

고속 고신뢰의 UWB 신호 동기획득을 위한 향상된 두 단계 탐색 기법

준회원 김재운*, 양석철*, 정회원 신요안*

Enhanced Two-Step Search Scheme for Rapid and Reliable UWB Signal Acquisition

Jaewoon Kim*, Suckchel Yang* *Associate Members*, Yoan Shin* *Regular Member*

요약

본 논문에서는 다중경로 채널 환경의 초광대역 (Ultra Wide Band; UWB) 시스템에서 고속 고신뢰의 동기획득을 위한 향상된 두 단계 신호 탐색 기법인 TSS-LS (Two-Step Search scheme with the Linear search based Second step)를 제안한다. 제안된 TSS-LS는 기존에 본 저자들이 제안하였던 TSS-BS (Two-Step Search scheme with the Bit reversal search based Second step)와 견줄만한 매우 빠른 동기획득 성능을 달성할 수 있도록 Single-Dwell 연속 동기 탐색 기법에 기초하고 있으며 두 개의 다른 임계값과 탐색창을 적용한다. 반면, 제안된 TSS-LS는 UWB 시스템에서 동기획득의 고신뢰성을 보장하기 위해 두번째 단계에서 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 사용하는 TSS-BS와는 달리 Linear 탐색 알고리즘을 적용하게 된다. IEEE 802.15.3a의 UWB 다중경로 채널 환경에서의 모의실험 결과, 일반적인 탐색 기법보다 본 논문에서 제안된 두 단계 탐색 기법의 정규화된 평균 동기획득 소요 시간이 큰 폭으로 향상됨을 확인할 수 있었다. 특히, 신호 동기획득 과정과 연동된 비트오율 성능 평가에서 제안된 TSS-LS 기법의 경우 높은 신호 대잡음비에 대해 이상적인 성능에 필적하는 매우 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

Key Words : UWB; Signal acquisition, Linear search, Bit reversal search, Single-dwell, Double-dwell, Two-step search, TSS-BS, TSS-LS

ABSTRACT

In this paper, we propose an enhanced two-step search scheme for rapid and reliable signal acquisition in UWB systems under multipath channels. The proposed TSS-LS (Two-Step Search scheme with the Linear search based Second step) achieves rapid acquisition performance comparable to the conventional TSS-BS (Two-Step Search scheme with the Bit reversal search based Second step) already proposed by the authors, based on the single-dwell search with two-step thresholds and search windows. However, unlike the TSS-BS which employs the bit reversal search in the second step, the proposed TSS-LS utilizes the linear search in the second step to improve the reliability of signal acquisition. Simulation results with multipath channel models by IEEE 802.15.3a show that the two-step search schemes for the UWB signal acquisition can achieve significant reduction of the required mean acquisition time as compared to general search schemes. In addition, we observe that the proposed TSS-LS achieves quite good bit error rate performance for large signal-to-noise ratios, which is favorably comparable to the case of ideal perfect timing.

* 본 논문은 정보통신연구진흥원의 2005년도 정보통신기술기초연구지원사업 (#05-기초-034)의 지원 결과임

* 숭실대학교 정보통신전자공학부 (tecko99, ysc0809)@amcs.ssu.ac.kr, yashin@e.ssu.ac.kr

논문번호 : KICS2005-08-341, 접수일자 : 2005년 8월 19일

I. 서론

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[1]. 특히 100 Mbps 이상급 초고속 W-PAN (Wireless Personal Area Network)용 UWB 표준화를 담당하는 IEEE 802.15.3a[2]와 더불어, 향후 유비쿼터스 센서 네트워크에 요구될 무선 측위 기능까지 수반하는 저속 저전력 W-PAN용 UWB 표준화 그룹인 IEEE 802.15.4a[3]를 중심으로 유수 관련 업체들이 경쟁적인 UWB 연구 개발 대열에 적극 참여하고 있는 상황이다[4].

연속적인 정현파를 사용하는 기존의 무선통신 시스템과는 달리, 전형적인 UWB 시스템 송신단에서는 1 nsec 내외의 매우 좁은 폭을 갖는 펄스 혹은 임펄스를 단속적으로 전송한다[5,6,7]. 이 때문에 UWB 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 가능해진다[7]. 이에 반해, 초단시간 구간 단위의 데이터 변조 등을 위해서 매우 정밀한 동기 제어가 요구된다.

고속 W-PAN 응용이나 저속 무선측위 응용 모두를 위해, UWB 시스템을 구현 시 정확하고 빠른 UWB 신호의 동기획득 (Signal Acquisition)은 매우 중요한 문제라 할 수 있다. 최근 들어 이러한 UWB 신호의 동기획득과 관련된 여러 연구 결과가 보고되고 있으며[8,9,10], 특히 [8]에서는 일반적인 Single-Dwell 연속 동기 탐색 기반의 Linear 탐색 알고리즘의 동기획득 시간을 크게 감소하는 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 분석하였다. 더욱이 본 저자들은 일반적인 Single-Dwell Bit Reversal 탐색 기법보다 빠른 동기획득 성능을 위해 Bit Reversal 탐색을 기반으로 서로 다른 임계값 (Threshold)과 탐색창 (Search Window)을 사용하는 두 단계 (Two-Step) 탐색 기법인 TSS-BS (Two-Step Search scheme with the Bit reversal search based Second step)을 제안하였으며, 이 기법에 의해 기존의 다른 기법에 비해 요구되는 평균 동기획득 시간 (Mean Acquisition Time)을 크게 감소시킬 수 있음을 확인하였다[9].

한편, 두 단계 탐색 기법에서의 동기획득 속도와

비트오율 (Bit Error Rate; BER) 성능은 각각 첫번째와 두번째 단계에 사용되는 탐색 알고리즘에 따라 영향을 받게 된다. [9]에서 제안된 TSS-BS는 모든 단계에서 오직 Bit Reversal 탐색 알고리즘만을 적용함에 따라 연속적인 탐색 Bin 사이의 간격을 최대화하는 랜덤한 특성의 우수한 신호 탐색을 수행한다. 하지만 이 알고리즘은 매우 빠른 동기획득 성능을 보일 수 있는 반면, 두번째 단계에서의 Bit Reversal 알고리즘에 의한 랜덤한 동기획득 위치를 실패 지연 확산 (Effective Delay Spread)의 시작점으로 간주하게 하여 Rake 수신기 등을 이용하여 다중경로 결합에 의한 데이터 복조를 수행할 경우 적지 않은 성능 열화가 발생할 수 있다.

