

블럭부호변조 기반의 Transmitted Reference 광대역 통신 시스템

민 승 욱*

Transmitted Reference UWB Systems Based on Block-Coded Modulation

Seungwook Min*

요 약

광대역 통신을 위한 비동기 (noncoherent) 수신기인 CMSA (codeword matching and signal aggregation) 방식을 이용한 BCM (block coded modulation) 방식은 TR (transmitted reference) 방식보다 에너지 효율적인 방식으로 알려져 있다. 그러나, 프레임간 간섭/심볼간 간섭 (IFI/ISI : interframe interference/inter symbol interference)가 존재하는 채널 환경에서는 신호대 잡음비 (SNR : signal to noise ratio)가 증가하더라도, 수신 신호의 전력이 증가하는 것과 동시에 인접한 코드간의 간섭의 증가로 인하여 비트오율 (BER : bit error rate) 등과 같은 성능향상이 제한적으로 이루어진다. 제안하는 방식은 BCM의 부호 정합 (code matching) 대신에 TR 신호를 기반으로 블록 부호화된 기준틀 (block coded template)을 구성한 후, 수신신호에 상관기 (correlator)를 통과하여 송신신호를 추정하는 방식이다. 모의실험을 통하여 제안하는 방식이 BCM보다 우수한 성능을 확인할 수 있다.

Key Words : UWB-IR, TR (transmitted reference), BCM (block coded modulation), interframe interference (IFI), inter symbol interference (ISI)

ABSTRACT

In the noncoherent methods for UWB-IR (ultra-wideband impulse radio), block coded modulation (BCM) is better than the transmitted reference (TR) systems in terms of the energy efficiency and data rate. However, even BCM suffers from the performance degradation in the presence of strong inter-frame interference and inter symbol interference. We propose the transmitted reference based on the BCM (TR-BCM) which is the hybrid system of TR and BCM. Performance evaluation shows that the performance of TR-BCM is better than that of BCM in the high SNR range.

I. 서 론

광대역 무선 통신 시스템에서 동기식 레이크 수신기 (coherent rake receiver)에 비교하여, 구현의 단순성과 동기 오류에 대한 견고성 때문에 비동기 (noncoherent) TR (transmitted-reference) 수신기의

사용이 많은 관심을 끌어들였다^{[1],[2]}. 그렇지만, 기존 방식의 TR (CTR: conventional TR) 수신기는 상관 기준틀 (correlation template)의 사용으로, 잡음이 섞인 기준 펄스의 사용으로 인한 성능저하를 가져온다. CTR의 또 다른 약점은 기준 펄스의 전송을 위하여 전송속도와 에너지 효율에서의 손실을 가지는 것이다. 이러

* 본 논문은 2011학년도 상명대학교 일반연구기관 선발과제 연구비를 지원받아 수행한 연구임.

• 주저자 : 상명대학교 소프트웨어학부, swmin@smu.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2012-11-553, 접수일자 : 2012년 11월 28일, 최종논문접수일자 : 2013년 3월 5일

한 약점들을 극복하기 위한 평균방식의 TR (ATR: averaged TR) 수신기와 차등방식의 TR (DTR: differential TR) 수신기 등이 제안 되었다²⁻⁵⁾. 에너지 효율을 증가시키기 위하여 비동기 수신기 방식으로 BCM (block coded modulation) 기법을 사용하는 CMSA (codeword matching and signal aggregation) 방식이 제안되어, ATR이나 DTR 보다 우수한 성능을 나타내는 것을 보여 주었다⁶⁻⁸⁾. 따라서, CMSA 방식은 CTR 보다 전송속도나 에너지 효율 측면에서 우수하다. 그렇지만, CMSA 방식은 펄스가 중첩된 경우, 혹은 프레임간 간섭 혹은 심볼간 간섭 (IFI/ISI)의 영향이 큰 환경에서는 신호대 잡음비 (SNR)의 증가에 따라 간섭의 영향도 증가하여 성능 향상이 제한적이다.

본 논문에서는 TR과 BCM 방식을 결합하여 프레임간 간섭 혹은 심볼간 간섭 (IFI/ISI)가 존재하는 환경에서도 성능이 우수한 수신기를 제안한다.

