

비동기식 초광대역 시스템을 위한 고속 신호 동기획득 기법

준회원 김재운*, 양석철*, 정회원 최성수**, 신요안*

A Rapid Signal Acquisition Scheme for Noncoherent UWB Systems

Jaewoon Kim*, Suckchel Yang* *Associate Members*,
Sungsoo Choi**, Yoan Shin* *Regular Members*

요약

이 논문에서는 다중경로 채널 환경에서 비동기식(Noncoherent) 초광대역(Ultra Wide Band) 무선통신 시스템의 고속 고신뢰 신호 동기획득을 위해, 저자들이 동기식(Coherent) 초광대역 시스템을 위해 제안하였던 TSS-LS (Two-Step Search scheme with Linear search based Second step) 기법을 비동기식 초광대역 시스템에 확장 적용하는 방안을 제안한다. 간단한 에너지 윈도우 बैं크를 사용하는 제안된 비동기식 TSS-LS 기법은 고속의 동기획득을 위해 두 단계의 서로 다른 문턱값과 탐색창을 적용하게 된다. 더욱이 다중경로 채널의 실효 지연 확산 범위에 서의 시작 지점을 정확히 찾고 비동기식 초광대역 변복조와 연동했을 때 신뢰성 있는 비트오율(Bit Error Rate) 성능을 얻기 위해 두 번째 단계에서 선형 알고리즘을 적용한다. IEEE 802.15.3a의 다중경로 채널 모형을 이용한 모의실험 결과, 일반적인 탐색 기법보다 제안된 기법의 평균 동기획득 소요 시간이 큰 폭으로 단축됨을 확인할 수 있었다. 또한, 신호 동기획득 과정과 연동된 비트오율 성능 평가에서 신호대잡음비가 높을 때 이상적인 동기획득의 경우에 필적하는 매우 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

Key Words : UWB, noncoherent receiver, multipath channel, signal acquisition, energy window bank, linear search, bit reversal search, two-step search, TSS-BS, TSS-LS

ABSTRACT

In this paper, we propose to extend the TSS-LS(Two-Step Search scheme with Linear search based Second step) scheme which was already proposed by the authors for coherent UWB(Ultra Wide Band) systems, to rapid and reliable acquisition of noncoherent UWB systems in multipath channels. The proposed noncoherent TSS-LS employing simple energy window banks utilizes two different thresholds and search windows to achieve fast acquisition. Furthermore, the linear search is adopted for the second step in the proposed scheme to correctly find the starting point in the range of effective delay spread of the multipath channels, and to obtain reliable BER(Bit Error Rate) performance of the noncoherent UWB systems. Simulation results with multipath channel models by IEEE 802.15.3a show that the proposed two-step search scheme can achieve significant reduction of

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

* 숭실대학교 정보통신전자공학부 ({ecko99, ysc0809}@amcs.ssu.ac.kr, yashin@e.ssu.ac.kr)

** 한국전기연구원 전기정보망기술연구그룹 (sschoi@keri.re.kr)

논문번호 : KICS2005-09-395, 접수일자 : 2005년 9월 30일, 최종논문접수일자 : 2006년 2월 17일

the required mean acquisition time as compared to general search schemes. In addition, the proposed scheme achieves quite good BER performance for large signal-to-noise ratios, which is favorably comparable to the case of ideal perfect timing.

I. 서론

2002년 4월 미국 연방통신위원회(Federal Communications Commission; FCC)의 주파수 할당 및 상업화 승인을 기점으로 초광대역(Ultra Wide Band) 통신 기술에 대한 연구와 개발이 전세계적으로 활발히 진행되고 있다^[1]. 특히 100 Mbps 이상급 초고속 W-PAN(Wireless Personal Area Network)용 초광대역 시스템 표준화를 담당하는 IEEE 802.15.3a^[2] 및 무선측위 기능까지 수반하는 저속 저전력 W-PAN용 초광대역 시스템 표준화 그룹인 IEEE 802.15.4a^[3]를 중심으로 유수 관련 업체들이 초광대역 시스템 연구 개발에 경쟁적으로 참여하고 있는 상황이다^[4].

연속적인 정현파를 사용하는 기존의 무선통신 시스템과는 달리, 전형적인 초광대역 시스템 송신단에서는 1 nsec 내외의 매우 좁은 폭을 갖는 펄스 또는 임펄스를 단속적으로 전송한다^[5-7]. 이 때문에 초광대역 시스템은 수백 MHz~수 GHz의 초광대역에 걸쳐 매우 낮은 전력스펙트럼밀도를 갖게 되고, 높은 데이터 전송율을 지원하며, 다중경로에 대한 세밀한 분해가 용이하므로 수십 cm 이내 오차의 정밀한 무선측위가 가능해진다^[7]. 이에 반해 초단시간 구간 단위의 데이터 변조 등을 위해서 매우 정밀한 동기 제어가 필요하므로, 결국 고속 W-PAN 응용이나 저속 무선측위 응용 모두를 위해 초광대역 시스템을 구현할 때 정확하고 빠른 초광대역 신호의 동기획득(Signal Acquisition)은 매우 중요한 문제라 할 수 있다. 최근 들어 이러한 초광대역 신호의 동기획득과 관련된 여러 연구 결과가 보고되고 있으며^[8-10], 특히 저자들은 동기식(Coherent) 초광대역 시스템에서 고속 고신뢰 신호 동기획득을 위한 두 단계 탐색 기법(Two-Step Search Scheme)인 TSS-LS(Two-Step Search scheme with Linear search based Second step)를 [11]에서 제안한 바 있다.