이에 본 논문에서는 기존의 두 단계 탐색 기법인 TSS-BS에서의 BER 성능 열화를 해결하여, 동기획득의 고속화 뿐만 아니라 신뢰성까지 보장할 수 있는 향상된 TSS-LS (Two-Step Search scheme with Linear search based Second step)를 제안한다. TSS-LS는 빠른 동기획득 속도를 얻을 수 있도록 TSS-BS에서와 마찬가지로 두 단계로 구성되나, TSS-BS와는 달리 다중경로 채널 환경에서의 실패 지연 확산의 시작점을 정확히 찾기 위해 두번째 단계에서 Linear 탐색 알고리즘을 적용하게 된다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 고려하는 UWB 신호 및 다중경로 채널 모델에 대해 설명하며 수신단 상관기의 출력 신호에 대해 정의한다. 3장에서는 일반적인 Single-Dwell 탐색 기법과 Double-Dwell 탐색 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 두 단계로 구성된 TSS-BS 및 본 논문에서 제안하는 TSS-LS에 대해 기술한다. 이어 5장에서는 IEEE 802.15.3a UWB 다중경로 채널 환경에서 다양한 임계값에 따른 동기획득 성능을 비교 분석하고, 이들 기법의 동기획득 위치를 반영하여 UWB 시스템의 BER 성능을 평가하며 이 결과에 대해 False Alarm 확률을 정량적으로 분석한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. UWB 신호 및 다중경로 채널에서 상관기 출력

UWB 신호 동기획득을 위해, 전형적인 UWB 시스템 송신단에서 다음과 같은 가우시안 모노사이클 펄스 (Gaussian Monocycle Pulse)[7,8] $p(t)$ 를 수신단으로 전송한다고 가정한다.

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

여기서 A 는 펄스의 크기를 나타내는 상수이고, τ_p 는 펄스폭을 결정하는 파라미터이다. 식 (1)에서의 전송 펄스 $p(t)$ 가 송신단 및 수신단 안테나의 미분 특성에 의한 영향을 받으면, 수신단의 상관기 (Correlator)에는 이 펄스를 미분한 형태의 새로운 펄스가 입력된다[5,6,8]. 따라서, 수신단 상관기에 입력되는 펄스 $w(t)$ 는 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$w(t) = A' \left(1 - \frac{4\pi t^2}{\tau_p^2}\right) e^{-2\pi(t/\tau_p)^2} \quad (2)$$

위 식에서 A' 은 크기를 나타내는 적절한 상수이다. 따라서 UWB 신호의 동기획득을 위한 전송 신호 $s(t)$ 는 이러한 수신 펄스를 프레임 단위로 반복 전송함으로써 다음과 같이 등가적으로 모델링될 수 있다. 단 여기서 T_f 는 프레임 구간이다.

$$s(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} w(t - jT_f) \quad (3)$$

한편 본 논문에서는 UWB 다중경로 채널 모델로서 IEEE 802.15.3a에서 제안한 UWB 채널 모델 [11]을 고려하였다. 이 모델은 기본적으로 Saleh-Valenzuela 모델[12]을 기초로 하고 있으며, 특히 다중경로 성분은 Cluster와 Ray의 형태로 도착하게 되고 이들의 진폭은 Log-Normal 분포에 의해 산출된다. 이 채널 임펄스 응답은 식 (4)에서와 같이 표현될 수 있다[11].

$$h(t) = X \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l} \delta(t - T_l - \tau_{k,l}) \quad (4)$$

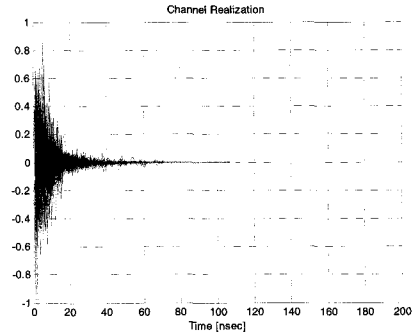
위 식에서, X 는 Log-Normal 분포의 Shadowing 성분, $\alpha_{k,l}$ 은 다중경로 페이딩 계수, T_l 은 l 번째 Cluster의 지연, $\tau_{k,l}$ 은 l 번째 Cluster 내에서 k 번째 경로의 지연을 각각 나타낸다. IEEE 802.15.3a에서는 환경과 조건의 특성에 따라 다음과 같이 4가지 서로 다른 UWB 채널 모델들을 제시하고 있다.

- 채널 모델 1 (CM1) : LoS (Line-of-Sight) 채널 (송수신단 거리 0~4 m)
- 채널 모델 2 (CM2) : NLoS (Non-LoS) 채널

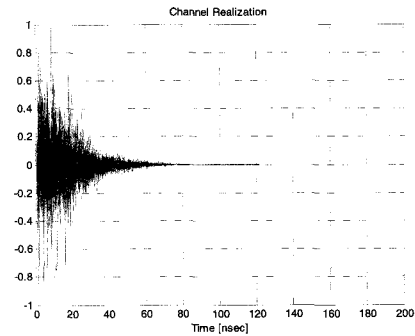
(송수신단 거리 0~4 m)

- 채널 모델 3 (CM3) : NLoS 채널 (송수신단 거리 4~10 m)
- 채널 모델 4 (CM4) : 25 nsec 실효 지연 확산을 갖는 극단의 NLoS 채널

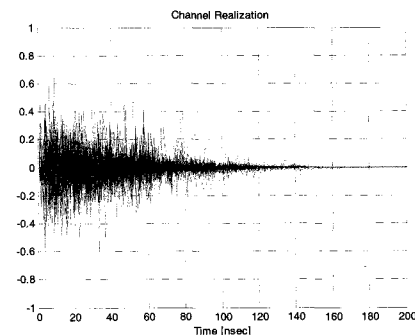
위와 같이 정의된 IEEE 802.15.3a UWB 채널 모델의 임펄스 응답 예들은 각 채널 모델에 따라 그림 1에서와 같이 도시될 수 있다.