II. 시스템 모델

2.1. CTR 시스템의 신호 모델

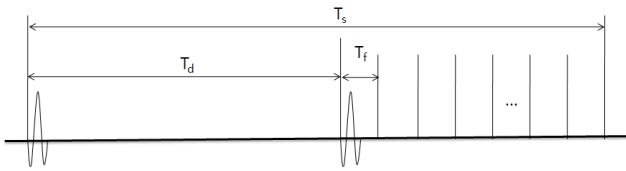


그림 1. CTR 방식에서의 송신 신호
Fig. 1. Transmitted signal for the conventional transmitted reference systems

CTR IR-UWB (transmitted reference impulse radio ultra wideband) 시스템에서의 PAM (pulse amplitude modulation) 방식의 전송 신호는 그림 1에서와 같이 나타낼 수 있고, 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$s(t) = \sqrt{E_p} \sum_{i=0}^{\infty} [p(t-iT_s) - b_1 p(t-iT_s - T_d)] \quad (1)$$

이때, $p(t)$ 는 구간 T_p 를 갖는 에너지 정규화된 가우시안 모노펄스 파형이고, E_p 는 각각의 단일 펄스에 전송되는 에너지이다. 하나의 비트는 심볼 구간 T_s 동안에 전송된다. T_d 는 기준 신호 (transmitted reference or pilot signal)와 정보신호 (data modulated signal) 사이의 시간 지연이다. 이 시간 지연은 기준 신호를 채널에 의한 간섭을 최소화하기 위하여 최대 확산지

연 (maximum delay spread) 보다 크게 한다. 이진 정보 b_1 는 $\{-1,1\}$ 의 값을 가지면 전송되는 이진 정보를 표시한다.

2.2. BCM 시스템의 신호 모델

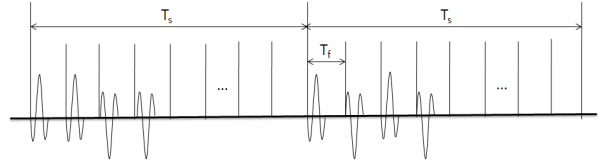


그림 2. BCM 방식에서의 송신 신호
Fig. 2. Transmitted signal for the BCM (block coded modulation) systems

그림 2에 표현된 BCM 신호의 송신 신호는 UWB-IR 시스템에서 단일 사용자에게 대하여 다음과 같이 수식으로 표현할 수 있다⁶⁾.

$$s(t) = \sqrt{E_p} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_f-1} a_{i,j} d_j p(t-iT_s - jT_f) \quad (2)$$

이때, $p(t)$ 는 구간 T_p 를 갖는 에너지 정규화된 가우시안 모노펄스 파형이고, E_p 는 각각의 단일 펄스에 전송되는 에너지이다. 심볼 구간 T_s 동안에 N_f 개의 펄스가 전송된다. N_f 는 심볼당 프레임의 수이고, T_f 는 프레임 구간이다. a_i 는 i 번째 데이터 심볼을 전송하는 이진 직교 블록 코드 (binary orthogonal block code)이며, $a_i = [a_{i,0}, a_{i,1}, \dots, a_{i,N_f-1}]$ 로 표시한다. 또한, a_i 는 $N_f \times N_f$ 왈쉬-하다마드 (Walsh-Hadamard) 행렬 중에서 선택된 하나의 열 벡터 (row vector)이다. 따라서, 각각의 코드워드는 $K = \log_2 N_f$ 개의 정보비트를 전송한다.

2.3. 채널 모델

사용자 i 에 대한 다중 경로 채널의 임펄스 응답은 다음과 같이 주어진다⁹⁾.

$$h(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \alpha_k \delta(t - \tau_k) \quad (3)$$

이때, α_k 는 채널이득의 크기이고, K 는 다중 경로의 수이고, τ_k 는 k 번째 다중경로의 지연시간이다.

III. 제안하는 시스템

제안하는 시스템의 송신신호는 식 (1)과 (2)로부터 다음과 같이 표현된다.

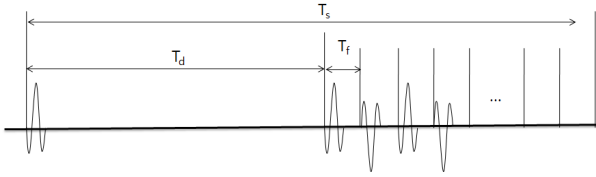


그림 3. 제안하는 TR-BCM 방식에서의 송신 신호
Fig. 3. Transmitted signal for the proposed TR-BCM systems

$$s(t) = \sqrt{E_p} \sum_{i=-\infty}^{\infty} [p(t-iT_s) - \sum_{j=0}^{N_f-1} a_{i,j} d_j p(t-iT_s-jT_f-T_d)] \quad (4)$$

그림 3에서 보는 바와 같이 CTR을 나타내는 그림 1과 비교하면 정보를 보내는 구간을 블록코드로 전송하여 에너지 효율을 높일 수 있다. 블록코드로 전송하는 그림 2와 비교하면 파일럿 신호를 전송하므로써, 심볼간의 간섭이 심한 경우에도 높은 SNR 일 때 수신 성능이 개선될 수 장점을 가지고 있다.