한편, 동기식 초광대역 시스템은 일반적으로 비트 오류(Bit Error Rate) 측면에서 비동기식(Noncoherent) 방식에 비해 성능이 우수하나, 수신단의 상관기(Correlator)에서 사용될 참조 신호를 발생시킬 별도의 펄스 생성기가 필요하며 이러한 상관기 기반의 Rake 수신기를 사용하여 구조가 크게 복잡하게 된

다. 그러나 효율적인 초광대역 송수신기를 구현하려면 시스템 설계의 핵심 요소인 칩의 소형화, 저전력성, 구현의 용이성, 그리고 다중경로 감쇄에 대한 강인성 등을 고려해야 된다. 따라서 복잡한 동기식 초광대역 시스템보다는 단순한 형태의 에너지 윈도우 बैं크(Energy Window Bank) 기반의 수신기를 이용하는 비동기식 방식이 이러한 시스템 설계 요구 사항에 근접할 수 있어 최근 크게 주목받고 있다^[12-14].

이에 이 논문에서는 저자들이 앞서 동기식 초광대역 시스템을 위해 제안한 TSS-LS 기법을 확장 적용하여 비동기식 초광대역 시스템에서 고속 고신뢰의 동기획득을 보장할 수 있는 비동기식 TSS-LS 기법을 제안하고자 한다. 이를 위한 이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이 논문에서 고려하는 초광대역 신호 및 다중경로 채널 환경에서 비동기식 초광대역 수신기의 에너지 윈도우 बैं크 출력에 대해 살펴본다. 3장에서는 제안된 두 단계 동기획득 기법에 대해 기술하며, 4장에는 IEEE 802.15.3a 다중경로 채널 환경에서 비동기식 초광대역 시스템을 기반으로 하여 다양한 문턱값에 따른 동기획득 성능을 분석하고, 동기획득과 변복조를 연동할 경우 시스템의 비트오율 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 초광대역 신호 및 비동기식 초광대역 시스템 수신기의 에너지 윈도우 बैं크 출력

비동기식 초광대역 시스템의 송신단에서 동기획득을 위해 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 매개변수이다. 식 (1)의 전송 펄스 $p(t)$ 가 송신단 및 수신단 안테나의 미분 특성에 의한 영향을 받으면, 수신단의 에너지 윈도우 बैं크에는 이 펄스를 미분한 형태의 새로운 펄스가 입력된다^[5,6,8]. 따라서, 수신단 에너지 윈도우 बैं크에

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 초광대역 신호의 동기 획득을 위한 전송 신호 $s(t)$ 는 이러한 수신 펄스를 프레임 단위로 반복 전송함으로써 다음과 같이 등가적으로 표현될 수 있다. 여기서 T_f 는 프레임 구간이다.

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

한편 이 논문에서는 다중경로 채널로서 IEEE 802.15.3a에서 제안한 채널 모형¹⁵⁾을 고려하였다. 이 모형은 기본적으로 Saleh-Valenzuela 실내 무선 채널 모형¹⁶⁾을 기초로 하고 있으며, 특히 다중경로 성분은 Cluster와 Ray의 형태로 도착하게 되고 이들의 진폭은 대수 정규 (Log-Normal) 분포에 의해 산출된다. 이 채널 충격 응답 (Impulse Response)은 식 (4)와 같이 표현될 수 있다¹⁵⁾.

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

위 식에서, X 는 대수 정규 분포의 Shadowing 성분, $\alpha_{k,l}$ 은 다중경로 감쇄 계수, T_l 은 l 번째 Cluster의 지연, $\tau_{k,l}$ 는 l 번째 Cluster 안에서 k 번째 경로의 지연을 각각 나타낸다. IEEE 802.15.3a에서는 환경과 조건에 따라 다음과 같이 4가지 서로 다른 채널 모형들을 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

이 논문에서는 위의 채널 모형을 바탕으로, (4)에서의 충격 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 $T_c = T_m \approx 2\tau_p = 0.7626$ nsec라고 가정하였다. 따라서 채널 모형의 충격 응답도 0.7626 nsec 단위로 표본화되어, 식 (4)에서의 충격 응답은 다음과 같이 간략화된 식으로 나타낼 수 있다⁸⁾.

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

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 송수신간 거리로 인한 전송 시간 지연이며, 전체 프레임 구간 T_f 안에서 균일하게 분포한다고 가정하였다.

이와 같은 다중경로 채널을 통과한 수신단의 수신 신호는 식 (3)과 (5)를 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 덧셈 풀 흰 빛 정규 잡음 (Additive White Gaussian Noise; AWGN)이다.