(a) CM1

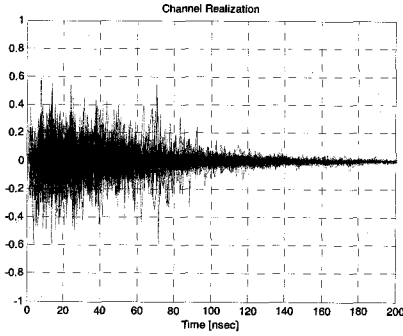


(b) CM2



(c) CM3

그림 1. IEEE 802.15.3a UWB 채널 모델의 임펄스 응답 예 (계속)



(d) CM4

그림 1. IEEE 802.15.3a UWB 채널 모델의 임펄스 응답 예

본 논문에서는 위의 채널 모델을 바탕으로, (4)에서의 임펄스 응답의 기본 시간 지연을 다중경로 성분을 분해할 수 있는 최소 시간인 T_m 이라고 하였을 때 신호 사이의 부분적인 상관 (Partial Correlation)을 피하기 위해 식 (2)의 펄스의 지속 시간 T_c 를 $T_c = T_m \approx 2\tau_p = 0.7626 \text{ nsec}$ 라고 가정하였다. 따라서 채널 모델의 임펄스 응답도 0.7626 nsec 단위로 샘플링되어, 식 (4)에서의 임펄스 응답은 다음과 같이 간략화된 식으로 나타낼 수 있다[8].

$$h(t) = \sum_{i=0}^{L-1} \alpha_i \delta(t - \tau_i) \quad (5)$$

여기서 α_i 는 i 번째 경로의 신호 진폭 감쇠를 나타내며, $\tau_i \equiv \tau_0 + iT_m$ 은 i 번째 경로의 시간 지연을 나타낸다. 또한 τ_0 는 송수신기 간 거리로 인한 전송 시간 지연이며, 전체 프레임 구간 T_f 내에서 균일하게 분포한다고 가정하였다.

이와 같은 다중경로 채널을 통과한 수신단의 수신 신호는 식 (3)과 (5)을 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$r(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{L-1} \alpha_i w(t - jT_f - \tau_i) + n(t) \quad (6)$$

위 식에서 $n(t)$ 는 부가성 백색 가우시안 잡음 (Additive White Gaussian Noise; AWGN)이다. 또한, 동기획득을 위한 수신단 상관기의 참조 신호는 아래와 식과 같이 표현될 수 있다.

$$v(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} w(t - jT_f - \epsilon^{(n)}) \quad (7)$$

여기서 $\epsilon^{(n)}$ ($n = 0, \dots, N-1$)은 동기획득을 위해

순차적으로 탐색하는 위치를 바꿔나가는 Bin의 위치를 나타내며, 탐색 단위 구간 (Bin Spacing)은 전체 프레임 구간 내에서 T_f/N 로 고정된다. 예를 들어, j 번째 프레임 내에서 n 번째 탐색 위치에 의해 신호가 상관기를 거쳐 출력된 값을 $z_j^{(n)}$ 이라 한다면, 이 출력값은 다음과 같이 표현 가능하다[8].

$$z_j^{(n)} = \int_{jT_f + \epsilon^{(n)} - T_c/2}^{jT_f + \epsilon^{(n)} + T_c/2} r(t)v(t)dt \quad (8)$$

III. 동기획득을 위한 일반적인 Single-Dwell 및 Double-Dwell 탐색 기법

UWB 신호 동기획득은 임의의 전송 지연 τ_0 에 대한 정밀한 추정을 통하여 UWB 신호 프레임의 경계를 정확히 맞추는데 목적이 있다[8]. 본 논문에서는 Single-Dwell 연속 동기 탐색을 위해 Markov 분석을 기반으로 하여, 현재 탐색 구간에서 상관기 출력값의 크기가 임계값을 넘을 때 동기를 획득했다고 보고 탐색을 종료하며 임계값을 넘지 않을 때는 다음 구간으로 탐색을 전환하는 방법을 고려하였다. 여기서 현재 탐색 구간에서 다음 탐색 구간으로 전환될 확률을 p_n 이라 하면 현재 구간에서 탐색을 종료되는 확률은 $1 - p_n$ 이 된다. 확률 p_n 은 식 (8)의 상관기 출력을 고려할 때 $\epsilon^{(n)}$ 의 함수로서 (즉, $p_n \equiv p_n(\epsilon^{(n)})$) 다음과 같이 구해진다.

$$p_n = \Pr(|z_j^{(n)}| \leq \Gamma), j = \dots, -1, 0, 1, \dots \quad (9)$$

여기서, $n = j \bmod N$ 이며, Γ 는 탐색이 종료되기 위한 임계값이다. 일반적으로 임계값 Γ 가 커질수록 정확한 동기획득이 가능하나 탐색 종료 확률이 작아지므로 결국 탐색 종료까지의 동기획득 시간이 길어지게 된다.

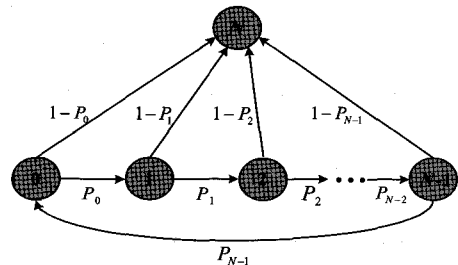


그림 2. Single-Dwell 연속 동기 탐색을 위한 Markov Chain 모델

그림 2에서는 연속 동기 탐색을 위한 Markov Chain 모델을 도시하며, 여기서 $\{0, 1, \dots, N-1\}$ 은 탐색할 Bin의 위치를 나타내고 N 은 탐색이 종료된 상태를 나타낸다. 만약 모든 다중경로 성분을 알고 있다고 가정한다면, 각각의 Bin을 거치며 탐색이 종료되기까지 소요되는 시간 T 의 기대값 $E(T)$, 즉 평균 동기획득 시간은 아래와 같이 구할 수 있다[8].

$$E(T) = \frac{1 + \sum_{m=0}^{N-2} \prod_{n=0}^m p_n}{1 - \prod_{n=0}^{N-1} p_n} \quad (10)$$

하지만 실제로 다중경로 채널 파라미터들인 α_i, τ_i 에 대한 정확한 값들을 알지 못하기 때문에 통계적 모델 및 이를 이용한 평균의 계산이 필요하다. 특히 τ_0 가 탐색 단위 구간 간격인 T_f/N 단위로 $\{0, T_f/N, 2T_f/N, \dots, (N-1)T_f/N\}$ 의 값을 가지며 변화한다고 가정할 때, 평균 동기획득 시간 $E(T)$ 를 다음과 같이 다시 구할 수 있다[8].

