

Noncoherent UWB 시스템을 위한 펄스 반복 전송 기반의 선택적 검출 기법

김재운[†], 박영진^{*}, 이순우^{*}, 이재진, 서철현, 신요안
 송실대학교 정보통신전자공학부, ^{*}한국전기연구원 전기정보망기술연구그룹
 e-mail : [†]ecko99@amcs.ssu.ac.kr

A Selective Detection Scheme based on Pulse Repetition for Noncoherent UWB systems

Jaewoon Kim[†], Youngjin Park^{*}, Sunwoo Lee^{*}, Jaejin Lee, Chulhun Seo and Yoan Shin
 School of Electronic Engineering, Soongsil University
[†]Power Telecommunication Network Group, Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

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

I. 서론

2002년 4월 미국 연방통신위원회 (Federal Communications Commission; FCC)[1]의 주파수 할당 및 상업화 승인 이후 UWB 통신 기술에 대한 연구와 개발이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 UWB 시스템 특성상 나노초 (nano second) 단위의 매우 짧은 펄스가 사용되므로 UWB 다중경로 채널 환경에서 UWB 신호는 많은 수의 다중경로 성분들에 의해 확산된 형태로 수신되게 된다. 따라서, 수신된 UWB 신호의 순시적인 SNR는 각 비트 혹은 심벌에 따라 AWGN (Additive White Gaussian Noise)에 의해 랜덤하게 변화된다. 이에, 본 논문에서는 Noncoherent UWB 시스템의 복잡도와 BER 성능을 고려하여 펄스 반복 전송 기반의 선택적 검출 기법을 제안한다. 제안된 기법은 Noncoherent UWB 시스템의 복잡도를 고려하기 위해 매우 간단한 Time Diversity 알고리즘인 일반적인 PRC[2]와 동일하게 송신기에서 UWB 신호를 반복 전송하게 된다. 그러나 일반적인 PRC 알고리즘에 의한 데이터 복조 방식과는 달리, 제안된 기법은 Noncoherent UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시키기 위해 반복 전송되어 수신된 UWB 신호에 대한 SNR을 추정하여 선택적으로 신호를 검출하여 데이터 복조를 수행하게 된다.

II. Noncoherent UWB systems

본 논문에서는 Noncoherent UWB 시스템에 적합한 2PPM (Binary Pulse Position Modulation)[3]를 고려한다. 이 변복조 방식은 이진 비트 $b_j \in \{0,1\}$ 에 따라 하나

의 UWB 펄스의 위치를 직접 결정하는 방식으로, 2PPM에 의해 변조되어 전송된 신호 $s(t)$ 는 다음과 같은 펄스 형태로 Noncoherent UWB 수신기로 들어오게 된다[3].

$$s(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} w(t - jT_f - b_j\Delta_T) \quad (2)$$

여기서 $w(t)$ 는 일반적으로 UWB 시스템에서 널리 사용되는 가우시안 모노사이클 펄스 (Gaussian Monocycle Pulse)[4]가 송수신단 안테나 특성에 의해 미분된 형태로 수신되는 펄스를 나타내며, T_f 는 각 데이터 심벌을 위한 프레임 구간을 의미한다. 또한, Δ_T 는 2PPM 변복조 방식의 데이터 심벌 b_j 에 따라 펄스의 위치를 결정하는 파라미터로서 $T_f/2$ 로 설정되며, 이 값은 최대지연확산 (Maximum Delay Spread)보다 큰 값으로 설정된다[3]. 일반적으로 UWB 다중경로 채널 모델은 전형적으로 탭 지연선 (Tap-Delay-Line) 모델링을 기반으로 한다[5]. 따라서, UWB 다중경로 채널을 통과하여 수신된 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$r(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{\ell=0}^{L-1} \alpha_{\ell} w(t - jT_f - b_j\Delta_T - \tau_{\ell}) + n(t) \quad (3)$$

여기서 L 은 다중경로 성분의 수를 나타내며, α_{ℓ} 은 ℓ 번째 경로의 신호 크기를 의미한다. 또한, $\tau_{\ell} \equiv \tau_0 + \ell T_m$ 은 ℓ 번째 경로의 시간 지연이고, 여기서 T_m 은 다중경로 성분을 분해할 수 있는 최소 시간을 의미하며 이 값은 UWB 펄스의 폭 T_c 보다 커야한다[5].