보기를 들어, j 번째 프레임 안에서 n 번째 탐색 위치에 의해 신호가 에너지 윈도우 बैं크를 거쳐 출력된 값을 $z_j^{(n)}$ 이라 한다면, 이는 다음과 같이 표현 가능하다.

$$z_j^{(n)} = \int_{jT_f + \epsilon^{(n)}}^{jT_f + \epsilon^{(n)} + T_s \times N_s} r^2(t) dt \quad (7)$$

여기서 $\epsilon^{(n)}$ ($n = 0, \dots, N-1$)은 동기 획득을 위해 순차적으로 탐색하는 위치를 바뀌어나가는 Bin의 위치를 나타내며, 탐색 단위 구간 간격은 전체 프레임 구간 안에서 T_f/N 로 고정된다. 또한, N_s 는 에너지 윈도우 बैं크의 크기를 나타낸다.

그림 1에서는 표현의 편의상 잡음을 고려하지 않은 IEEE 802.15.3a 다중경로 채널에서, $N = 8192$, $T_f = 1000$ nsec, $\tau_0 = 120$ nsec인 경우 에너지 윈도우 बैं크 크기 N_s 가 각각 1, 5, 10일 때에 대한 탐색 위치에 따른 에너지 윈도우 बैं크 출력의 신호 성분 $z_j^{(n)}$ 을 도시하고 있다.

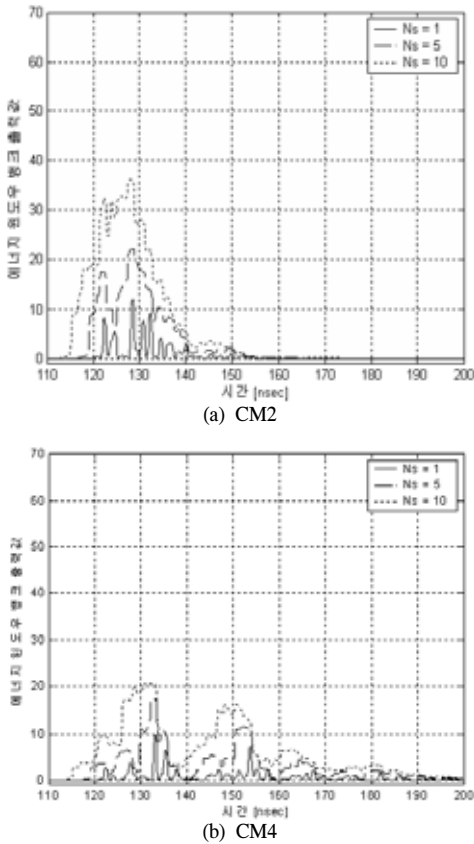


그림 1. IEEE 802.15.3a 다중경로 채널에서 탐색 위치에 따른 에너지 윈도우 बैं크 출력 신호의 보기

III. 두 단계 탐색 기반의 TSS-LS 기법

초광대역 신호 동기획득은 임의의 전송 지연 τ_0 에 대한 정밀한 추정을 통하여 초광대역 신호 프레임의 경계를 정확히 맞추는데 목적이 있다^[8]. 이 논문에서는 단일 드웰 (Single-Dwell) 연속 동기 탐색을 위해 마르코프 분석을 기반으로 하여, 현재 탐색 구간에서 에너지 윈도우 बैं크 출력값의 크기가 문턱값을 넘을 때 동기를 획득했다고 보고 탐색을 종료하며 문턱값을 넘지 않을 때는 다음 구간으로 탐색을 전환하는 방법을 고려한다. 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 (7)의 에너지 윈도우 बैं크 출력을 고려할 때 $\epsilon^{(n)}$ 의 함수로서 (곧, $p_n \equiv p_n(\epsilon^{(n)})$) 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$p_n = \Pr(|z_j^{(n)}| \leq \Gamma), \quad j = \dots, -1, 0, 1, \dots \quad (8)$$

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

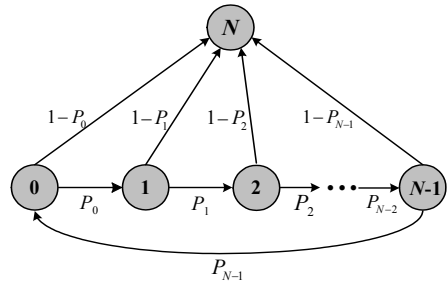


그림 2. 단일 드웰 연속 동기 탐색을 위한 마르코프 사슬 (Markov Chain)^[8]

그림 2에서는 연속 동기 탐색을 위한 마르코프 사슬을 보이며, 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 종료되기 까지 소요되는 시간 T 의 기대값 $E(T)$, 곧 평균 동기획득 시간은 아래와 같이 구할 수 있다^[8].

$$E(T) = \frac{1 + \sum_{m=0}^{N-2} \prod_{n=0}^m p_n}{1 - \prod_{n=0}^{N-1} p_n} \quad (9)$$