$$E(T) = \frac{1}{N} \sum_{\tau_0=0}^{(N-1)T_f/N} \frac{1 + \sum_{m=0}^{N-2} \prod_{n=0}^m p_n(\tau_0)}{1 - \prod_{n=0}^{N-1} p_n(\tau_0)} \quad (11)$$

한편 구간을 변화해 가며 동기 탐색을 하는 동안 탐색이 종료되는 Bin들을 랜덤변수 X_0, X_1, \dots, X_{J-1} 로 정의할 수 있다. 여기서 J 는 신호의 동기획득을 위한 임계값을 넘어 탐색을 종료하게 될 구간을 나타내고, $J \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ 의 Bin들로 구성될 수 있다. 다시 말해 J 는 Markov Chain에서 p_n 이 0인 구간이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 동기획득을 위한 기본 탐색 알고리즘으로 Linear 탐색과 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 고려하였다. 이 두 가지 탐색 알고리즘은 동기획득을 위한 참조 신호의 탐색 위치 순서를 어떻게 결정하느냐에 따라 구분된다. 먼저 Linear 탐색 알고리즘은 $N \approx 2^m$ 개의 전체 탐색 영역 Bin들에 대한 탐색 순서를 $\{0, 1, \dots, N-1\}$ 의 순서에 따라 순차적으로 정한 것으로, 이 경우 이상적인 평균 동기획득 시간은 다음과 같이 표현될 수 있다[8].

$$E(T) = \frac{(N-J)^2 + (3N-J)}{2N} \quad (12)$$

한편, 예를 들어 $m = 3$ 일 경우 $N = 8$ 개의 Bin들로 구성되고 이를 일반적인 이진수로 나타내면 아래와 같이 Linear 탐색 알고리즘에서의 탐색 순서 $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 를 얻을 수 있다.

Binary : 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111
 Decimal : (0) (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

반면, 이에 Bit Reversing 연산을 적용하게 되면 다음과 같이 새로운 탐색 순서 $\{0, 4, 2, 6, 1, 5, 3, 7\}$ 을 얻을 수 있게 된다.

Binary : 000, 100, 010, 110, 001, 101, 011, 111
 Decimal : (0) (4) (2) (6) (1) (5) (3) (7)

이러한 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 이상적인 평균 동기획득 시간은 다음과 같이 구해질 수 있다 [8].

$$E(T) = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{J} + 1 \right) \quad (13)$$

더 나아가, UWB 신호의 동기획득 성능 향상을 위해 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 적용한 Double-Dwell 탐색 기법[10]을 고려할 수 있다. 이 탐색 기법은 신호의 동기획득을 위하여 두 개의 상관기를 동시에 사용하며, 각각의 상관기는 전체 탐색 영역을 절반으로 나누어 독립적으로 Bit Reversal 알고리즘을 적용하여 탐색을 수행하게 된다. 이러한 두 개의 상관기 출력값 중 어느 하나라도 주어진 임계값보다 크면 탐색을 종료하게 된다.

IV. TSS-BS 및 고속 고신뢰 동기획득을 위한 TSS-LS 기법

일반적인 Double-Dwell 방식의 탐색 기법은 동기획득 속도 측면에서 일반적인 Single-Dwell 방식에 비해 두 배 가량 우수하나, 두 개의 상관기를 동시에 사용하기 때문에 시스템 복잡도를 증가시키는 단점을 피할 수 없다. 이에 본 저자들은 이러한 기존의 탐색 기법에 대한 동기획득 속도를 효과적으로 향상시킬 수 있는 TSS-BS 탐색 기법을 [9]에서 제안한 바 있다. TSS-BS 기법은 기본적으로 두 단계로 구성되어 있고, 각각의 단계에서는 서로 다른 크기의 임계값과 탐색창을 가지고 있다. 또한 TSS-BS에서는 첫번째와 두번째 단계 모두에서 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 사용하며, 단일 상관기를

사용하는 Single-Dwell 방식을 적용하게 된다. 이러한 TSS-BS 탐색 기법에서 첫번째와 두번째 단계의 목표는 각각 다중경로 채널에서 실효 지연 확산의 범위에 속하는 임의의 Bin 위치에 대한 탐색 및 최종 데이터 복조를 위한 실제 신호 동기획득에 있다. 그러므로 이 기법을 사용하게 되면 첫번째 단계에 의해 신호 성분이 없는 Bin에서 불필요한 탐색을 우회할 수 있고, 두번째 단계에 의해 최종적인 높은 임계값으로 신호의 동기획득을 할 수 있으므로 동기획득 시간을 효과적으로 줄일 수 있게 된다.

TSS-BS에 대해 좀더 세부적으로 살펴보면, 먼저 첫번째 단계에서 Γ_1 의 임계값을 이용하여 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 적용한 Single-Dwell 연속 탐색 기법에 의해 한 프레임이 T_f nsec인 전체 탐색 구간 N 에서 탐색 위치 $\epsilon^{(n)}$ 에 따라 “대략적으로 (Roughly)” 추정한다. 이와 동시에 Γ_1 을 가지고 전체 탐색 구간 내의 다중경로 채널의 최대 지연 확산 (Excess Delay Spread) θ 를 추정한다. 다음 과정으로 Γ_1 에 의해 결정된 탐색 위치 $\epsilon^{(n)}$ 에서 $\epsilon^{(n)} - \theta + 1, \dots, \epsilon^{(n)} + \theta$ 범위의 크기 2θ 인 새로운 탐색창 T_f' 을 설정하고, 이 새롭게 설정된 탐색 구간에서 Γ_2 의 임계값을 가지고 동기획득을 위해 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 적용하여 “세밀히 (Fine)” 탐색하게 된다. 이 때, 첫번째 단계에서 실효 다중경로 성분이 존재하는 J 구간은 두번째 단계에 대한 탐색창의 절반으로 구성된 최대 지연 확산 θ 보다 작아야 한다[9].

이러한 두 단계 탐색 기법에서 동기획득 속도와 BER 성능은 각각 첫번째와 두번째 단계에 의해 크게 좌우된다. TSS-BS는 첫번째 단계뿐만 아니라 두번째 단계에서도 Bit Reversal 알고리즘을 사용하게 되는데, 이는 연속적으로 탐색되는 두 개의 Bin 간 거리를 최대화하는 랜덤한 특성을 가지고 있다. 따라서 TSS-BS에서는 두번째 단계에도 이러한 Bit Reversal 알고리즘을 통하여 채널의 실효 다중경로 지연 확산의 범위에서 랜덤한 동기획득 위치를 잡게 되므로 매우 빠른 동기획득 성능을 갖게 되는 반면, 실효 다중경로 지연 확산의 맨 처음 위치를 잡지 못하게 될 가능성이 존재하게 된다. 결국 TSS-BS 기법에 의해 결정된 동기획득 위치에서부터 다중경로 성분을 결합하기 위해 Rake 형태의 수신기를 사용한다면, 심각한 BER 성능 열화를 피할 수 없게 됨을 의미한다.