Noncoherent 2PPM 수신기는 기본적으로 IDU (Integration and Dump Unit)으로 구성되며, 이 수신기의 CU (Control Unit)에서는 적분 시작위치와 구간을 정의하는 제어 신호 C_1 과 C_2 를 관리한다[3]. CU에 의해 제어된 C_1 과 C_2 에 따라 j 번째 프레임에서의 에너지 윈도우 बैं크의 출력 $q_{j,1}$ 과 $q_{j,2}$ 는 다음 식들에 의해 산출된다[3].

$$q_{j,1} \equiv q(t|C_1) = \int_{T_j}^{jT_f + T_i} r^2(t) dt \quad (4)$$

$$q_{j,2} \equiv q(t|C_2) = \int_{jT_f + \Delta_T}^{jT_f + \Delta_T + T_i} r^2(t) dt \quad (5)$$

여기서 적분 구간을 정의하는 T_i 는 $T_m \times N_s$ 이며, N_s 는 적분 구간을 정의하는 값을 나타낸다. 따라서, 본 논문에서는 ML (Maximum Likelihood) 검출기를 고려하므로, 이 검출기의 데이터 결정은 다음 식에 따라 수행된다[3].

$$\hat{b}_j = \begin{cases} 0, & \text{if } q_{j,1} \geq q_{j,2} \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

III. 제안된 선택적 검출 기법

시스템의 복잡도를 고려하면서 시스템의 BER 성능을 향상시키기 위해서는 일반적으로 시간 다이버시티 기법 중 하나인 PRC (혹은 반복 코드) 알고리즘[2]을 사용한다. PRC는 신호를 반복적으로 전송하는 (R,1) 코딩 알고리즘이며, 여기서 R은 코딩된 비트 혹은 반복된 펄스의 수를 나타낸다. 따라서, PRC 수신기는 반복 전송된 수신 신호를 복조하고 가장 많이 발생된 비트를 선택하게 된다[2].

한편, Noncoherent UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시키기 위해 길쌈부호화기 (Convolutional Code)가 사용될 수 있지만, 이 코드는 부호율 (Code Rate)과 구속장 (Constraint Length)에 따라 복잡도가 급격히 증가하게 된다[6]. 또한, PRC 알고리즘을 사용하는 Noncoherent UWB 시스템은 시스템의 복잡도는 크게 요구되는 않지만, 전송률 (Data Rate) 감소에 비해 BER 성능 이득이 크지 않은 단점이 있다[2]. 따라서, 저 복잡도와 저가를 목표로 하는 Noncoherent UWB 시스템의 주요 적용 분야를 고려해 볼 때, 시스템의 복잡도는 크게 증가하지 않으면서도 효과적으로 BER 성능을 향상시킬 수 있는 기법은 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 Noncoherent UWB 시스템의 복잡도와 BER 성능을 고려하여 펄스 반복 전송 기반의 선택적 검출 기법을 제안한다. 제안된 기법은 Noncoherent UWB 시스템의 복잡도를 고려하기 위해 매우 간단한 Time Diversity 알고리즘인 일반적인 PRC와 동일하게 송신기에서 UWB 신호를 반복 전송하게 된다. 그러나 UWB 다중경로 채널에서 수신된 신호는 가우시안 모노사이클 펄스의 폭이 매우 짧으므로 많은 수의 다중경로 성분에 의해 확산된 형태로 들어오게 된다. 따라서, 각 심벌에 대해 측정된 수신된 UWB 신호의 순시적인 SNR 값은 AWGN에 의해 매우 랜덤하다고 할 수 있다. 이러한 측면을 고려하여 제안된 기법은 일반적인 PRC 알고리즘과는 달리, Noncoherent UWB 시스템에서 수신된 반복 전송 신호의 SNR 값을 이용하여 선택적으로 신호 검출을 수행한다.