하지만 실제적으로 다중경로 채널 매개변수들인 α_i, τ_i 에 대한 정확한 값들을 알지 못하기 때문에 통계적 모형 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].

$$E(T) = \frac{1}{N} \sum_{\tau_0=0}^{(N-1)T_f/N} \frac{1 + \sum_{m=0}^{N-2} \prod_{n=0}^m p_n(\tau_0)}{1 - \prod_{n=0}^{N-1} p_n(\tau_0)} \quad (10)$$

또한 구간을 변화해 가며 동기 탐색을 하는 동안 탐색이 종료되는 Bin들을 확률변수 X_0, X_1, \dots, X_{N-1}

로 정의할 수 있다. 여기서 J 는 신호의 동기획득을 위한 문턱값을 넘어 탐색을 종료하게 될 구간을 나타내고, $J \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ 의 Bin들로 구성될 수 있다. 다시 말해 J 는 마르코프 사슬에서 p_n 이 0인 구간이라고 할 수 있다. 한편, 이 논문에서는 동기획득을 위한 기본 탐색 알고리즘으로 선형 탐색과 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 고려하였다^[8].

초광대역 신호의 동기획득 성능 향상을 위해 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 적용한 일반적인 이중 드웰(Double-Dwell) 탐색 기법^[10]을 고려할 수 있다. 이중 드웰 방식의 탐색 기법은 동기획득 속도 측면에서 일반적인 단일 드웰 방식에 비해 두 배로 뛰어나지만, 동기식 초광대역 시스템에서는 두 상관을 동시에 사용하며 비동기식 초광대역 시스템에서는 두 에너지 윈도우 बैं크를 동시에 사용하기 때문에 시스템 복잡도가 늘어나는 단점을 피할 수 없다. 이에 저자들은 동기식 초광대역 시스템에서 이러한 기존 탐색 기법에 대한 동기획득 속도를 효과적으로 향상시킬 수 있는 TSS-BS(Two-Step Search scheme with Bit reversal search based Second step) 탐색 기법을 [9]에서 제안한 바 있다. TSS-BS 기법은 기본적으로 두 단계로 구성되어 있고, 각각의 단계에서는 서로 다른 크기의 문턱값과 탐색창을 가지고 있다. 또한 첫번째와 두번째 단계 모두에서 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 사용하며, 단일 상관기를 사용하는 단일 드웰 방식을 적용하게 된다. 이러한 TSS-BS 탐색 기법에서 첫번째와 두번째 단계의 목표는 각각 다중경로 채널에서 실패 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 문턱값으로 신호의 동기획득을 할 수 있으므로 동기획득 시간을 효과적으로 줄일 수 있게 된다.

이러한 두 단계 탐색 기법에서 동기획득 속도와 비트오율 성능은 각각 첫번째와 두번째 단계에 의해 크게 좌우된다. TSS-BS는 첫번째 단계뿐만 아니라 두번째 단계에서도 Bit Reversal 알고리즘을 사용하게 되므로 연속적으로 탐색되는 두 개 Bin 간 거리를 최대화하는 확률적인 특성을 가지고 있다. 따라서 두번째 단계에도 이러한 Bit Reversal 알고리즘을 통하여 채널의 실패 다중경로 지연 확산의 범위에서 확률적인 동기획득 위치를 잡게 되므로 매우 빠른 동기획득 성능을 갖게 되는 반면, 실패

다중경로 지연 확산의 맨 처음 위치를 잡지 못하게 될 가능성이 존재하게 된다. 결국 TSS-BS 기법에 의해 결정된 동기획득 위치에서부터 수신기가 실제 데이터에 대한 복조를 수행한다면, 비트오율 성능이 상당히 떨어지는 것을 피할 수 없게 됨을 의미한다. 이에 저자들은 [11]에서 동기식 초광대역 시스템을 위해 TSS-BS와 같이 고속의 동기획득 속도를 유지하면서, 동시에 안정적인 비트오율 성능을 보장할 수 있는 TSS-LS를 제안한 바 있다. TSS-LS에서는 TSS-BS와 유사하게 고속의 동기획득을 위해 두 단계에서 각각 두 문턱값과 탐색창을 사용하게 된다. 그러나 TSS-BS와는 다르게 TSS-LS에서는 다중경로 채널의 실패 지연의 범위에서 맨 처음 시작하는 지점을 정확히 찾기 위해 두번째 단계에서 선형 탐색 알고리즘을 적용한다. 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 선형 탐색을 사용함에 따라 실패 지연의 처음 부분에 해당하는 위치에서 동기를 획득하게 되어 다중경로 성분을 효과적으로 결합할 수 있어 비트오율 성능을 향상시킬 수 있게 된다. 그림 3에

