

# Differential-Average Transmitted Reference Ultra-Wideband 통신 시스템

김 세 권\*, 김 재 운, 박 영 진†, 이 순 우†, 김 용 화†, 신 요 안  
 숭실대학교 정보통신전자공학부, † 한국전기연구원 전기정보망기술연구그룹

## Differential-Average Transmitted Reference Ultra-Wideband Communication Systems

Sekwon Kim\*, Jaewoon Kim, Youngjin Park†, Soonwoo Lee†, Yonghwa Kim†, and Yoan Shin  
 School of Electronic Engineering, Soongsil University

† Power Telecommunication Network Group, Korea Electrotechnology Research Institute

\*e-mail : heath@amcs.ssu.ac.kr

### Abstract

In this paper, we propose a novel D-ATR (Differential-Average Transmitted Reference) scheme for UWB (Ultra Wide Band) based on impulse radio. The proposed scheme utilizing differential coding at transceiver, does not cause half loss of data rate unlike the conventional TR (Transmitted Reference) and ATR (Average TR) systems which transmit additional reference signals. In addition, the proposed scheme may provide improved BER (Bit Error Rate) performance by averaging the received reference signals like the conventional ATR. The proposed D-ATR receiver produces the averaged reference template by considering both the detected data bit and the differential coding rule.

### I. 서 론

TR-UWB (Transmitted Reference-Ultra Wide Band) 시스템은 실제 UWB 응용제품의 구현을 위해 시스템의 비트오율 (Bit Error Rate; BER) 성능과 복잡도를 적절히 고려한 Semi-coherent 방식으로 알려져 있다[1]. 이러한 일반적인 TR-UWB 시스템은 간단한 수신기 구조를 가지고 있지만 두 가지 단점이 존재한다. 첫째, 참조 펄스 (Reference Pulse)가 AWGN (Additive White Gaussian Noise)로부터 영향을 받므로 시스템의 BER 성능이 열화된다. 둘째, 참조 신호를 추가로 전송하기 때문에 데이터 전송률이 2배 감소한다. 첫 번째 문제를 해결하기 위한 방안으로는 수신 참조 펄스들을 평균 취하여 참조 템플릿 (Template)의 신호대잡음비 (Signal-to-Noise Ratio; SNR)을 향상시키는 ATR (Average TR) 시스템이 소개되었다[1]. 두 번째 단점을 극복하기 위한 방안으로는 송수신단에서 차동 부호화 (Differential Coding) 방식을 이용하는 D-TR (Differential-TR) 시스템이 제시되었다[2]. 하지만, TR 기반의 UWB 시스템에서 이들 두가지 단점을 동시에 극복할 수 있는 방안은 아직까지 제안된바 없다. 이에, 본 논문에서는 TR-타입 UWB 시스템을 위해 데이터 전송률 감소없이 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있는 D-ATR 기법을 제안한다.

### II. UWB 신호와 송신기 구조

본 논문에서는 UWB 시스템을 위해 가우시안 모노 사이클 펄스 (Gaussian Monocycle Pulse)  $p(t)$ 를 고려하였고, 다음과 같이 표현된다[3].

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

여기서  $A$ 는 펄스의 크기를 나타내는 상수이고,  $\tau_p$ 는 펄스폭을 결정하는 파라미터이고 전송신호  $s(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$s(t) = \sqrt{E_s} \sum_{j=-\infty}^{\infty} e_j p(t-jT_f) \quad (2)$$

여기서  $E_s$ 는 심벌 에너지이고  $T_f$ 는 프레임 구간이다. 그리고,  $e_j$ 는 차동 부호화 및 레벨 시프터 (Level Shifter)로부터 아래와 같이 산출되는 데이터 심벌이다.

$$x_j = x_{j-1} \odot m_j \quad (3)$$

$$e_j = \begin{cases} -1, & \text{if } x_j = 0 \\ +1, & \text{if } x_j = 1 \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $\odot$ 는 등가연산 (Equivalent Operation)이고, 메세지 비트  $m_j$ 는 0 또는 1이며,  $x_j$ 는 차동 부호화된 비트이다. 그림 1은 D-TR 및 D-ATR 시스템을 위한 송신기의 구조를 도시하고 있다[4].

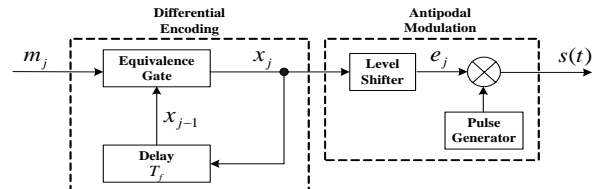


그림 1 : D-TR 및 D-ATR 시스템을 위한 송신기의 구조.