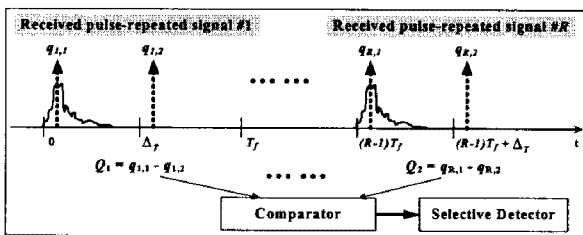


그림 2. 제안된 Slective Detection 기법의 처리 절차

그림 2에서는 펄스 반복 전송 기반의 제안된 선택적 검출 기법의 처리 절차에 대해 도시하고 있다. 우선, 제안된 기법은 식 (4)와 (5)에서 주어진 출력값 $q_{j,1}$ 과 $q_{j,2}$ 을 이용하여, 신호의 추정된 Quality 값 Q_j 을 다음 식을 통해 계산한다.

$$Q_j = q_{j,1} - q_{j,2}, \quad j = 1, \dots, R \quad (7)$$

다음으로 비교기 (Comparator)에서는 크기순에 따라 Q_j 값을 정렬하고, R번 반복된 펄스에 대한 각각의 $q_{j,1}$ 과 $q_{j,2}$ 값을 Q_j 의 순서에 따라 저장한다. 마지막으로, 선택적 검출기 (Selective Detector)는 비교기에 의해 정렬된 순서에 따라 선택된 j번째 프레임에서 심벌 검출을 수행한다. 여기서 선택된 심벌 프레임의 수는 SEL($\leq R$)로 정의된다. 따라서, 제안된 기법은 시스템의 복잡도 증가 없이 Noncoherent UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

IV. 모의실험 결과

제안된 선택적 검출 기법과 일반적인 PRC 알고리즘에 대한 성능 분석을 위해, 우선 본 논문에서는 IEEE 802.15.4a CM1 채널 모델[7]을 고려하였다. 또한, Noncoherent 2PPM UWB 시스템을 적용하였으며, 여기서 N_s 는 35로 고정하였다. 제안된 기법과 PRC는 공히 부호율을 $1/R$ 로 적용하였고, 제안된 기법을 위한 SEL 값은 1로 고정하였다.

그림 3에서는 제안된 기법 ("Proposed")과 일반적인 PRC 알고리즘 ("PRC")에 대한 Noncoherent 2PPM UWB 시스템의 E_b/N_0 에 따른 BER 성능을 나타내고 있다. 또한 이 그림에서 점선은 Uncoded 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. 더욱이, 제안된 기법의 수신기는 PRC 알고리즘과 비교하여 시스템의 복잡도가 거의 증가하지 않는다.

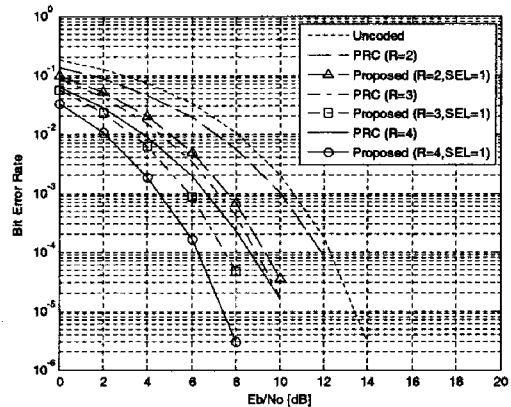


그림 3. IEEE 802.15.4a CM1에서의 BER 성능 비교

V. 결론

본 논문에서는 Noncoherent UWB 시스템의 복잡도와 BER 성능을 고려하여 펄스 반복 전송 기반의 선택적 검출 기법을 제안한다. 제안된 기법은 일반적인 PRC 알고리즘과 비교하여 시스템의 복잡도 증가 없이 Noncoherent UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업 (과제번호 10544)의 지원으로 수행되었음

VI. 참고문헌

- [1] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's rules regarding ultra-wideband transmission," ET Docket 98-153, Apr. 2002.
- [2] 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, Swiss, Sep. 2005.
- [3] M. Weisenhorn, and W. Hirt, "Robust noncoherent receiver exploiting UWB channel properties," *Proc. Joint UWBST 2004 & IWUWBS 2004*, pp. 156-160, Kyoto, Japan, May 2004.
- [4] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio : How it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [5] 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.
- [6] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall, 2002.
- [7] 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>.