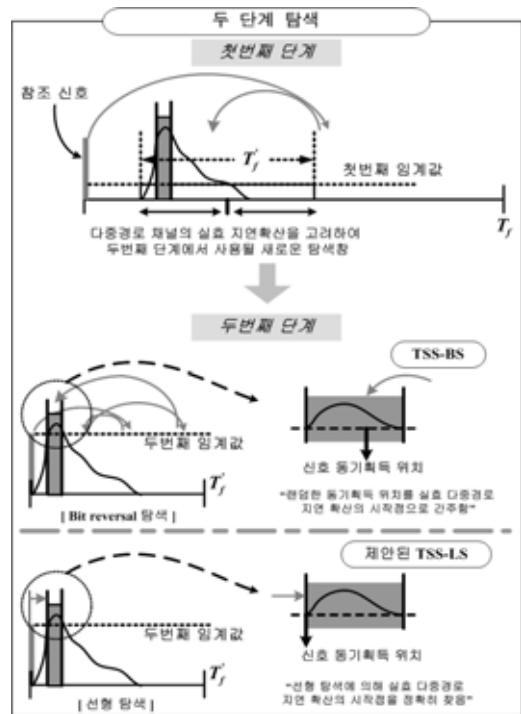


그림 3. TSS-BS 및 TSS-LS의 동기획득에 대한 설명

표 1. 두단계 탐색 알고리즘의 비교 설명

첫번째 단계 : 대략적 탐색 ① 첫번째 임계값 I_1 을 사용하는 Bit Reversal 탐색 알고리즘에 의해 전체 프레임에서의 모든 Bin들을 “대략적으로” 탐색. ② 주어진 프레임 안에서의 다중경로 채널의 실패 지연 확산 (Θ Bins)에서 신호 탐색 위치 $\epsilon_1^{(n)}$ bin을 추정.
두번째 단계 : 정밀한 탐색 ③ 결정된 탐색 위치 $\epsilon_1^{(n)}$ 에서 $\epsilon^{(n)} - \Theta + 1, \dots, \epsilon^{(n)} + \Theta$ 범위의 크기 2Θ 의 새로운 탐색창 T_f' 을 설정. ④ 새롭게 설정된 탐색창 T_f' 에서 두 번째 임계값 $I_2 (< I_1)$ 을 사용하여 TSS-BS에서는 “Bit Reversal 탐색 알고리즘”에 의해, TSS-LS에서는 “선형 탐색 알고리즘”에 의해 “세밀히” 탐색.

서는 TSS-BS 및 TSS-LS의 동기획득 방식에 대하여 도식적으로 비교 설명하고 있으며, 표 1에는 TSS-BS와 TSS-LS의 신호 동기획득 알고리즘을 간단히 정리하고 있다. 결국 이 논문에서 제안하는 비동기식 TSS-LS 기법은 이러한 TSS-LS에서 상관기 대신 식 (7)의 에너지 윈도우 बैं크를 이용해 구성하여 비동기식 초광대역 시스템의 동기획득에 적합한 구조를 갖게 된다.

IV. 모의실험 결과

의실험을 위해 다중경로 채널 모형으로서 IEEE 802.15.3a 채널 모형 CM1~CM4를 고려하였다. 펄스폭 매개변수 τ_p 를 0.3813 nsec로 설정하였고, 앞서 2절에서 펄스의 지속 시간을 $T_c = T_m (\approx 2\tau_p)$ 로 가정하였으므로 각 채널 충격 응답을 0.7626 nsec 단위로 표본화하였다. 또한 가우시안 모노사이클 펄스의 크기는 1, 펄스당 표본의 수는 127개로 하였다⁹⁾.

먼저 평균 동기획득 시간을 평가하기 위해, 곧 잡음이 없는(곧 SNR= ∞) 다중경로 채널 환경을 가정하였다. 전체 프레임 구간 T_f 는 다중경로에 의한 펄스간 간섭을 피하기 위해 1000 nsec로 충분히 큰 경우를 고려했으며, 탐색 구간을 나누기 위한 Bin의 수 N 은 8192를 고려하였다. 또한 두 단계 탐색을 위한 첫번째 단계에서의 문턱값 I_1 는 4.3으로 고정하고, 두번째 단계에서의 새로운 탐색창의 크기 2Θ 는 CM1에서 256, CM2와 CM3에서 512, 그리고 CM4에서 2048로 설정하였다. 여기서 두번째 단계에서의 탐색창 2Θ 의 크기는 첫번째 단계의 문턱값

I_1 에 따른 실패 다중경로 성분이 존재하는 J 구간을 충분히 포함할 수 있는 최소의 최대 지연 확산 Θ 로 결정되었다.

그림 7은 식 (7)의 에너지 윈도우 बैं크를 수신단에서 사용하는 비동기식 초광대역 시스템에서 다양한 채널 모형과 문턱값 I (이 값은 TSS-BS와 TSS-LS에서 I_2 와 동일)에 대하여 일반적인 단일 드웰 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 단일 드웰 선형 및 Bit Reversal 탐색 기법의 이상적인 곡선⁸⁾을 각각 점선과 실선으로 나타내었다. 이 결과로부터 TSS-BS가 일반적인 단일 드웰 Bit Reversal 탐색 기법보다 매우 빠른 동기획득 성능을 보임을 알 수 있으며, 제안된 TSS-LS가 TSS-BS와 거의 유사한 우수한 동기획득 성능을 보임을 확인할 수 있다. 특히 문턱값 I 이 점점 커질수록 (곧, J/N 이 점점 작아질수록) 초광대역 시스템에서 고품질의 신호 동기획득을 할 수 있기 때문에 더욱 신뢰성 있는 복조가 가능해지므로, 이러한 점에서 볼 때 제안된 TSS-LS는 TSS-BS에 필적하는 매우 빠른 동기획득 성능을 가짐을 알 수 있다.

