

# 실내 무선 환경에서 프레임 및 탐색 단위 구간에 따른 UWB 신호 동기 획득 알고리즘의 성능 분석

준회원 오종욱\*, 준회원 양석철\*, 정회원 신요안\*

## Performance Analysis of UWB Signal Acquisition Algorithms According to Frame Interval and Bin Spacing in Indoor Wireless Channels

Jongok Oh\* *Member*, Suckchel Yang\* *Member* and Yoan Shin\* *Regular Member*

### 요약

본 논문에서는 전형적인 실내 무선 채널 환경에서 초광대역 (Ultra Wide Band; UWB) 신호의 고속 동기 획득을 위한 Single-Dwell 연속 동기 탐색 기반의 Linear 탐색 알고리즘 및 Bit Reversal 탐색 알고리즘에 대한 성능 분석을 수행하였다. IEEE 802.15 Task Group 3a UWB 실내 무선 채널 환경에서 프레임 구간 및 탐색 단위 구간 등의 변화에 따른 모의실험 결과, Linear 탐색 알고리즘보다 Bit Reversal 탐색 알고리즘이 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간에 대해 단연 우수함을 확인하였으며, 탐색 종료 구간의 범위 변화에 따른 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간이 이상적인 경우와 거의 일치함을 확인하였다. 특히, Bit Reversal 탐색 알고리즘의 경우 탐색 단위 구간이 세밀할수록 동일한 소요 시간에 대해 더욱 정확한 동기 획득 성능을 얻을 수 있었다.

Key Words : UWB, Signal Acquisition; Linear Search; Bit Reversal Search; Single-Dwell Serial Search; Indoor Wireless Channels

### ABSTRACT

In this paper, we analyze the performance of linear search and bit reversal search algorithms based on the single-dwell serial search for rapid UWB (Ultra Wide Band) signal acquisition in typical indoor wireless channel environments. Simulation results according to bin spacing and frame interval in IEEE 802.15 Task Group 3a UWB indoor wireless channels show that bit reversal search algorithm achieves much smaller normalized mean acquisition time than linear search algorithm. In particular, it is found that the normalized mean acquisition time of the bit reversal search according to the range of searching termination interval closely matches the ideal case. In addition, we observe that the acquisition performance of bit reversal search algorithm becomes much better as bin spacing gets finer.

### 1. 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 Task Group (TG) 3a와 더불어, 향후 유비쿼터스 센

\*승실대학교 정보통신전자공학부 (jongok76@amcs.ssu.ac.kr, ysc0809@amcs.ssu.ac.kr, yashin@e.ssu.ac.kr)

논문번호 : #KJCS2004-09-199, 접수일자 : 2004년 9월 17일

※ 본 논문은 승실대학교 교내 연구과제의 지원 결과임.

서 네트워크에 요구될 무선측위 (Wireless Position Location) 기능까지 수반하는 저속 저전력 W-PAN을 위한 UWB 표준화 그룹인 IEEE 802.15 TG4a를 중심으로 유수 관련 업체들이 경쟁적인 UWB 연구 개발 대열에 적극 참여하고 있는 상황이다[2]. IEEE 802.15 TG3a에서는 현재 Texas Instruments사 중심의 MBOA (Multi-Band OFDM Alliance)에 의해 제안된 멀티밴드 (Multi-Band) OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) UWB 및 최근 Motorola사에 의해 인수된 XtremeSpectrum사 진영의 듀얼밴드 (Dual-Band) CDMA (Code Division Multiple Access) UWB가 최종 표준화를 위해 아직까지 경합하고 있는 실정이다[3]. 최근 수차례의 표준화 회의에서 양 제안 방식 모두 표준안으로 승인되기 위해 필요한 득표를 얻는데 실패하여, 두 방식 모두를 표준으로 하는 방안까지 제시되었으나 양측은 IEEE의 표준 승인 없이 독자적으로 자체 제품을 개발할 것으로 전망되고 있다. 이와 더불어 IEEE 802.15 TG4a에서는 IEEE 802.15.4 ZigBee 표준을 토대로 하여 최근 무선측위 기능을 수반하는 저속 저전력 W-PAN에 요구되는 UWB 기술 사양 결정을 마친 상태이고, 2005년 1월까지 표준안 제안서들을 접수할 예정에 있다[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 갖게되고, 높은 채널 용량과 데이터 전송률을 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 요구되고 초광대역 특성 때문에 안테나 등의 아날로그 회로 설계가 어렵다는 단점을 가지고 있다.