시스템의 수신신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$r(t) = \sqrt{E_p} \sum_{i=-\infty}^{\infty} [g(t-iT_s) - \sum_{j=0}^{N_f-1} a_{i,j} d_j g(t-iT_s-jT_f-T_d)] + w(t) \quad (5)$$

이때, $g(t) = p(t) \otimes h(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \alpha_k p(t-\tau_k)$ 이고, $w(t)$ 는 전력밀도 (power spectral density)가 $N_f/2$ 인 백색 가우시언 잡음 (white gaussian noise process)을 나타낸다.

제안된 방식인 TR-BCM (transmitted reference based on block coded modulation)을 수신하기 위하여, 수신단에서는 기준 신호 (reference signal)에 대한 기준틀 (template) $H_r(t)$ 를 다음과 같이 구성한다.

$$H_r(t) = \begin{cases} r(t), & 0 \leq t \leq N_f T_f \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

(6)은 CTR에서 사용되는 기준틀과 유사하고, 이러한 기준틀을 이용하여 블럭 부호화된 기준틀 (block coded template) $H_i(t)$ 를 그림 4에 나타난 바와 같이 다음과 같은 수식으로 구성한다.

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

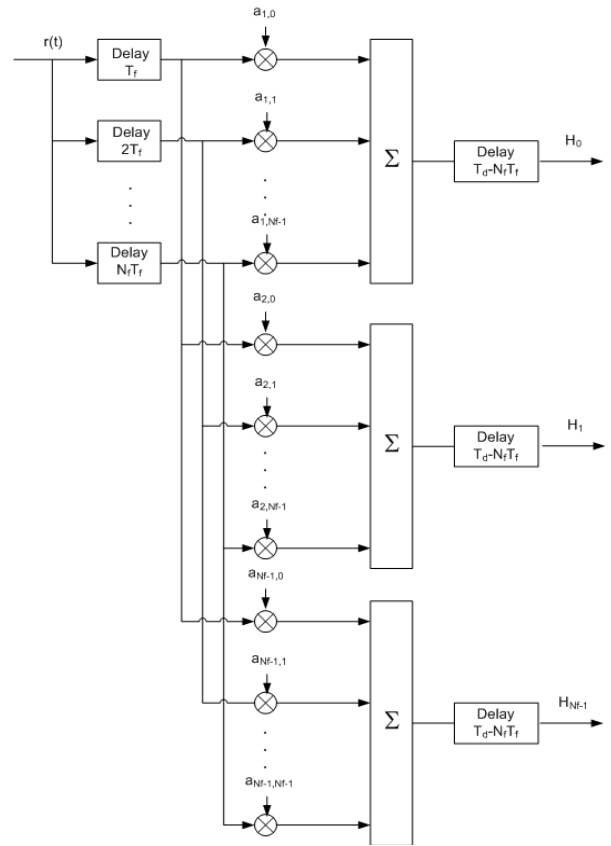


그림 4. 제안하는 TR-BCM 방식에서의 기준틀 발생기 (Template Generator) 구조
Fig. 4. Template generator structure for the proposed TR-BCM systems

수신된 신호에서 코드워드 (codeword) a_i 를 코드워드 정합 (codeword matching)을 통하여 검출하면, 데이터 비트는 데이터와 코드워드 사이의 비교한 결과로부터 데이터를 추출할 수 있다. 따라서, 데이터를 추출하는 것은 다음과 같은 알고리즘으로 수행한다.

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

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

그림 5는 수신기의 구조를 나타낸다. 수신신호 $r(t)$ 는 먼저 기준틀 발생기 (template generator)를 통하여 $H_i(t)$ 를 구하고, 지연시간 T_d 후에 각 기준틀에 대한 수신신호 $r(t)$ 와의 상관기 (correlator) 출력을 비교하여 가장 큰 값을 갖는 \hat{a}_i 를 구하여 수신 데이터를 결정한다.