한편 신호 동기획득의 신뢰성을 검증할 수 있는 비트오율 성능 평가를 위해, 다음의 실험에서는 AWGN이 있는 다중경로 채널 환경에서 동기획득과 데이터 변복조의 연동을 고려하였다. 모든 실험에 대하여 신호의 동기획득을 위한 첫번째 문턱값 I_1 은 4.3, 최종의 문턱값 $I(=I_2)$ 는 8.6으로 고정되었고, 데이터 변복조를 위해 비동기식 2PPM 초광대역 시스템¹²⁾을 고려하였다. 시스템의 비트오율 성능을 평가하기 위해 수신기에서 최종의 데이터 복조는 잡음이 있는 다중경로 채널 환경에서 각각의 탐색 기법으로부터 찾게된 신호 동기획득 위치를 반영하여 평가하였다. 따라서, 동기획득 기법에 따른 시스템의 비트오율 성능을 효율적으로 평가하기 위해서는 IEEE 802.15.3a 다중경로 채널 모형 CM1~CM4에 따라 비동기식 2PPM 초광대역 시스템을 위한 최적의 적분 구간 $T_c \times N_s$ 을 결정해야 된다. 여기서 T_c 는 가우시안 모노사이클 펄스의 폭인 0.7626 nsec을 나타내며, 이 논문에서 설정된 각각의 채널 모형에 대한 최적의 적분 크기 N_s 는 CM1에서 10, CM2에서 20, CM3에서 40, CM4에서 80이 된다¹²⁾.

그림 8에서는 초광대역 시스템 수신단에서 동기 획득 기법이 연동된 경우의 비트오율 성능을 E_b/N_0 에 따라 도시하고 있다. 그림에서 실선은 이상적으로 완벽한 타이밍을 가정하였을 때의 비트오율 성능을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 큰 E_b/N_0 에 해당하는 부분에서의 비트오율 성능은 제안된 TSS-LS가 일반적인 단일 드웰 Bit Reversal 탐색 기법뿐만 아니라 TSS-BS 보다도 대략 2~3 dB 정도 우수함을 확인할 수 있고, 이상적으로 완벽한 타이밍을 가정한 경우와 유사한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 결과적으로 제안된 비동기식 TSS-LS는 TSS-BS와 거의 동일한 매우 우수한 동기 획득 성능을 보임과 동시에, 이상적으로 완벽한 타이밍을 가정한 경우에 근접하는 비트오율 성능을 보임을 알 수 있다.

앞서 모의실험 결과인 그림 8의 결과에서 알 수 있듯이, 실제 초광대역 신호 동기 획득 결과가 반영된 변복조 성능은 이상적으로 완벽한 타이밍을 가정한 경우에서의 비트오율 성능에 비해 E_b/N_0 가 0~10 dB인 경우 상당히 떨어졌다가 대략 10 dB 이상인 경우 급격히 향상됨을 확인할 수 있다. 이에 대한 정량적 분석은 오경보 (False Alarm) 확률을 측정함에 따라 설명할 수 있다. 오경보 확률은 동기 획득을 수행했을 때 실제 신호가 존재하지 않는 부분의 위치를 실제 신호가 있는 것으로 잘못 추정하게 될 확률을 나타낸다. 그림 9는 앞서 그림 8에서의 동기 획득 및 변복조 연동 실험에서 적용한 실험적 환경에서 오경보 확률을 측정된 결과를 나타낸다. 이 결과에서 알 수 있듯이, 잡음이 인가된 각각의 채널 환경에서 동기 획득을 수행할 경우 대략 10 dB 이하의 E_b/N_0 에서 상대적으로 큰 잡음에 의해 신호가 존재하지 않는 부분을 동기 획득함에 따라 오경보가 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 이 오경보에 의해, 그림 8의 결과에서와 같이 비트오율 성능은 E_b/N_0 가 10 dB 이하인 구간에서 이상적으로 완벽한 타이밍을 가정한 경우에 비해 상대적으로 떨어지게 되는 결과를 초래하게 된다. 그러나 그림 9의 결과를 통해 알 수 있듯이, 대략 10 dB 이상의 E_b/N_0 에서 오경보가 거의 발생하지 않게 됨에 따라 정확한 신호 위치 정보를 수신기의 복조단에 제공하게 되어 그림 8에서와 같이 정상적인 비트오율 성능을 나타냄을 볼 수 있다.