일반적으로 UWB 다중경로 채널 모델은 전형적으로 탭 지연선 (Tap-Delay-Line) 모델링을 기반하며, 채널 임펄스 응답  $h(t)$ 는 다음과 같다[5].

$$h(t) = \sum_{\ell=0}^{L-1} \alpha_{\ell} \delta(t-\tau_{\ell}) \quad (5)$$

여기서  $L$ 은 다중경로 성분의 수를 나타내며,  $\alpha_{\ell}$ 은  $\ell$ 번째 경로의 신호 크기를 의미한다. 식 (2)와 (5)를 이용하여 UWB 멀티패스 채널에서의 수신 신호  $r(t)$ 는 다음과 같이 표현된다. 여기서,  $n(t)$ 는 AWGN이다.

$$r(t) = \sqrt{E_s} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{\ell=0}^{L-1} \alpha_{\ell} e_j p(t-jT_f-\tau_{\ell}) + n(t) \quad (6)$$

### III. 수신기 구조

대역통과필터 (Band Pass Filter; BPF)를 통과한 수신 신호  $\tilde{r}(t)$ 는 다음과 같다.

$$r(t) = \sqrt{E_s} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{\ell=0}^{L-1} \alpha_{\ell} e_j \tilde{p}(t-jT_f-\tau_{\ell}) + \tilde{n}(t) \quad (7)$$

여기서  $\tilde{p}(t)$ 와  $\tilde{n}(t)$ 는 각각  $p(t)$ 와  $n(t)$ 의 대역통과필

터 출력을 나타낸다.

### 3.1 일반적인 D-TR 수신기

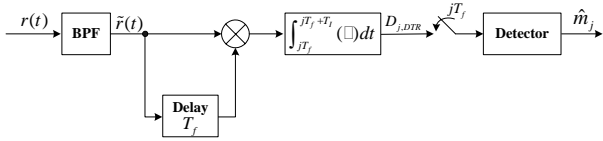


그림 2 : 일반적인 D-TR 수신기의 구조.

그림 2에서는 참조 신호의 전송 없이 이전의 수신 신호를 참조 템플릿으로 사용하여 복조를 수행하는 일반적인 D-TR 수신기를 도시하고 있다.  $j$ 번째 프레임에서,  $T_j$  ( $0 < T_j \leq T_f$ ) 구간동안 상관기의 출력  $D_{j,DTR}$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$D_{j,DTR} = \int_{jT_j}^{jT_j+T_j} r(t) \cdot \tilde{r}(t-T_j) dt \quad (8)$$

여기서  $j$ 는 프레임의 순서를 나타낸다. 각 프레임에서, 메시지 비트의 결정은 다음 식에 따라 수행된다.

$$\hat{m}_j = \begin{cases} 0, & \text{if } D_{j,DTR} \leq 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

### 3.2 제안된 D-ATR 수신기

그림 3에서는 제안된 D-ATR 수신기의 구조를 도시하고 있다. 제안된 기법은 3단계로 구성되는데, 이에 대한 세부적인 절차는 다음과 같다. 첫째, 제안된 기법은  $j-1$ 번째 추정된 참조 비트  $\hat{x}_{j-1}$ 와 검출된 비트  $\hat{m}_{j-1}$ 을 이용하여 다음과 같이  $j$ 번째 참조 비트  $\hat{x}_j$ 를 추정한다.

$$\hat{x}_j = \hat{x}_{j-1} \odot \hat{m}_{j-1} \quad (10)$$

여기서 첫 번째 참조 비트는 수신기에서 알고 있다고 가정하였다. 다음으로, 제안된 기법은 다음과 같이 레벨 시프터를 이용하여 데이터 심볼  $\hat{e}_j$ 를 추정한다.

$$\hat{e}_j = \begin{cases} +1, & \text{if } \hat{x}_j \odot \hat{x}_{j-1} = 0 \\ -1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

마지막으로, 제안된 D-ATR 수신기에서 데이터 복조를 위해 사용되는  $j$ 번째 참조 템플릿  $c_j(t)$ 는 재귀적으로 (Recursively) 다음과 같이 계산된다.

$$c_j(t) = \frac{1}{k} \left( \tilde{r}(t-jT_j) + \frac{1}{k-1} c_{j-1}(t) \times \hat{e}_j \right) \quad (12)$$