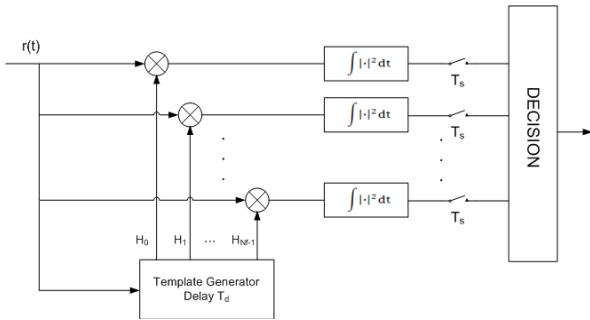


그림 5. 제안하는 TR-BCM 방식에서의 수신기 구조
Fig. 5. Receiver structure for the proposed TR-BCM systems

IV. 모의실험

모의실험에 사용된 펄스파형은 [3]에서 사용된 가우시안 펄스 파형(Gaussian monocycle)을 이용하였다. 파형의 주기 $T_p = 1$ nsec를 사용하였다. 채널모델은 IEEE 802.15.3a 표준에서 제안된 채널모델 CM2와 CM4를 사용하였다.

사용된 매개변수는 블록 코드 (block code)의 크기 혹은 심볼당 프레임 수인 N_f , 프레임 시간 T_f 등을 사용하였다. 모의실험의 결과를 분석하기 위하여, 비교 방식 중에서 가장 성능이 우수한 BCM 방식과 제안하는 TR-BCM 방식을 비교하였다.

그림 6은 $N_f = 4$, $T_f = 10$ nsec 일 때, CM2와 CM4에 대한 BCM과 TR-BCM의 성능 비교의 차이를 보여준다. CM2와 CM4에 대하여 E_b/N_0 가 10dB 이상일 때, 제안하는 TR-BCM이 BCM 보다 우수한 성능을 나타내고 있음을 보여준다. 높은 SNR에서 TR-BCM의 성능이 우수한 이유는 BCM 방식에서는 $T_f = 10$ nsec와 같이 신호가 중첩되는 경우 SNR이 증가하면 IFI도 함께 증가하여 성능향상이 제한적인 반면 TR-BCM 방식에서는 높은 SNR일 때, 기준틀에서 잡음의 영향이 적어지므로 수신 성능의 향상을 가져온다.

블록 크기 N_f 의 영향을 살펴보면, 그림 7에서 $N_f = 2$ 일 때는 두 방식의 차이가 거의 없으나, $N_f = 4$ 혹은 8일 때는 BCM과 TR-BCM 사이의 성능의 차이가 존재한다. SNR이 10dB 이하일 때, BCM의 성능이 우수한 이유는 코드 정합 (code matching)의 성능이 잡음의 영향을 감소하기 때문이다. 높은 SNR의 경우는 상대적으로 잡음의 영향이 적은 TR-BCM의 성능이 우수한 것으로 나타났다.

프레임 시간 T_f 에 대한 영향을 살펴보면, CM2와 츠 4에서의 최대지연시간이 100 nsec 이상이므로, 프레임 간섭 (IFI)이 존재하는 $T_f=10$ 혹은 20 nsec에서는 TR-BCM이 BCM방식보다 우수한 성능을 보인다.

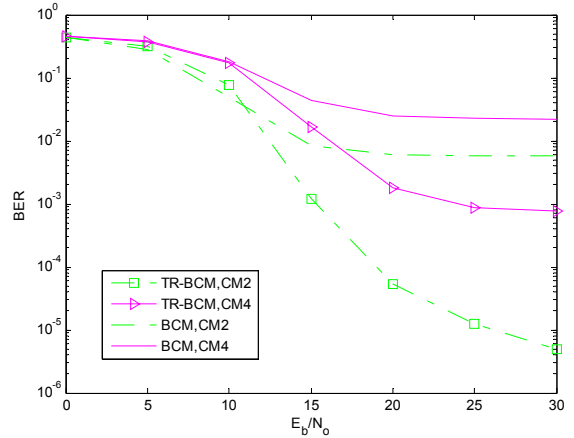


그림 6. $N_f = 4$, $T_f = 10$ nsec 일 때, CM2와 CM4에 대한 BCM과 TR-BCM의 성능 비교
Fig. 6. Performance comparison of BCM and TR-BCM for CM2 and CM4 in the case of $N_f = 4$, $T_f = 10$ nsec

