

# Differential-Average Transmitted Reference Ultra Wide Band 통신 시스템

준회원 김 세 권\*, 정회원 김 재 운\*, 종신회원 신 요 안\*, 정회원 노 돈 석\*\*

## Differential-Average Transmitted Reference Ultra Wide Band Communication System

Sekwon Kim\* *Associate Member*, Jaewoon Kim\* *Regular Member*,  
Yoan Shin\*° *Lifelong Member*, Donsuk Roh\*\* *Regular Member*

### 요 약

본 논문에서는 임펄스 라디오 기반의 D-ATR UWB (Differential-Average Transmitted Reference Ultra Wide Band) 시스템을 제안한다. 기존의 TR (Transmitted Reference), ATR (Average TR) 등의 TR-UWB 시스템은 송신기에서 참조 신호를 추가로 전송하므로 데이터 전송률이 절반으로 감소하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 제안된 시스템의 송신기는 일반적인 D-TR (Differential-TR) 시스템과 같이 차동부호 방식을 사용한다. 또한, 제안된 D-ATR 시스템의 수신기는 일반적인 ATR 시스템과 유사하게 시스템의 비트오율 성능을 향상시키기 위해 수신된 참조 신호들을 재귀적으로 평균 취하여 자기상관에 사용되는 참조 템플릿의 신호대잡음비를 향상시킬 수 있는 구조로 설계된다. IEEE 802.15.4a UWB 다중경로 채널 모델에서 모의실험 결과, 제안된 D-ATR 시스템은 일반적인 D-TR 시스템에 비해 비트오율 성능이 크게 향상되는 것을 확인하였다.

Key Words : UWB (Ultra Wide Band), Impulse Radio, TR (Transmitted Reference), A-TR (Average TR), D-TR (Differential-TR), D-ATR

### ABSTRACT

We propose a D-ATR UWB (Differential-Average Transmitted Reference Ultra Wide Band) system based on impulse radio. The TR-UWB systems including traditional TR (Transmitted Reference) and ATR (Average TR), exhibit a problem of reduced data rate, since reference signals are additionally transmitted. To tackle this issue, the transmitter of the proposed D-ATR system employs a differential coding like the conventional D-TR system. In addition, the receiver of the proposed system has the structure that can improve signal-to-noise ratio of the reference template used in the correlation process, by recursively averaging the received reference signals like the conventional ATR system. The simulation results in the IEEE 802.15.4a UWB multipath channel models reveal that the proposed D-ATR system achieves much better bit error rate performance as compared to the conventional D-TR system.

※ 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신 및 정보처리 연구실 (heath@amcs.ssu.ac.kr, ecko99@amcs.ssu.ac.kr), (yashin@e.ssu.ac.kr)(°: 교신저자), \*\* (주)엘트로닉스 (dialroh@eltronix.co.kr)

논문번호 : KICS2008-11-524, 접수일자 : 2008년 11월 25일, 최종논문접수일자 : 2008년 12월 5일

## I. 서 론

2002년 4월 미국 연방통신위원회 (Federal Communications Commission; FCC)의 주파수 할당 및 상업화 승인 이후 초광대역 (Ultra Wide Band; UWB) 통신 기술에 대한 연구와 개발은 전세계적으로 새로운 전기를 맞고 있다<sup>[1]</sup>. 특히 현재는 표준 단일화 실패로 해체되었으나 100 Mbps 이상급 초고속 W-PAN (Wireless Personal Area Network)용 UWB 표준화를 담당했던 IEEE 802.15.3a<sup>[2]</sup>와 더불어, 향후 유비쿼터스 센서 네트워크에 요구될 무선측위 기능까지 수반하는 저속 저전력 W-PAN용 UWB 표준화 그룹인 IEEE 802.15.4a<sup>[3]</sup>를 중심으로 유수 관련 업체들이 경쟁적인 UWB 연구 개발 대열에 적극 참여하고 있는 상황이다<sup>[4]</sup>.

연속적인 정현파를 사용하는 기존의 무선통신 시스템과는 달리, IEEE 802.15.4a와 같은 전형적인 임펄스 라디오 (Impulse Radio) UWB 시스템 송신단에서는 1 nsec 내외의 매우 좁은 폭을 갖는 펄스 혹은 임펄스를 단속적으로 전송한다<sup>[5,6]</sup>. 이 때문에 이 시스템은 수백 MHz~수 GHz의 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 가능하다<sup>[7]</sup>.