이에 본 논문에서는 다중경로 채널 환경에서

UWB 시스템을 위한 고속의 동기획득 속도를 유지 하면서, 동시에 안정적인 BER 성능을 보장할 수 있는 TSS-LS 기법을 제안한다. 제안된 TSS-LS에서는 [9]에서와 유사하게 고속의 동기획득을 위해 각각의 두 단계에서 두 개의 다른 임계값과 탐색창을 사용하게 된다. 그러나 TSS-BS와는 다르게 TSS-LS에서는 다중경로 채널의 실효 지연의 범위에서 맨 처음 시작하는 지점을 정확히 찾기 위해 두번째 단계에서 Linear 탐색 알고리즘을 적용하게 된다. 그러므로 TSS-BS에서와 같이 첫번째 단계에서는 신호 성분이 없는 Bin에서의 불필요한 탐색을 효과적으로 우회하게 되므로 고속의 동기획득 성능을 유지할 수 있고, TSS-BS에서와 다르게 최종의 동기획득을 결정하는 두번째 단계에서 Linear 탐색을 사용함에 따라 실효 지연의 처음 부분에 해당하는 위치에서 동기를 획득하게 되어 다중경로 성분을 효과적으로 결합할 수 있어 BER 성능을 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다. 표 1에는 기존의 TSS-BS와 제안된 TSS-LS의 신호 동기획득 알고리즘을 정리하고 있다. 또한 그림 3에서는 일반적인 Single-Dwell Bit Reversal 탐색 기법과 함께 TSS-BS 및 제안된 TSS-LS의 동기획득 방식에 대하여 예를 들어 비교 설명하고 있다.

표 1. 제안된 두 단계 탐색 알고리즘의 설명

STEP 1 : Rough search
① Search “roughly” all bins in a frame T_f by bit reversal algorithm using the first threshold Γ_1 . ② Estimate a signal bin $\epsilon_1^{(n)}$ which is any position in the range of effective delay spread (θ bins) of the multipath channel within the given frame.
STEP 2 : Fine search
③ Assign new search window T_f' of size 2θ bins around $\epsilon_1^{(n)}$ as $\epsilon^{(n)} - \theta + 1, \dots, \epsilon^{(n)} + \theta$. ④ Search “finely” the selected 2θ bins in the newly allocated window by “bit reversal algorithm” (TSS-BS) or “linear algorithm” (TSS-LS) using the second threshold $\Gamma_2 (< \Gamma_1)$.

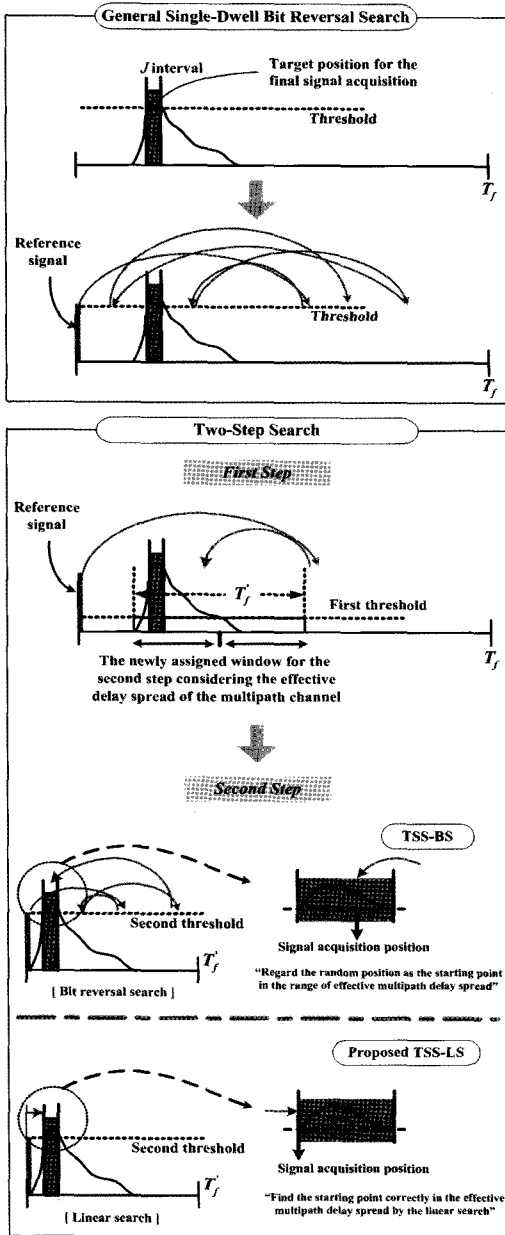


그림 3. 일반적인 Single-Dwell Bit Reversal 탐색 기법과 두 단계로 구성되는 TSS-BS 및 제안된 TSS-LS의 동기획득에 대한 예

V. 모의실험 결과

모의실험을 위해 다중경로 채널 모델로서 IEEE 802.15.3a UWB 채널 모델 CM1~CM4[11]를 고려하였다. 여기서 앞서 2절에서 펄스의 지속 시간을 $T_c = T_m (\approx 2\tau_p)$ 로 가정하였으므로 각 채널 임펄스 응답을 0.7626 nsec 단위로 샘플링하였고, 펄스

폭 파라미터 τ_p 는 0.3813 nsec로 설정되었다. 또한, 가우시안 모노사이클 펄스의 크기는 1, 펄스당 샘플의 수는 127개로 하였다[9].

우선 평균 동기획득 시간을 평가하기 위해 신호 대잡음비 (Signal-to-Noise Ratio; SNR)가 매우 큰, 즉 잡음이 없는 다중경로 채널 환경을 가정하였다. 전체 프레임 구간 T_f 는 다중경로에 의한 펄스 간 간섭을 피하기 위해 1000 nsec로 충분히 큰 경우를 고려했으며, 탐색 구간을 나누기 위한 Bin의 수 N 은 8192를 고려하였다. 또한 두 단계 탐색을 하는 기존의 TSS-BS와 제안된 TSS-LS를 위한 첫번째 단계에서의 임계값 Γ_1 과 두번째 단계에서의 새로운 탐색창의 크기 2θ 는 표 2에서와 같이 정한 값들을 이용하였다. 여기서 두번째 단계에서의 탐색창 2θ 의 크기는 첫번째 단계에서의 임계값 Γ_1 에 따른 실효 다중경로 성분이 존재하는 J 구간을 충분히 포함할 수 있는 최소의 최대 지연 확산 θ 로 결정되었다.