여기서  $k$ 는 재귀적으로 평균을 취하는 프레임의 순서이다. 그리고, 제안된 기법은  $j$ 번째 참조 템플릿  $c_j(t)$ 을 이용하여 다음과 같이  $j$ 번째 프레임의 상관기 출력  $D_{j,D-ATR}$ 를 계산하고, 이를 기반으로 복조 데이터 비트  $\hat{m}_j$ 를 검출한다.

$$D_{j,D-ATR} = \int_{jT_j}^{jT_j+T_j} \tilde{r}(t) \cdot c_j(t) dt \quad (13)$$

$$\hat{m}_j = \begin{cases} 0, & \text{if } D_{j,D-ATR} \leq 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

## IV. 모의실험 결과

일반적인 D-TR과 제안된 D-ATR에 대한 성능 분석을 위해, 본 논문에서는 IEEE 802.15.4a CM1 채널 모델[6]에서 가우시안 모노사이클 펄스를 사용하여 모의실험을 수행하였다. 제안된 기법에서 재귀적으로 평균을 취하는 프레임의 수  $N$ 은 10, 100, 그리고 1000으로 설정하였고, 이 구간동안 채널 임펄스 응답은 불변한다. 그림 4에서 알 수 있듯이, 제안된 기법은 높은

SNR 범위에서 일반적인 D-TR 시스템과 비교하여 TR-타입 UWB 시스템의 BER 성능을 약 1~3 dB 가량 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

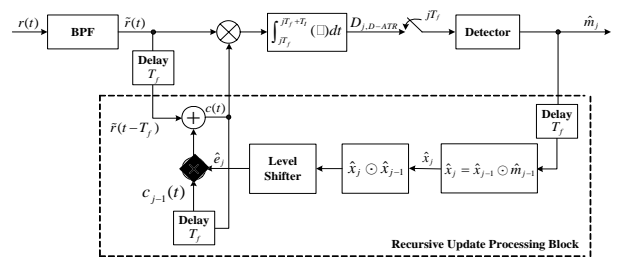


그림 3 : 제안된 D-ATR 수신기의 구조.

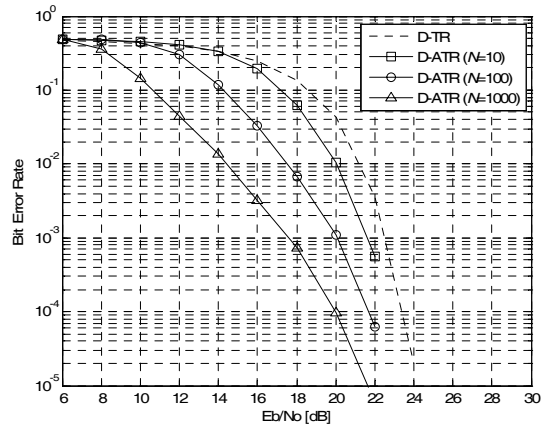


그림 4 : IEEE 802.15.4a CM1 채널 모델에서의 BER 성능.

## V. 결론

본 논문에서는 TR-타입의 UWB 시스템의 전송률과 BER 성능을 모두 고려하여 D-ATR 기법을 제안하였다. IEEE 802.15.4a UWB CM1 채널 모델에서 모의실험 결과, 제안된 기법은 일반적인 D-TR 시스템과 같이 차등 부호화 방식을 사용하지 않으므로 전송률 손실이 없었으며, 일반적인 D-TR 시스템과는 달리 참조 템플릿의 SNR을 향상시킴에 따라 BER 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 서울지방중소기업청 산학연 컨소시엄 사업 (과제번호 00023135)의 지원으로 수행되었음

## 참고 문헌

- [1] D. J. Choi and W. E. Stark, "Performance of ultra-wideband communications with suboptimal receivers in multipath channels," *IEEE Jour. Selected Areas in Commun.*, vol. 20, no. 9, pp. 1754-1766, Dec. 2002.
- [2] M. G. Khan, J. Nordberg, and I. Claesson, "A doublet-shift transmitted reference scheme for ultra-wideband communication systems," *Proc. ICUWB 2007*, pp. 845-850, Singapore, Sept. 2007.
- [3] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: How it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [4] Y-L. Chao and R. A. Scholtz, "Optimal and suboptimal receivers for ultra-wideband transmitted reference systems," *Proc. IEEE GLOBECOM 2003*, pp. 759-763, San Francisco, USA, Dec. 2003.
- [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] 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>.