이들 장점에도 불구하고, 임펄스 라디오 UWB 시스템은 많은 수의 다중경로 성분과 AWGN (Additive White Gaussian Noise)에 의해 왜곡된 임펄스 신호를 수신단에서 재결합하기 어려우므로 주어진 채널 환경에 상당히 민감하다고 할 수 있다. 이러한 이유에 의해, 대부분의 임펄스 라디오 UWB 수신기는 왜곡된 임펄스 신호를 효과적으로 결합하기 위한 높은 감도를 제공할 수 있는 Coherent Rake 형태의 복조기를 고용하고 있다. 이러한 Coherent 수신기는 매우 정밀한 동기 회로와 복잡한 Rake 형태의 수신 구조를 필수적으로 요구한다. 그러나, W-PAN 적용 분야의 특성상 설계된 UWB 송수신기는 구현이 용이해야 하고 저가 저전력 특성을 제공하면서도 다중경로 페이딩에 상당히 강인해야 된다.

이러한 요구 사항에 근접한 방식으로 최근 TR (Transmitted Reference)-UWB 시스템이 주목 받고 있다. TR-UWB 시스템은 실제 UWB 응용 제품의 구현을 위해 시스템의 비트오율 (Bit Error Rate;

BER) 성능과 복잡도를 적절히 절충한 Semi-coherent 방식이다<sup>[7]</sup>. 일반적인 TR-UWB 시스템은 간단한 수신기 구조를 가지고 있지만 두 가지 단점이 존재한다. 첫째, 참조 펄스 (Reference Pulse)가 채널 및 AWGN의 영향을 받으므로 시스템의 BER 성능이 열화된다. 둘째, 참조 신호를 추가로 전송하기 때문에 데이터 전송률이 절반으로 감소한다. 첫번째 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로, 수신된 참조 펄스들을 평균을 취하여 참조 템플릿의 신호대잡음비 (Signal-to Noise Ratio; SNR)을 향상시키는 ATR (Average TR) 시스템이 소개되었다<sup>[7]</sup>. 두번째 단점을 극복하기 위한 방안으로 송수신단에서 차동부호 (Differential Coding)를 이용하는 D-TR (Differential-TR) 시스템이 제시되었다<sup>[8]</sup>. 하지만, TR-UWB 시스템에서 이들 두 가지 단점을 동시에 극복할 수 있는 방안은 아직까지 제안된 바 없다.

이에 본 논문에서는 임펄스 라디오 기반의 TR-UWB 시스템을 위해 데이터 전송률 감소 없이 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있는 D-ATR 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 일반적인 D-TR 시스템과 같이 송신기에서 차동부호를 사용하므로 데이터 전송률의 손실이 없으며, 일반적인 ATR 시스템과 같이 수신된 참조 신호를 재귀적으로 (Recursively) 평균을 취함으로써 데이터 비트의 검출 시 사용되는 참조 템플릿의 SNR을 향상시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 TR-UWB 시스템을 위한 송수신 신호와 채널 모델, 그리고 D-TR UWB 송수신기에 대해서 설명하고, III장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 D-ATR 시스템에 대해 설명한다. 그리고 IV장에서는 제안된 시스템의 성능을 확인하기 위한 모의실험 결과를 제시한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 내린다.

## II. UWB 신호와 일반적인 D-TR 시스템

본 논문에서는 UWB 시스템을 위해 다음과 같은 가우시안 모노사이클 펄스 (Gaussian Monocycle Pulse)  $p(t)$ 를 고려한다<sup>[6]</sup>.

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

여기서  $A$ 는 펄스의 크기를 나타내는 상수이고,  $T_p$ 는 펄스폭  $T_p$ 를 결정하는 파라미터로서  $T_p \approx 2\tau_p$

이다. 이러한 펄스를 이용할 때 이진 시스템의 전송 신호  $s(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

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

여기서  $E_b$ 는 비트 에너지이고  $T_f$ 는 프레임 구간이다. 가우시안 모노사이클 펄스는 기함수이고  $|t| \rightarrow \infty$  일 때 급속히  $p(t) \rightarrow 0$ 이 되므로  $p(t) = 0$  ( $|t| > T_f/2$ )로 근사 가능하다. 이 때 펄스 에너지  $E_p$ 는 다음과 같다.

$$E_p \equiv \int_{-T_f/2}^{T_f/2} p^2(t) dt \quad (3)$$

한편 식 (2)에서  $e_j$ 는 차동부호화 및 레벨 시프터 (Level Shifter)로부터 아래와 같이 산출되는 데이터 심벌이다.

$$x_j = x_{j-1} \odot m_j \quad (4)$$

$$e_j = \begin{cases} -1, & \text{if } x_j = 0 \\ +1, & \text{if } x_j = 1 \end{cases} \quad (5)$$

여기서  $\odot$ 는 등가연산 (Equivalent Operation)이고, 메세지 비트  $m_j$ 는 0 또는 1이며,  $x_j$ 는 차동부호화된 비트이다. 그림 1은 기존의 D-TR<sup>[9]</sup> 및 추후 제안될 D-ATR 시스템에 공통적으로 이용되는 길쌘부호화기 (Convolutional Encoder)와 인터리버 (Interleaver)<sup>[10]</sup>가 고용된 송신기의 구조를 도시하고 있다.