표 2. 두 단계 탐색을 위한 첫번째 임계값 및 탐색창의 설정 값

채널 모델	첫번째 임계값 (Γ_1)	탐색 창 (2θ)
CM1	5.0	512
CM2	5.0	512
CM3	5.0	1024
CM4	5.0	2048

그림 4에서는 채널 모델 (CM1~CM4)과 다양한 임계값 Γ (이 값은 TSS-BS와 TSS-LS에서 Γ_2 와 동일)에 대하여 일반적인 Single-dwell Bit Reversal 탐색 기법과 TSS-BS 및 제안된 TSS-LS의 J/N 에 따른 정규화된 평균 동기획득 시간 $E(T)/N$ 을 비교하여 나타낸다. 이 그림에서는 Single-Dwell Linear 및 Bit Reversal 탐색 기법의 이상적인 곡선을 각각 점선과 실선으로 나타내었다[8]. 이 결과로부터 기존의 TSS-BS가 일반적인 Single-Dwell Bit Reversal 탐색 기법보다 매우 빠른 동기획득 성능을 보임을 알 수 있으며, 제안된 TSS-LS가 기존의 TSS-BS와 거의 유사한 우수한 동기획득 성능을 보임을 확인할 수 있다. 특히 임계값 Γ 이 점점 커질수록 (즉, J/N 이 점점 작아질수록) UWB 시스템에서 고품질의 신호 동기획득을 할 수 있기 때문에 보다 신뢰성 있는 복조가 가능해지므로, 이러한 점에서 볼 때 제안된 TSS-LS는 TSS-BS에 필적하는 매우 빠른 동기획득 성능을 가짐을 알 수 있다.

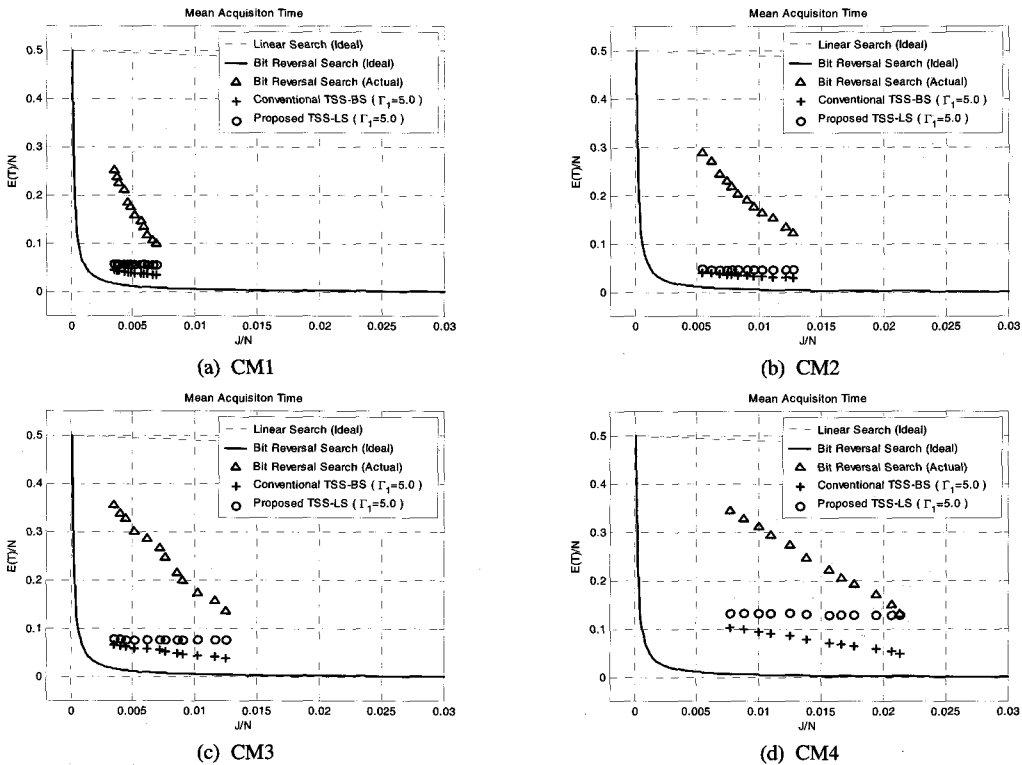


그림 4. 정규화된 평균 동기획득 시간의 비교 ($\Gamma_1 = 5.0$, No Noise)

한편, 각각의 기법에 따른 신호 동기획득의 신뢰성을 검증할 수 있는 BER 성능 평가를 위해, 다음의 실험에서는 AWGN이 있는 다중경로 채널 환경을 고려하였다. 모든 실험에 대하여 신호의 동기획득을 위한 임계값 $\Gamma = \Gamma_2$ 는 10.0으로 고정되었고, 데이터 변조 방식으로는 BPSK (Binary Phase Shift Keying)를 적용하였다. 게다가, 다중경로 채널 환경에 대하여 분해 가능한 모든 경로들에서 가장 강한 몇 개의 성분만을 결합함으로써 신호를 복조할 수 있는 SRake (Selective Rake) 수신기를 사용하였다 [13]. 여기서 SRake 수신기의 Finger 개수는 10으로 설정하였고, 채널 추정은 완벽하다고 가정하였다 [14]. UWB 시스템의 BER 성능을 평가하기 위해 수신기에서 최종의 데이터 복조는 잡음 환경에서 각각의 탐색 기법으로부터 찾게된 신호 동기획득 위치를 반영하여 평가하였다. 신호 동기획득을 위해 첫번째 임계값 Γ_1 은 5.0, 최종의 임계값 $\Gamma (= \Gamma_2)$ 는 10.0으로 적용되었으며, 또한 잡음이 존재하는 IEEE 802.15.3a UWB 다중경로 채널 환경에서 각각의 동기획득 기법에 의해 획득하게 되는 동기 위치 시점에서부터 SRake 수신기를 이용하여 다중경

로 성분들을 결합한 후 데이터를 복조하게 된다.

