과를 보여준다. LOS의 좋은 환경이어서  $E_b/N_0$ 이 15dB 이상에서는 두 방식 모두 비트오율이 거의 발생하지 않는다.  $E_b/N_0$ 이 15dB 이하에서 제안된 방식이 CMSA 방식보다 우수한 성능을 나타내고 있다.

### 3. 결론

제안된 방식은 (1) TR 방식의 기준 신호와 상관기 (2) ATR 방식의 평균을 취하는 방식, (3) BCM 방식의 블록 코드를 선택 적용한 방식이다.

제안된 방식에서 사용된 매개변수 중에서 블록 길이  $N$ 과  $N_A$  를 기존의 방식에 적용해 보면,  $N = 2$ ,  $N_A = 1$  인 경우가 기존의 TR 방식이고,  $N = 2$ ,  $N_A > 1$  인 경우가 ATR 방식이다.

따라서, 제안된 방식은  $N = 2$ 로 제한된 TR이나 ATR 방식으로부터 블록 크기  $N$ 의 코드를 이용한 확장이라

볼 수 있다.

모의실험을 통하여,  $N_A = 1$  인 경우 노이즈의 영향으로 SNR이 17dB 이하에서는 CMSA 방식이 우수하고 SNR이 17dB 이상에서는 제안하는 방식이 우수하다.  $N_A > 1$  인 경우 모든 SNR에서 제안된 방식이 CMSA 방식보다 우수하다는 사실을 보여준다. 특히, 채널모델 CM4 에서 BER =  $10^{-3}$  일 때, SNR 측면에서 5 dB 이득을 얻을 수 있었다.

향후에는 BCC 방식을 프레임 길이  $N_f$ 와 블록 길이  $N$ 에 최적화를 통하여 전송속도를 높이는 방향의 연구를 진행할 예정이다.

## References

- [1] K. Witrals, Leus, G.; Janssen, G.J.M., Pausini, M., Troesch, F., Zasowski, T., Romme, J., "Noncoherent Ultra-Wideband Systems", IEEE Signal Processing Magazine, pp.48-66 July, 2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MSP.2009.932617>
- [2] Y. Jin, Hongwu Liu, Kyeong Jin Kim, Kyung Sup Kwak, "A Reconfigurable Digital Receiver for Transmitted Reference Pulse Cluster UWB Communications". IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 63, pp.4734-4740, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TVT.2014.2313337>
- [3] R. Hocht and H. Tomlinson, "Delay-hopped transmitted-reference RF communications," in Proc. IEEE Conf. UWBST, pp. 265-269, 2002.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/uwbst.2002.1006368>
- [4] M. Ho, V. Somayazulu, J. Foerster, and S. Roy, "A differential detector for an ultrawideband communications system," in Proc. IEEE VTC, pp. 1896 - 1900, Spring 2002.
- [5] J. Choi and W. Stark, "Performance of ultrawideband communications with suboptimal receivers in multipath channels," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 20, no. 9, pp. 1754-1766, Dec. 2002.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JSAC.2002.805623>
- [6] K. Witrals, G. Leus, M. Pausini, and C. Krall, "Equivalent system model and equalization of differential impulse radio UWB systems," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 23, no. 9, pp. 1851 - 1862, Sep. 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JSAC.2005.853876>
- [7] D. Mu, Zhengding Qiu, Zhang Yong-hui, "Performance Analysis of UWB Noncoherent Receiver with Block-Coded Modulation Scheme", IEEE Communications Letters, vol. 14, No.6, pp.509-511, June 2010.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LCOMM.2010.06.100102>
- [8] H. Gao, Xin Su, Tiejun Lv, Shaoshi Yang, Yueming Lu, "IFI and ISI Premitigation for Block-Code-Modulated Noncoherent UWB Impulse Radio: A Code Optimization Approach", IEEE Trnas. Vehicular Tech., vol. 61, No.4, pp.1635-1648, May 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TVT.2012.2187938>
- [9] S. Min, "Transmitted Reference UWB Systems based on Block-Coded Modulation", Journal of KICS, vol.38A, no.3, pp.289-293, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7840/kics.2013.38A.3.289>
- [10] J. Foerster, "Channel modeling subcommittee report final," IEEE P802.15.3a Working Group, P802.15-02/490r1-SG3a, Feb. 1997.
- [11] M. Benedetto and G. Giancola, Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals, Prentice Hall, 2004.

민 승 욱 (Seungwook Min)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 제어계측 공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : KAIST 전기및전자 공학과 (공학석사)
- 1999년 6월 : Polytechnic Univ. 전자과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터학과 교수

<관심분야>

광대역통신, 무선랜, 이동통신