UWB 다중경로 채널 모델은 전형적으로 탭 지연선 (Tap-Delay-Line) 모델링을 기반하며, 이 경우 채널 임펄스 응답  $h(t)$ 는 다음과 같다<sup>[11]</sup>.

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

여기서  $L$ 은 분해 가능한 다중경로 성분의 수를 나타내며,  $\alpha_{\ell}$ 은  $\ell$ 번째 경로의 크기를 의미한다. 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 시간이다. 또한  $\tau_0$ 는 송수신기간 거리로 인한 전송 시간 지연이며, 전체 프레임 구간  $T_f$  내에서 균일하게 분포한다고 가정하였다. 그리고 수신된 신호간의 부분 상관 (Partial Correlation)을 피하기 위해, 펄스 폭  $T_p$ 는  $T_m$ 과 같다고 가정하였다.

이와 같은 다중경로 채널을 통과한 수신단의 수신 신호는 식 (2)와 (6)를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sqrt{\frac{E_b}{E_p}} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{\ell=0}^{L-1} \alpha_{\ell} e_j p(t-jT_f - \tau_{\ell}) + n(t) \\ &= \sqrt{\frac{E_b}{E_p}} \sum_{j=-\infty}^{\infty} e_j g(t-jT_f) + n(t) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $g(t)$ 는 아래의 식과 같으며,  $n(t)$ 는 AWGN이다.

$$g(t) \equiv p(t) * h(t) = \sum_{\ell=0}^{L-1} \alpha_{\ell} p(t - \tau_{\ell}) \quad (8)$$

여기서, '\*'는 컨볼루션 연산이고,  $T_{m_{ds}}$ 를 채널의 최대 지연 확산이라 할 때  $g(t)$ 의 구간  $T_g \equiv T_p + T_{m_{ds}}$ 이다. 본 논문에서는 변조된 펄스간 간섭을 피하기 위하여  $T_f$ 가  $T_g$ 보다 크거나 같다고 가정하였다.

수신기에서 수신 신호는 송신 신호와 대역이 일치하는 대역통과필터 (Band Pass Filter)를 통과하게 되며, 필터의 출력 신호  $\tilde{r}(t)$ 는 아래와 같다.

$$\tilde{r}(t) = \sqrt{\frac{E_b}{E_p}} \sum_{j=-\infty}^{\infty} e_j \tilde{g}(t-jT_f) + \tilde{n}(t) \quad (9)$$

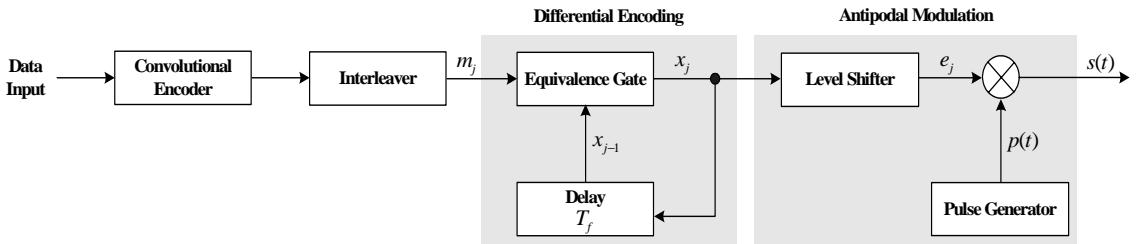


그림 1. 기존의 D-TR 및 제안된 D-ATR 시스템을 위한 송신기 구조  
Fig. 1. The structure of the conventional D-TR and proposed D-ATR transmitter

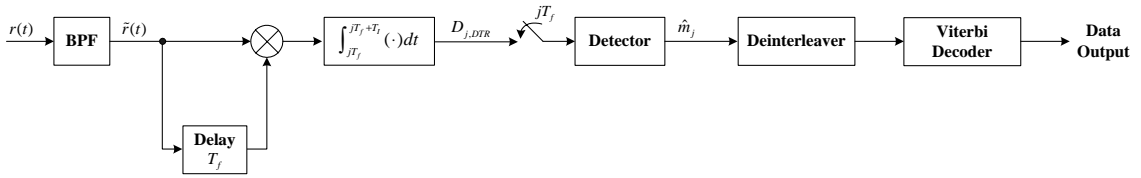


그림 2. 일반적인 D-TR 수신기 구조  
Fig. 2. The structure of the conventional D-TR receiver

여기서,  $\tilde{g}(t)$ 와  $\tilde{n}(t)$ 는 각각  $g(t)$ 와  $n(t)$ 가 필터를 통과한 출력이다.