그림 5에서는 UWB 시스템 수신단에서 동기획득 기법이 연동된 경우의 BER 성능을 E_b/N_0 에 따라 도시하고 있다. 그림에서 실선은 이상적으로 완벽한 타이밍을 가정하였을 때의 BER 성능을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 큰 E_b/N_0 에 해당하는 부분에서의 BER 성능은 제안된 TSS-LS가 TSS-BS와 일반적인 Single-Dwell Bit Reversal 탐색 기법보다 대략 4~5 dB 정도 우수함을 확인할 수 있고 이상적으로 완벽한 타이밍을 가정한 경우와 거의 비슷한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 결과적으로 제안된 TSS-LS는 기존의 TSS-BS와 거의 동일한 매우 우수한 동기획득 성능을 보임과 동시에, 이상적으로 완벽한 타이밍을 가정한 경우에 근접하는 BER 성능을 보임을 알 수 있다.

앞서의 모의실험 결과인 그림 5에서 알 수 있듯이, 이상적으로 완벽한 타이밍을 가정한 경우에서의 BER 성능에 비해 실제 UWB 신호 동기획득 결과가 반영된 변복조 성능은 E_b/N_0 가 0~10 dB인 경우 상당히 열화되었다가 대략 10 dB 이상인 경우 급격히 향상됨을 확인할 수 있다. 이에 대한 정량적

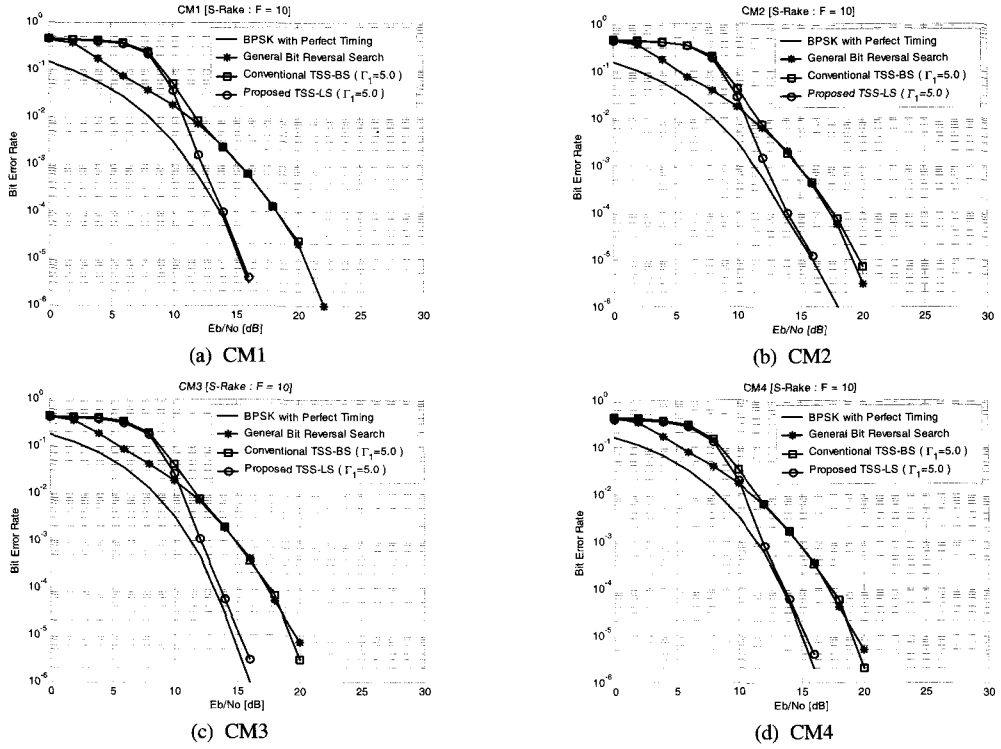


그림 5. 동기획득 기법과 연동된 BER 성능의 비교 ($\Gamma_1 = 5.0, \Gamma = \Gamma_2 = 10.0$)