고속 W-PAN 응용이나 저속 무선측위 응용 모두를 위해 UWB 시스템을 구현시, 정확하고 빠른 UWB 신호의 동기 획득 (Signal Acquisition)은 매우 중요한 문제라 할 수 있다. 최근 들어 이러한 UWB 신호의 동기 획득과 관련된 여러 연구 결과가 보고되고 있으며[8,9,10], 특히 [9]에서는 일반적인 Single-Dwell 연속 동기 탐색 기반의 Linear 탐색 알고리즘의 동기 획득 시간을 크게 감소하는 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 제안한 바 있으나, 이의 성능을 단순한 형태의

다중경로 채널 모델 하에서 전형적인 몇몇 시스템 파라미터만을 이용하여 제한적으로 평가한 바 있다. 따라서 본 논문에서는 UWB 신호의 고속 동기 획득을 위한 Linear 및 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 성능을 좀 더 체계적으로 분석하고자 하며, 이를 위해 UWB 시스템의 성능 평가를 위해 최근 제시된 IEEE 802.15 TG3a의 실내 무선 채널 환경[11]에서 프레임 구간, 탐색 단위 구간 등 다양한 시스템 파라미터의 변화에 따른 동기 획득 알고리즘들의 성능 변화를 분석하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 UWB 신호 및 IEEE 802.15 TG3a에서 제시된 UWB 실내 무선 채널 모델에 대해 설명하며 참조 신호 (Reference Signal)의 위치에 따른 수신단 상관기 (Correlator)의 출력 신호에 대해 분석한다. 3절에서는 Markov 분석 및 Single-Dwell 연속 탐색 기반의 Linear 탐색 알고리즘과 Bi Reversal 탐색 알고리즘에 대해서 설명한다. 이어 4절에는 IEEE 802.15 TG3a 실내 무선 채널에서 다양한 시스템 파라미터의 변화에 따른 탐색 알고리즘들의 동기 획득 성능을 모의실험을 통해 제시하며, 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

## II. UWB 신호 및 IEEE 802.15 TG3a UWB 실내 무선 채널 모델

신호 동기 획득을 위해 전형적인 UWB 시스템 송신단에서 다음과 같은 가우시안 모노사이클 펄스 (Gaussian Monocycle Pulse)[7,9,12,13]  $p(t)$ 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,  $\tau_p$ 는 펄스의 폭을 결정하는 파라미터이다. 식 (1)에서의 전송된 펄스  $p(t)$ 가 송신단 및 수신단 안테나의 미분 특성에 의한 영향을 받으면, 수신단의 상관기에는 이 펄스를 미분한 형태의 새로운 펄스가 입력된다 [12,13]. 따라서, 수신단 상관기에 입력되는 펄스  $w(t)$ 는 다음 식과 같이 표현될 수 있다[9].

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

위 식에서  $A'$ 은 적절한 크기를 나타내는 상수이다. 따라서 UWB 신호의 동기 획득을 위한 전송 신호  $s(t)$ 는 이러한 수신 펄스를 프레임 단위로 반복 전

송함으로써 다음과 같이 등가적으로 모델링할 수 있다. 단 여기서  $T_f$ 는 프레임 구간이다.

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

한편 UWB 실내 무선 채널 모델로서 IEEE 802.15 TG3a에서 제안된 UWB 채널 모델[11]을 고려한다. 이 모델은 [14]와 같은 기존의 UWB 채널 모델들과는 달리 기본적으로 Saleh-Valenzuela 모델[15]에 기초하고 있으며, 여기서 다중경로 성분은 Cluster와 Ray의 형태로 도착하게 되고 이들의 진폭은 일반적인 Rayleigh 분포 대신 Log-Normal 분포에 의해 산출된다[11]. 또한 채널을 통과한 신호의 위상은 양의 값( $0^\circ$ ) 또는 음의 값( $180^\circ$ ) 중에서 랜덤하게 결정된다고 모델링된다. 더욱이 다중경로 페이딩은 Cluster 내에서 독립적으로 존재한다고 가정하고 있기 때문에, 다중경로 모델은 다음과 같은 채널 임펄스 응답으로 표현될 수 있다[11].

$$h(t) = X \sum_{l=0}^L \sum_{k=1}^K a_{k,l} \delta(t - T_l - \tau_{k,l}) \quad (4)$$

$$20 \log_{10}(X) \propto \text{Normal}(0, \sigma_x^2)$$

위 식에서  $\text{Normal}(a, b)$ 는 평균  $a$ , 분산  $b$ 인 가우시안 분포를 나타낸다. 한편  $X$ 는 Log-Normal 분포의 Shadowing 성분,  $a_{k,l}$ 은 다중경로 페이딩 계수,  $T_l$ 은  $l$ 번째 Cluster의 지연,  $\tau_{k,l}$ 은  $l$ 번째 Cluster 내에서  $k$ 번째 경로의 지연을 나타낸다. 또한  $\Lambda$ 는 Cluster의 도착율,  $\lambda$ 는 각 Cluster 내에서 경로의 도착율을 나타낸다. 여기서 다중경로 페이딩 채널 계수들은 다음과 같이 정의된다.