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

$$D_{j,DTR} = \int_{jT_j}^{jT_j+T_j} r(t) \cdot \tilde{r}(t-T_j) dt \quad (10)$$

이 때, 각 프레임에서 메시지 비트의 결정은 다음 식에 따라 수행된다.

$$\hat{m}_j = \begin{cases} 0, & \text{if } D_{j,DTR} \leq 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

### III. 제안된 D-ATR 시스템

일반적인 TR-UWB 시스템은 간단한 수신기 구조를 가지고 있지만 두 가지 단점이 존재한다. 첫째, 참조 펄스가 채널 및 AWGN의 영향을 받아 왜

곡되므로 시스템의 BER 성능이 열화된다. 둘째, 참조 신호를 추가로 전송하기 때문에 데이터 전송률이 절반으로 감소한다. 이에, 이 장에서는 TR-UWB 시스템을 위해 데이터 전송률 감소 없이 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있는 D-ATR 시스템을 제안한다. 제안된 D-ATR 시스템은 일반적인 D-TR 시스템과 같이 송신기에서 차동부호화를 사용하므로 데이터 전송률의 손실이 없으며, 일반적인 D-TR 시스템과는 달리 수신된 참조 신호를 재귀적으로 평균을 취함으로써 데이터 비트의 검출 시 사용되는 참조 템플릿의 SNR을 향상시킨다.

그림 3에서는 디인터리버와 비터비 복호화기가 고용된 제안된 D-ATR 시스템의 수신기 구조를 도시하고 있다. 여기서 "Recursive Update Processing Block"는 수신된 참조 신호를 재귀적으로 평균을 취함으로써 참조 템플릿의 SNR을 향상시키는 일련의 과정이다. 이것은 3단계로 구성되는데 이에 대한 세부적인 절차는 다음과 같다.

첫째, 제안된 수신기는  $j-1$ 번째 프레임에서 추정된 참조 비트  $\hat{x}_{j-1}$ 와 검출된 비트  $\hat{m}_{j-1}$ 을 이용하여 다음과 같이  $j$ 번째 프레임의 참조 비트  $\hat{x}_j$ 를 추정한다.

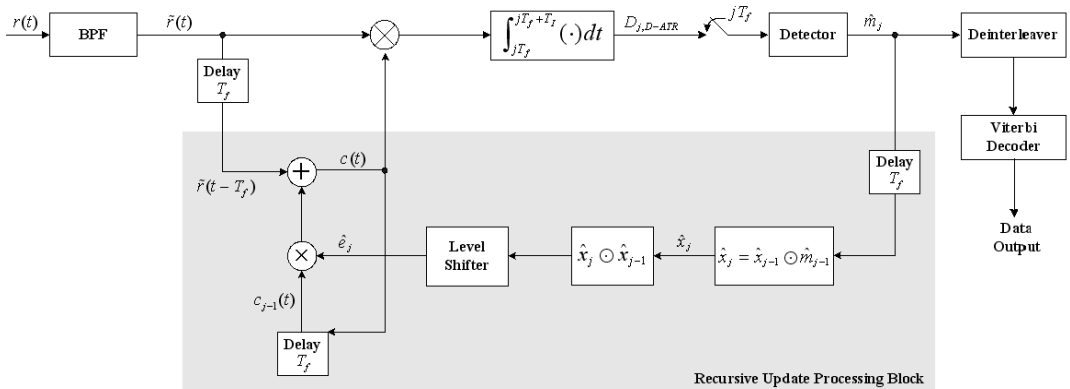


그림 3. 제안된 D-ATR 시스템의 수신기 구조  
Fig. 3. The receiver structure of the conventional D-ATR system

$$\hat{x}_j = \hat{x}_{j-1} \odot \hat{m}_{j-1} \quad (12)$$

여기서 맨 처음 프레임의 참조 비트는 수신기에서 알고 있다고 가정하였다. 다음으로, 레벨 시프터를 이용하여 데이터 심볼  $\hat{e}_j$ 를 추정한다.

$$\hat{e}_j = \begin{cases} +1, & \text{if } \hat{x}_j \odot \hat{x}_{j-1} = 0 \\ -1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

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

$$c_j(t) = \frac{1}{k} (\tilde{r}(t - jT_j) + (k-1)c_{j-1}(t) \times \hat{e}_j) \quad (14)$$

여기서  $k$ 는 재귀적으로 평균을 취하는 프레임의 순서이다. 그리고, 제안된 수신기는  $j$ 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.