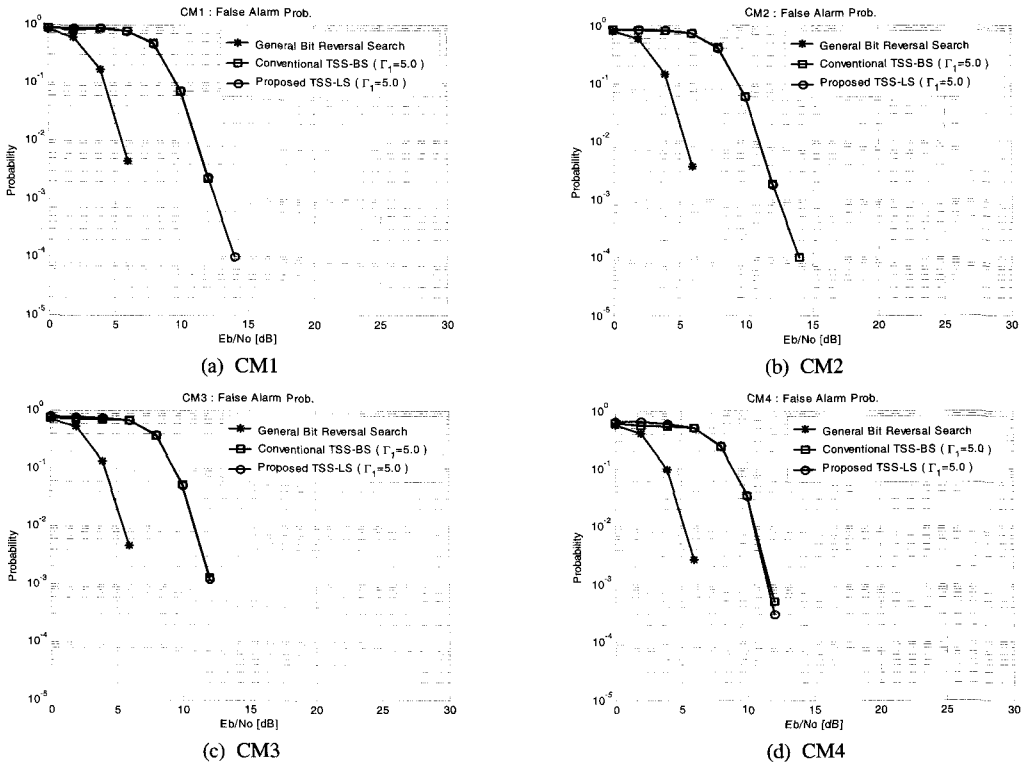


그림 6. 동기획득 및 번복조 연동 실험에 대한 False Alarm 확률

분석은 Rake 수신기의 형태에 관계없이 False Alarm 확률을 측정함에 따라 설명할 수 있다. False Alarm 확률은 동기획득을 수행했을 때 실제 신호가 존재하지 않는 부분의 위치를 실제 신호가 있는 것으로 잘못 추정하게 될 경우의 확률을 나타낸다. 그림 6은 앞서 그림 5에서의 동기획득 및 반복조연동 실험에서 적용한 실험적 환경에서 False Alarm 확률을 측정한 결과를 나타낸다. 이 결과에서 알 수 있듯이, 잡음이 인가된 각각의 채널 환경에서 동기획득을 수행할 경우 대략 10 dB 이하의 E_b/N_0 에서 상대적으로 큰 잡음에 의해 신호가 존재하지 않는 부분을 동기획득함에 따라 False Alarm이 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 이 False Alarm에 의해 그림 5의 결과에서와 같이 BER 성능은 E_b/N_0 가 10 dB 이하인 구간에서 이상적으로 완벽한 타이밍을 가정한 경우에 비해 상대적으로 열화되게 되는 결과를 초래하게 된다. 또한 두 단계 탐색 기법인 TSS-BS와 TSS-LS 기법이 일반적인 Bit Reversal 탐색 기법에 비해 False Alarm 확률이 높은 이유는, 두 단계 탐색 기법에서 신호가 없는 불필요한 구간을 효과적으로 우회하기 위한 첫번째 단계의 임계값이 상대적으로 낮아서 낮은 E_b/N_0 에서는 실제 신호가 존재하는 부분의 위치를 추정할 수 없기 때문이다. 그러나 그림 6의 결과를 통해 알 수 있듯이, 대략 10 dB 이상의 E_b/N_0 에서 False Alarm이 거의 발생하지 않게 됨에 따라 정확한 신호 위치 정보를 수신기의 복조단에 제공하게 되어 그림 5에서와 같이 정상적인 BER 성능을 나타냄을 볼 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 실내 다중경로 채널에서 UWB 시스템의 고속 고신뢰 신호 동기획득을 위한 두 단계 탐색 기법을 제안하였다. 두 단계 탐색 기법은 Single-Dwell 연속 동기 탐색 기법을 기반으로 고속 동기획득을 위해 두 개의 서로 다른 임계값과 탐색 창을 적용하는 방식을 채택한다. 특히 본 논문에서 고려하는 두 단계 탐색 기법은 두번째 단계에서 사용되는 탐색 방법에 따라 Bit Reversal 탐색 기반의 TSS-BS 및 Linear 탐색 기반의 TSS-LS로 분류된다. IEEE 802.15.3a에서 제공하는 4가지 실내 다중경로 채널 환경에서의 모의실험 결과, 일반적인 탐색 기법들보다 TSS-BS 및 TSS-LS 탐색 기법이 정규화된 평균 동기획득 시간 측면에서 큰 폭의 향상

을 가져옴을 알 수 있었다. 특히, 본 논문에서 제안한 TSS-LS 탐색 기법은 높은 SNR에 대해 TSS-BS를 비롯한 기존의 탐색 기법들보다 우수하고 이상적인 경우와 거의 동일한 BER 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

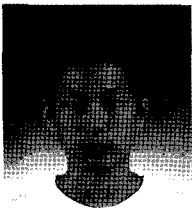
- [1] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's rules regarding ultra-wideband transmission," ET Docket 98-153, April 2002.
- [2] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3a.html>
- [3] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>
- [4] 신요안, 양석철, 오종욱, "IEEE 802.15 WPAN 기술 표준화 동향," *Telecommun. Review* (무선통신·방송의 표준 기술 특집호), 제87호, pp. 131-148, 2003년 11월.
- [5] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, no. 4, pp. 679-691, April 2000.
- [6] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio : How it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 36-38, February 1998.
- [7] K. Siwiak and D. McKeown, *Ultra-Wideband Radio Technology*, John Wiley & Sons, 2004.
- [8] E. A. Homier and R. A. Scholtz, "Rapid acquisition of ultra-wideband signals in the dense multipath channel," *Proc. IEEE Conf. Ultra Wideband Syst. & Technol. (UWBST 2002)*, pp. 105-109, Baltimore, USA, May 2002.
- [9] J. Oh, S. Yang, and Y. Shin, "A rapid acquisition scheme for UWB signals in indoor wireless channels," *Proc. IEEE Wireless Commun. & Networking Conf. (WCNC 2004)*, Atlanta, USA, March 2004.
- [10] J. K. Holmes and C. C. Chen, "Acquisition time performance of PN spread-spectrum systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 25, no. 8, pp. 778-784, August 2002.
- [11] IEEE 802.15 TG3a Channel Modeling Sub-

Committee, "Proposed UWB channel model," available at <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3.html>

- [12] A. Saleh and R. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," *IEEE Jour. Selected Areas in Commun.*, vol. 5, no. 2, pp. 128-137, February 1987.
- [13] D. Cassioli, M. Z. Win, F. Vatalaro, and A. F. Molisch, "Performance of low-complexity rake reception in a realistic UWB channel," *Proc. IEEE Int'l Conf. Commun. (ICC 2002)*, vol. 2, pp. 763-767, New York, USA, April 2002.
- [14] L. Yang and G. B. Giannakis, "Low-complexity training for rapid timing acquisition in ultra wideband communications," *Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM 2003)*, vol. 2, pp. 769-773, San Francisco, USA, December 2003.

김재운 (Jaewoon Kim)

준회원



2004년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 졸업(학사)
 2004년 3월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정
 <관심분야> UWB 전송 시스템, OFDM 시스템

양석철 (Suckchel Yang)

준회원



2002년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 졸업(학사)
 2004년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 졸업(석사)
 2004년 3월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 박사과정
 <관심분야> UWB 전송 시스템, OFDM 시스템

신요안 (Yoan Shin)

정회원



1987년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1989년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(석사)
 1992년 12월 University of Texas at Austin 전기및컴퓨터공학과 졸업(박사)

1992년 12월~1994년 7월 오스틴 소재 MCC (Microelectronics & Computer Technology Corp.) 연구원
 콘소시엄 Member of Technical Staff
 1994년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수
 <관심분야> CDMA 및 OFDM 모뎀, UWB 전송 시스템, MIMO 시공간 신호처리