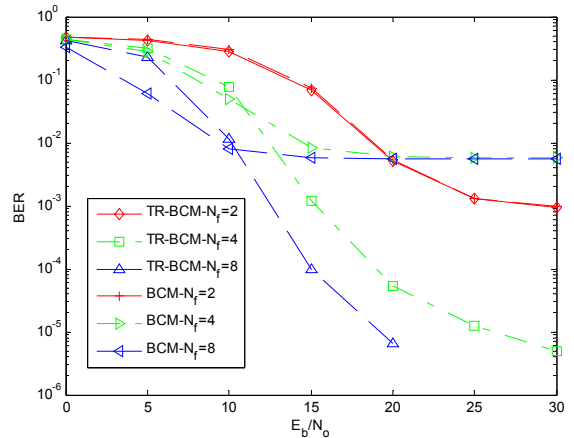


그림 7. $T_f = 10$ nsec이고 CM2 일 때, N_f 에 대한 BCM과 TR-BCM의 성능 비교
Fig. 7. Performance comparison of BCM and TR-BCM for the various N_f in the case of CM2 and $T_f = 10$ nsec

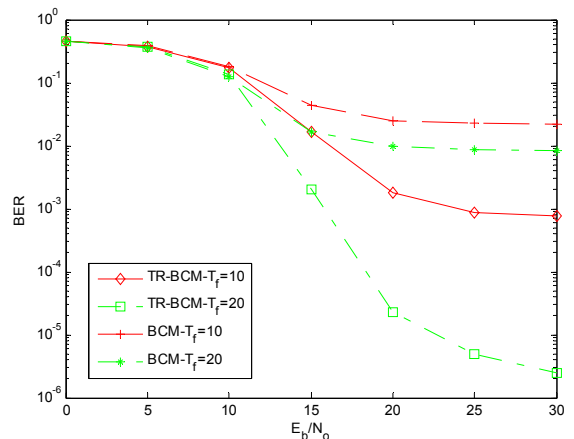


그림 8. $N_f = 4$, CM4 일 때, T_f 에 대한 BCM과 TR-BCM의 성능 비교
Fig. 8. Performance comparison of BCM and TR-BCM for $T_f = 10$ or 20 nsec in the case of CM2 and $N_f = 4$

V. 결 론

본 논문은 동기 (coherent) 방식에 비하여 낮은 구현 복잡도를 가지는 비동기 (noncoherent) 방식인 TR 시스템의 장점과 에너지 효율이 우수한 BCM 방식을 결합하여 IFI/ISI에 대하여 우수한 성능을 보이는 TR-BCM 시스템을 제안하였다. 모의실험을 통하여 10 dB 이상의 높은 SNR에서 제안하는 TR-BCM이 BCM 방식보다 우수한 성능을 보여준다.

References

- [1] N. He and C. Tepedelenlioglu, "Performance analysis of non-coherent UWB receivers at different synchronization levels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, no. 6, pp. 1266–1273, June 2006.
- [2] J. Choi and W. Stark, "Performance of ultra-wideband communications with suboptimal receivers in multipath channels," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 20, no. 12, pp. 1754–1766, Dec. 2002.
- [3] Y.-L. Chao and R. A. Scholtz, "Optimal and suboptimal receivers for ultra-wideband transmitted reference systems," in *Proc. IEEE Globecom*, vol. 2, pp. 759–763, San Francisco, U.S.A., Dec. 2003.
- [4] A. A. D'Amico and U. Mengali, "GLRT receivers for UWB systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 9, no. 6, pp. 487–489, June 2005.
- [5] S. Kim, et al, "Differential-average transmitted reference ultra wide band communication system", *J. KICS*, vol. 34, no.1, pp. 81-89, Jan. 2009
- [6] Y. Ying, M. Ghogho, and A. Swami, "Block-coded modulation and noncoherent detection for impulse radio UWB", *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 15, pp. 112–115, 2008.
- [7] D. Mu, Z. Qui, and X. Zhang, "Performance analysis of UWB noncoherent receiver with block-coded modulation scheme," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 14, pp. 509-511, 2010.
- [8] G. Hui, et al, "IFI and ISI premitigation for block-code-modulated noncoherent UWB impulse radio: a code optimization approach",

IEEE Trans. on Veh. Technology, vol. 61, no. 4, pp. 1635-1648, May 2012.

- [9] J. Foerster, "Channel modeling subcommittee report final," IEEE P802.15.3a Working Group, P802.15-02/490r1-SG3a, Feb. 1997.

민 승 욱 (Seungwook Min)



1987년 2월 서울대학교(공학사)
 1990년 2월 KAIST(석사)
 1999년 6월 Polytechnic Univ.
 (박사)
 2007년 3월~현재 상명대학교
 <관심분야> WLAN system,
 UWB system