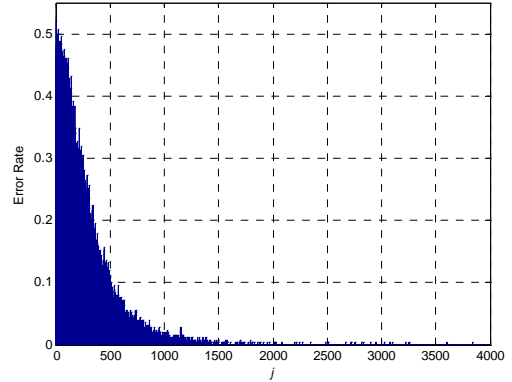
$$D_{j,D-ATR} = \int_{jT_j}^{jT_j + T_{i\sim}} \tilde{r}(t) \cdot c_j(t) dt \quad (15)$$

$$\hat{m}_j = \begin{cases} 0, & \text{if } D_{j,D-ATR} \leq 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

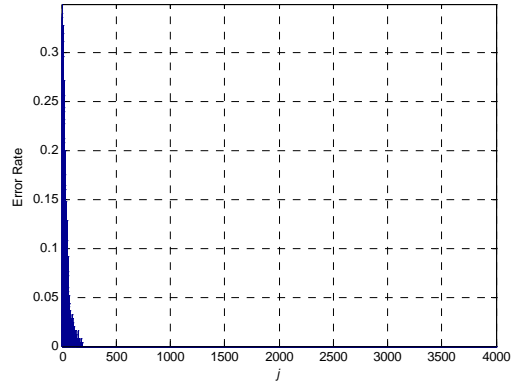
제안된 D-ATR 시스템의 수신기는 "Recursive Update Processing Block"만큼 시스템의 복잡도가 증가하는 단점을 가지고 있지만, 수신된 참조 신호를 재귀적으로 평균 취하여 참조 템플릿의 SNR을 향상시키기 때문에 데이터 전송률의 감소 없이 TR-UWB 시스템의 BER 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있다.

한편, D-ATR 수신기는 재귀적으로 참조 신호를 평균 취하는 횟수  $j$ 가 참조 템플릿의 SNR을 충분히 향상시킬 수 있는 횟수 이상이 된다면 이후의 비트열에서는 오류가 거의 발생하지 않는다, 하지만, 재귀적으로 참조 신호를 평균 취하는 횟수  $j$ 가 작은 경우에는 참조 템플릿의 SNR이 매우 낮아 복조된 대부분의 비트열이 오류가 생기는, 즉 연접 오류가 발생하게 된다.

좀 더 세부적으로 설명하면, D-ATR 수신기에서는 그림 4에서 확인할 수 있듯이 참조 템플릿이 데



(a)  $E_b/N_0 = 10$  dB



(b)  $E_b/N_0 = 14$  dB

그림 4. 재귀적으로 참조 신호를 평균 취하는 횟수  $j$ 에 따른 오류 확률  
Fig. 4. The error rate according to  $j$ , the number of reference template averaged recursively

이터 비트를 복조하기에 충분하지 않은 SNR을 갖는  $j$  이하의 비트열은 거의 모두 오류가 발생하는 것이나 다름없다. 따라서, 높은  $E_b/N_0$  일지라도 참조 템플릿이 복조에 있어 충분히 신뢰성 있는 SNR을 보장하지 않는  $j$  이하의 비트열은 연접 오류를 피할 수 없게 된다. 그러나 이러한 상황에서도 제안된 D-ATR 시스템은 인터리버를 사용하여 D-ATR 수신기에서 발생하는 연접 오류를 완화시켜주고, 비터비 복호화기를 통해 간단히 해결할 수 있게 된다.

#### IV. 모의실험 결과

D-TR 시스템과 제안된 D-ATR 시스템에 대한 성능 분석을 위해, 본 논문에서는 IEEE 802.15.4a CM1, CM5, CM8 채널 모델<sup>[12]</sup>에서 펄스 폭  $T_p$ 가