$$a_{k,l} = p_{k,l} \xi_l \beta_{k,l}$$

$$20 \log_{10}(\xi_l \beta_{k,l}) \propto \text{Normal}(\mu_{k,l}, \sigma_1^2 + \sigma_2^2), \quad (5)$$

$$\text{or } |\xi_l \beta_{k,l}| = 10^{(\mu_{k,l} + n_1 + n_2)/20}$$

$$E[|\xi_l \beta_{k,l}|^2] = \Omega_0 e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_{k,l}/\gamma}$$

위 식에서  $\xi_l$ 은  $l$ 번째 Cluster와 관련된 페이딩 성분이고  $\beta_{k,l}$ 은  $l$ 번째 Cluster의  $k$ 번째 Ray의 페이딩 성분이다. 또한  $n_1 \propto \text{Normal}(0, \sigma_1^2)$ 과  $n_2 \propto \text{Normal}(0, \sigma_2^2)$ 는 각각 독립으로 Cluster와 Ray의 페이딩에 해당된다. 그리고  $\Omega_0$ 는 첫번째 Cluster에서 첫번째 경로의 평균 에너지이며,  $\Gamma$ 와  $\gamma$ 는 Cluster와 Ray의 감쇠 성분을 각각 나타낸다. 또한 식 (4)에서  $\mu_{k,l}$ 은 다음과 같이 정의된다[11].

$$\mu_{k,l} = \frac{10 \ln(\Omega_0) - 10 T_l/\Gamma - 10 \tau_{k,l}/\gamma}{\ln(10)} - \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 \ln(10)}{20} \quad (6)$$

여기서  $\sigma_1$ 과  $\sigma_2$ 는 Cluster 및 Ray의 Log-Normal 페이딩 표준 편차이다.

한편 위에서 살펴본 UWB 채널 모델은 환경과 조건의 특성에 따라 다음과 같이 4가지 서로 다른 채널들로 분류되며, 표 1에서는 IEEE 802.15 TG3a에서 분류된 4가지 UWB 채널 모델을 위한 파라미터들을 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

표 1 : IEEE 802.15 TG3a에서 분류된 4가지 UWB 채널 모델을 위한 파라미터.

파라미터	CM1	CM2	CM3	CM4
$\Lambda$ (1/nsec)	0.0233	0.4	0.0667	0.0667
$\lambda$ (1/nsec)	2.5	0.5	2.1	2.1
$\Gamma$	7.1	5.5	14.00	24.00
$\gamma$	4.3	6.7	7.9	12
$\sigma_1$ (dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
$\sigma_2$ (dB)	3.3941	3.3941	3.3941	3.3941
$\sigma_x$ (dB)	3	3	3	3

본 논문에서는 위의 제안된 채널 모델을 바탕으로, 식 (2)의 펄스의 지속 시간이  $T_c \approx 2\tau_p = 0.7626$  nsec라고 가정하여 채널을 0.7626 nsec 단위로 샘플링 하였고 때문에 식 (4)에서의 임펄스 응답은 다음과 같이 간략화되어 표현 가능하다.

$$h(t) = \sum_{i=0}^{L-1} a_i \delta(t - \tau_i) \quad (7)$$

여기서  $a_i$ 는  $i$ 번째 경로의 신호 진폭 감쇠(Shadowing과 페이딩이 동시에 고려)를 나타내는 파라미터이며,  $\tau_i \equiv \tau_0 + iT_c$ 은  $i$ 번째 경로의 시간 지

연 (Cluster 및 그 안에서의 경로 지연을 동시에 고려)을 나타낸다. 여기서  $\tau_0$ 는 송수신기간 거리로 인한 전송 시간 지연이며, 전체 프레임 구간  $T_f$  내에서 균일하게 분포한다고 가정했다. 또한 다중경로의 수  $L$ 은 CM1에서 140이고, CM2는 160이며, CM3는 280, CM4는 450이다. 그림 1에서는 각 채널 모델 분류에 따라 0.7626 nsec 단위로 샘플링한 채널의 임펄스 응답 예들을 도시하고 있다.

제시된 다중경로 채널을 통과한 수신단의 수신 신호는 식 (3)과 (7)을 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다[9].