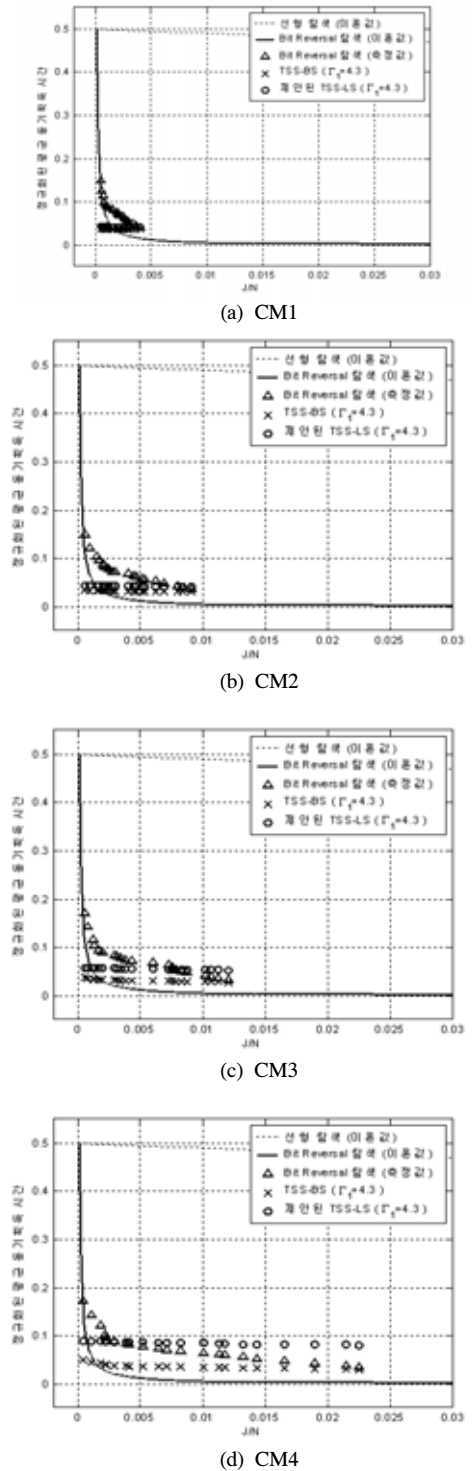
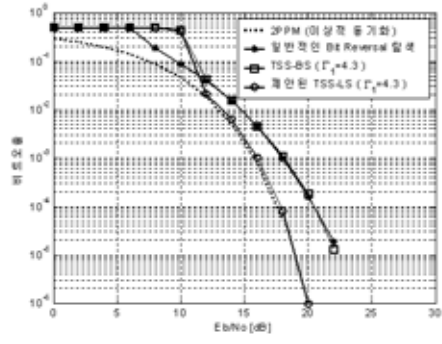
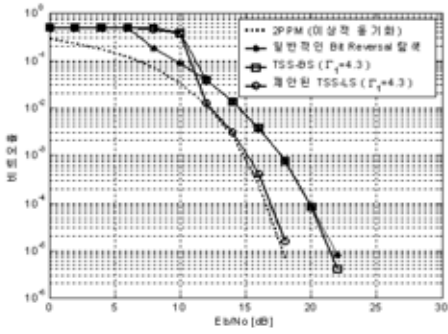


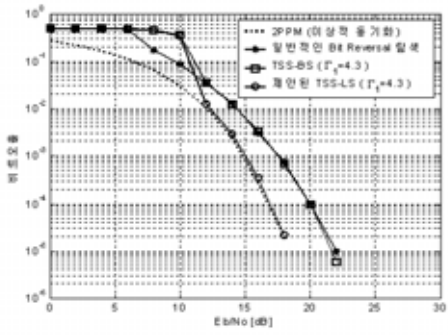
그림 7. 정규화된 평균 동기 획득 시간의 비교 ($\Gamma_1=4.3$, No Noise)