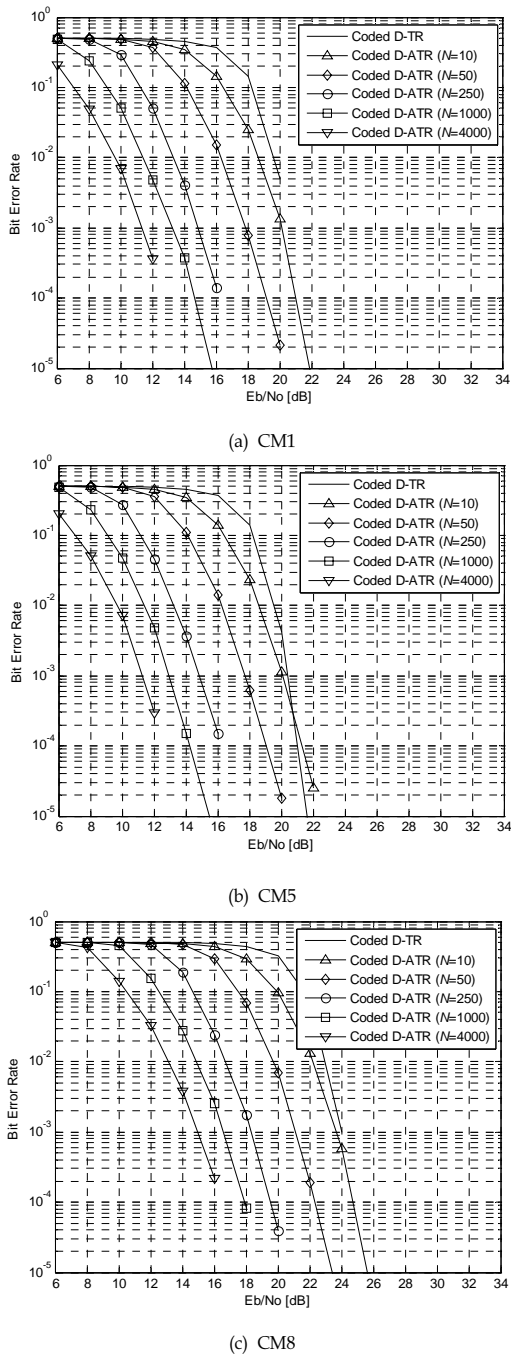


그림 5. 일반적인 D-TR 시스템과 제안된 D-ATR 시스템의 BER 성능 비교  
 Fig. 5. Comparison of BER performance between the conventional D-TR system and the proposed D-ATR system

약 0.7626 nsec인 가우시안 모노사이클 펄스를 사용하여 모의실험을 수행하였다. 제안된 D-ATR 시

표 1. 프레임의 수에 따른 인터리버의 크기  
 Table 1. Interleaver size according to the number of frame.

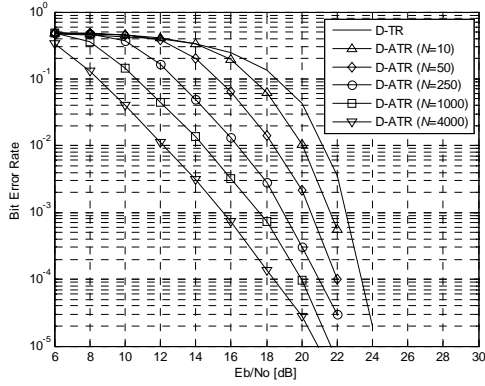
프레임의 수	인터리버의 크기
10	4×5
50	10×10
250	20×25
1000	40×50
4000	80×100

스템에서 재귀적으로 평균을 취하는 프레임의 수  $N$  은 10, 50, 250, 1000, 그리고 4000으로 동일하게 설정하였고, 이 구간 동안 채널 임펄스 응답은 불변한다.

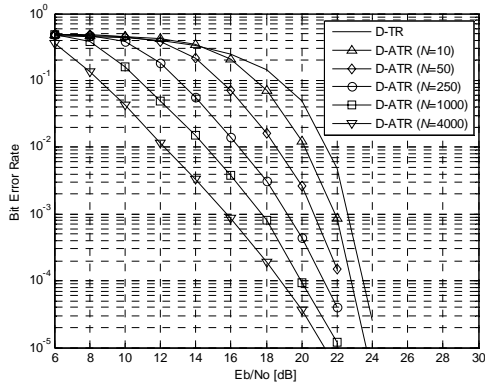
그림 5에서는 IEEE 802.15.4a CM1, CM5, CM8 채널 모델에서 일반적인 D-TR ("Coded D-TR") 시스템과 제안된 D-ATR 시스템 ("Coded D-ATR")의  $E_b/N_0$ 에 따른 BER 성능을 비교하여 도시하고 있다. 표 1에서는 부호화된 시스템에서 적용한 프레임 수에 따른 인터리버의 크기를 정리하고 있으며, 채널 코딩으로는 구속장 (Constraint Length)이 3이고, 생성다항식이  $(5,8)_8$ , 부호율 1/2인 길쌈부호화기를 사용하였다. 그림에서 알 수 있듯이, 제안된 D-ATR 시스템은 일반적인 D-TR 시스템과 비교하여 매우 큰 BER 성능 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있으며, 평균을 취하는 프레임의 수  $N$ 가 커질수록 BER 성능 이득이 더욱 더 커짐을 확인할 수 있다.