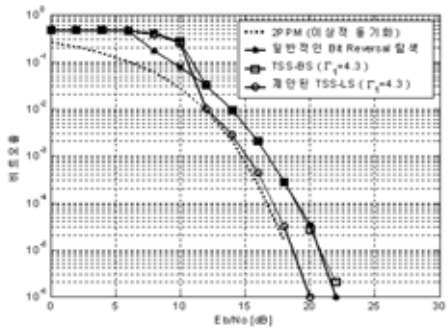
(a) CM1



(b) CM2

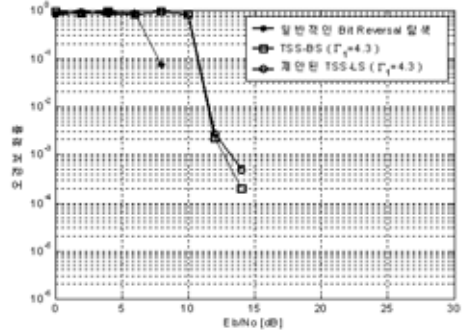


(c) CM3

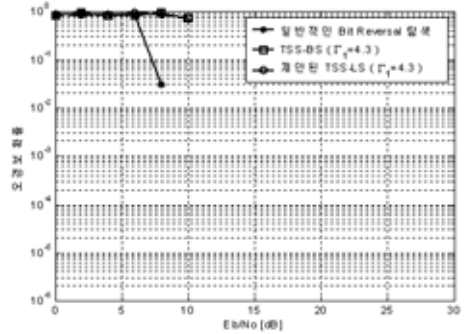


(d) CM4

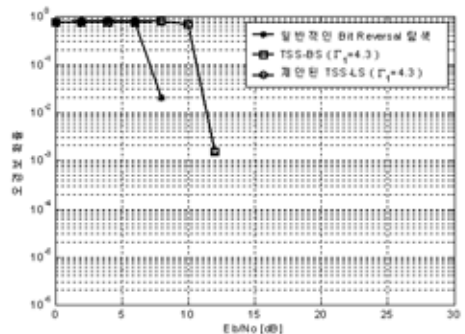
그림 8. 동기획득 기법과 연동된 비트오율 성능의 비교 ($\Gamma_1 = 4.3$, $\Gamma_2 = 8.6$)



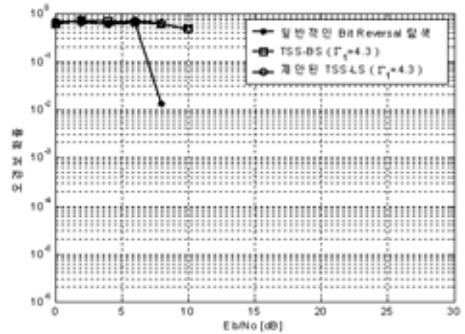
(a) CM1



(b) CM2



(c) CM3



(d) CM4

그림 9. 동기획득과 변복조 연동 실험에 대한 오경보 확률

V. 결론

이 논문에서는 저자들이 상관 복조기 기반의 동기식 초광대역 시스템을 위해 이미 제안했었던 TSS-LS 기법을 에너지 윈도우 बैं크를 수신기에서 이용하는 비동기식 초광대역 시스템에 확장 적용한 비동기식 TSS-LS 기법을 제안하였다. 제안된 TSS-LS 기법은 단일 드웰 연속 동기 탐색 기법을 기반으로 한 두 단계 탐색 기법으로서, 고속 동기획득을 위해 두 개의 서로 다른 문턱값과 탐색창을 적용하는 방식을 채택하며 특히 두번째 단계에서 사용되는 탐색 방법에 선형 탐색을 이용한다. IEEE 802.15.3a에서 제공하는 4가지 다중경로 채널 환경에서의 모의실험 결과, 일반적인 탐색 기법들보다 제안 기법이 정규화된 평균 동기획득 시간 측면에서 큰 폭의 향상을 가져옴을 알 수 있었다. 특히, 제안 기법은 동기획득과 반복조를 연동할 때 높은 SNR에 대해 TSS-BS를 비롯한 기존의 탐색 기법들보다 우수하고 이상적인 경우와 유사한 비트오율 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, 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, 특집부록 (통권 87호), 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, Apr. 2000.

[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] 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 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 WCNC 2004, pp. 1143-1147, Atlanta, USA, Mar. 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, Aug. 2002.

[11] J. Kim, S. Yang, and Y. Shin, "A two-step search scheme for rapid and reliable UWB signal acquisition in multipath channels," Proc. IEEE ICU 2005, pp. 355-360, Zurich, Switzerland, Sept. 2005.

[12] M. Weisenhorn and W. Hirt, "Robust non-coherent receiver exploiting UWB channel properties," Proc. Joint UWBST 2004 & IWUWBS 2004, pp. 156-160, Kyoto, Japan, May 2004.

[13] S. Dubouloz, B. Denis, S. de Rivaz, and L. Ouvry, "Performance analysis of LDR UWB non-coherent receivers in multipath environments," Proc. IEEE ICU 2005, pp. 491-496, Zurich, Switzerland, Sept. 2005.

[14] L. Stoica, S. Tiuraniemi, I. Oppermann, and H. Repo, "An ultra wideband impulse radio low complexity transceiver architecture for sensor networks," Proc. IEEE ICU 2005, pp. 55-59, Zurich, Switzerland, Sept. 2005.

[15] IEEE 802.15 TG3a Channel Modeling Subcommittee, "Proposed UWB channel model," available at <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3.html>

[16] A. Saleh and R. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," IEEE Jour. Selected Areas Commun., vol. 5, no. 2, pp. 128-137, Feb. 1987.

김재운 (Jaewoon Kim)

준회원



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

양 석 철 (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

최 성 수 (Sungsoo Choi)

정회원



1996년 2월 경원대학교 전자공학과 졸업(학사)
1998년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사)
2003년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(박사)
2003년 2월~현재 한국전기연구원

원 전기정보망기술연구그룹 선임연구원

<관심분야> 저전력 초고속 유무선 통신 시스템, 오류 정정부호화기 설계, SoC 설계

신 요 안 (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
Member of Technical Staff

1994년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

<관심분야> CDMA 및 OFDM 모뎀, UWB 전송 시스템, MIMO 시공간 신호처리