그림 6에서는 IEEE 802.15.4a CM1, CM5, 그리고 CM8 채널 모델에서 인터리버와 채널 코딩을 제외한 경우에 대한 일반적인 D-TR 시스템 ("D-TR")과 D-ATR 시스템 ("D-ATR")의  $E_b/N_0$ 에 따른 BER 성능을 도시하고 있다. 그림 6에서 알 수 있듯이, 부호화를 사용하지 않은 D-ATR 시스템은 일반적인 D-TR 시스템과 비교하여 TR-UWB 시스템의 BER 성능을 약 1~3 dB 가량 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 그러나 부호화를 사용하지 않은 D-ATR 시스템에서 재귀적으로 평균을 취하는 프레임의 수  $N$ 이 클 때,  $E_b/N_0$ 가 증가함에 따라 BER 성능의 증가 정도는 상대적으로 감소함을 확인할 수 있다.

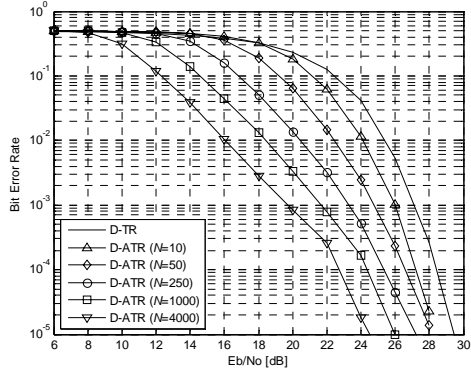
본 논문에서는 부호화를 사용하지 않은 D-ATR 시스템의 BER 성능 변화 정도를 확인하기 위하여 다음과 같이 참조 템플릿의 MSE (Mean Squared Error)를 측정하였다.



(a) CM1



(b) CM5



(c) CM8

그림 6. 부호화를 사용하지 않은 일반적인 D-TR 시스템과 D-ATR 시스템의 BER 성능 비교  
 Fig. 6. Comparison of BER performance between the conventional D-TR and the proposed D-ATR system excepting channel code and Interleaver

$$MSE = \sum_{j=1}^N (\tilde{r}_{j,no}(t) - c_j(t))^2 \quad (17)$$

여기서  $\tilde{r}_{j,no}(t)$ 는 AWGN의 영향을 받지 않은 수신 신호이다.

$$\tilde{r}_{j,no}(t) = \sqrt{\frac{E_b}{E_p}} e_j \tilde{g}(t - jT_f) \quad (18)$$

그림 7은 IEEE 802.15.4a CM1 채널 모델에서 부호화를 사용하지 않은 D-ATR 시스템의  $N$ 에 따른 참조 템플릿의 MSE를 보여주고 있다. 그림 7에서 알 수 있듯이, 부호화를 사용하지 않은 D-ATR 시스템은  $N$ 이 증가할수록 낮은  $E_b/N_0$ 에서는 참조 템플릿  $c_j(t)$ 의 SNR이 상당히 증가하지만,  $E_b/N_0$ 가 높아질수록 참조 템플릿  $c_j(t)$ 의 SNR 증가 정도가 감소하게 되고, 결국 참조 템플릿  $c_j(t)$ 의 SNR은  $E_b/N_0$ 에 관계없이 일정 수준으로 수렴하게 된다. 하지만, 이러한 현상도 그림 6의 결과로부터 확인할 수 있듯이 제안된 D-ATR 시스템은 채널부호와 인터리버를 고통함으로써 간단히 극복하여 BER을 효과적으로 향상시킬 수 있게 된다.

그림 8은 IEEE 802.15.4a CM1 채널 모델에서 제안된 D-ATR 시스템에 인터리버를 제외하고 길쌈 부호화기와 비터비 복호화기만을 사용하였을 경우의 BER 성능을 도시하고 있다. 그림 8에서 알 수 있듯이, 길쌈부호화기와 비터비 복호화기만을 사용할 경우 BER 성능은 개선할 수 있지만, 비터비 복호화기가 연립 오류에 약한 특성이 있기 때문에  $E_b/N_0$ 가 증가할수록 다이버시티 이득이 줄어드는 현상을 해결할 수 없으며  $N$ 이 충분히 크다면 더 이상의 BER 성능 개선이 없음을 확인할 수 있다.

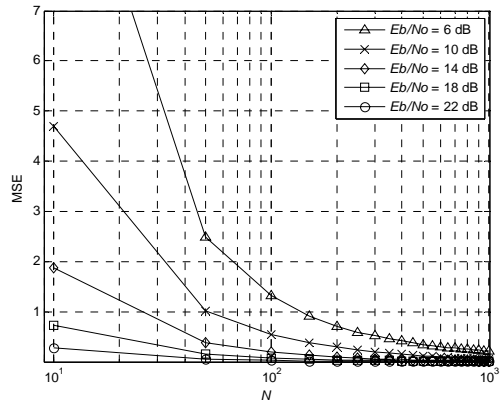


그림 7. IEEE 802.15.4a CM1 채널 모델에서 D-ATR 시스템의  $N$ 에 따른 참조 템플릿의 MSE  
 Fig. 7. MSE for the reference template of the D-ATR system according to  $N$  in the IEEE 802.15.4a CM1 channel model

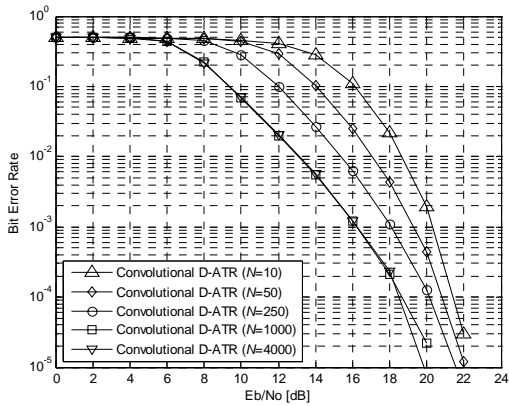


그림 8. IEEE 802.15.4a CM1 채널 모델에서 인터리버를 제외한 D-ATR 시스템의 BER 성능  
 Fig. 8. BER performance of the D-ATR system excepting interleaver in the IEEE 802.15.4a CM1 channel model.

### V. 결론

본 논문에서는 TR-UWB 시스템의 전송률과 BER 성능을 모두 고려하여 D-ATR 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템의 송신기는 일반적인 D-TR 시스템과 같이 차동부호화 방식을 사용하므로 전송률의 손실이 없다. 또한, 제안된 D-ATR 시스템의 수신기는 일반적인 ATR 시스템과 유사하게 시스템의 BER 성능을 향상시키기 위해 수신된 참조 신호들을 재귀적으로 평균 취하여 자기 상관에 사용되는 참조 템플릿의 SNR을 향상시킨다. 그리고 제안된 D-ATR 시스템은 채널부호와 인터리버를 사용하여 재귀적으로 참조 신호를 평균 취하는 횟수가 작은 경우 발생하는 오류를 효과적으로 극복한다. IEEE 802.15.4a CM1, CM5, CM8 채널 모델에서 모의실험 결과, 제안된 D-ATR 시스템은 데이터 전송률의 손실 없이 일반적인 D-TR 시스템에 비해 BER 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 그리고 제안된 D-ATR 시스템은 재귀적으로 참조 신호를 평균 취하는 횟수가 클수록 BER 성능 이득이 더욱 커짐을 확인하였다.

### 참고 문헌

[1] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's rules regarding ultra-wideband transmission," ET Docket 98-153, Apr. 2002.

[2] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3a.html>  
 [3] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>  
 [4] 신요안, 양석철, 오종욱, "IEEE 802.15 WPAN 기술 표준화 동향," *Telecommun. Review*, 제87호, pp.131-148, 2003년 11월.  
 [5] K. Siwiak and D. McKeown, *Ultra-Wideband Radio Technology*, John Wiley & Sons, 2004.  
 [6] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio : How it works," *IEEE Commun. Lett.*, Vol.2, No.2, pp.36-38, Feb. 1998.  
 [7] 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.  
 [8] 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.  
 [9] 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.  
 [10] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall, 2002.  
 [11] 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.  
 [12] 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>



김 세 권 (Sekwon Kim)

준회원



2007년 숭실대학교 정보통신전  
자공학부 학사  
2007년~현재 숭실대학교 정보  
통신공학과 박사과정  
<관심분야> 무선통신, UWB  
전송 시스템

신 요 안 (Yoan Shin)

중신회원



1987년 서울대학교 전자공학과  
학사  
1989년 서울대학교 전자공학과  
석사  
1992년 University of Texas at  
Austin 전기및컴퓨터 공학과  
박사

김 재 운 (Jaewoon Kim)

정회원



2004년 숭실대학교 정보통신전  
자공학부 학사  
2006년 숭실대학교 정보통신공  
학과 석사  
2006년~현재 숭실대학교 정보  
통신공학과 박사과정  
<관심분야> UWB 전송 시스템,  
OFDM 시스템, Cognitive Radio, MIMO-OFDM

1992년~1994년 오스틴 소재 MCC (Micro-electronics  
& Computer Technology Corp.) 연구원  
Member of Technical Staff

1994년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수  
<관심분야> OFDM 모뎀, UWB 전송 시스템,  
MIMO 시공간 신호처리, Cognitive Radio

OFDM 시스템, Cognitive Radio, MIMO-OFDM

노 돈 석 (Donsuk Roh)

정회원



1986년 경북대학교 전자공학과  
학사  
1986년~2000년 (주)삼성항공/삼  
성전자/삼성탈레스 선임연구원  
2000년~2002년 (주)텔웨이브 무  
선통신사업부장  
2002년~현재 (주)엘트로닉스 부  
설연구소장

<관심분야> RF, Radar, Transceiver, 무선통신, UWB