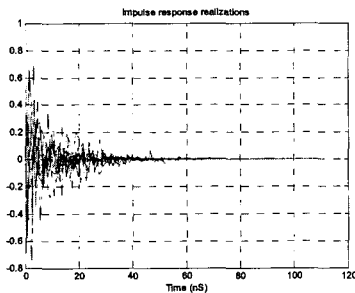
$$r(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{L-1} a_i w(t - jT_f - \tau_i) + n(t) \quad (8)$$

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

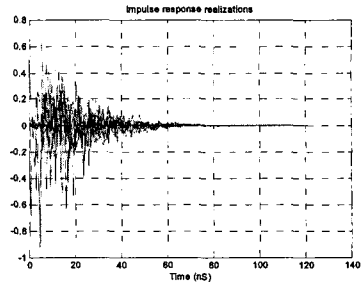
$$v(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} w(t - jT_f - \epsilon^{(n)}) \quad (9)$$

여기서  $\epsilon^{(n)} (\{n \in 0, 1, \dots, N-1\})$ 은 동기 획득을 위한 탐색 위치를 나타내며, 탐색 단위 구간 (Bin Spacing)은 프레임 구간 내에서  $T_f/N$ 로 고정된다. 여기서 수신단의 상관기는 구간마다 탐색 위치를 바꿔가며 신호 동기를 탐색하게 된다. 한편,  $j$ 번째 프레임 내에서  $n$ 번째 탐색 위치에 의해 신호가 상관기를 거쳐 출력된 신호를  $z_j^{(n)}$ 이라 한다면, 다음과 같이 표현 가능하다[9].

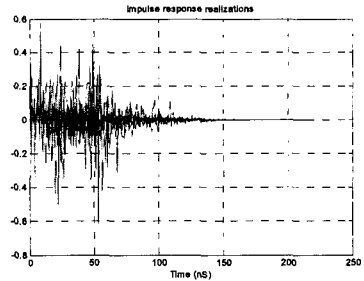
$$z_j^{(n)} = \int_{jT_f + \epsilon^{(n)} - T_c/2}^{jT_f + \epsilon^{(n)} + T_c/2} r(t) v(t) dt \quad (10)$$



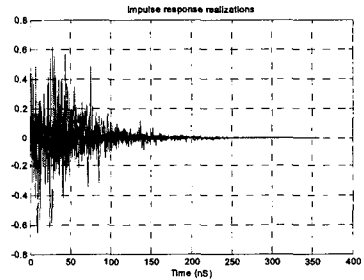
(a) CM1



(b) CM2



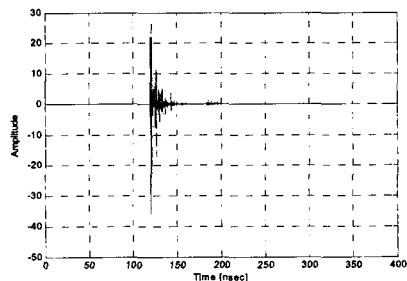
(c) CM3



(d) CM4

그림 1. 채널 모델 분류에 따른 IEEE 802.15 TG3a UWB 채널 모델의 임펄스 응답 예.

그림 2에서는 IEEE 802.15 TG3a UWB 실내 무선 채널에서,  $N = 4096$ ,  $T_f = 500$  nsec,  $\tau_0 = 120$  nsec 인 경우의 참조 신호 위치에 따른 수신단 상관기 출력의 신호 성분  $z_j^{(n)}$ 을 도시하고 있다.



(a) CM1

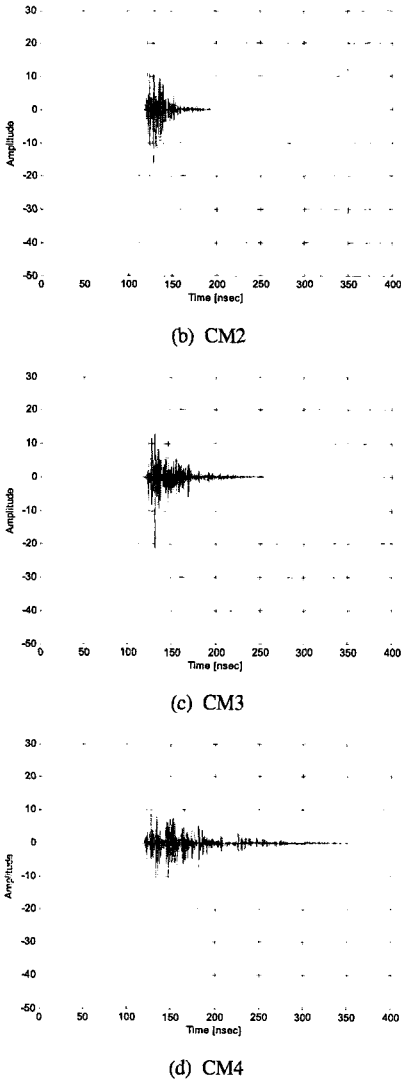


그림 2. IEEE 802.15 TG3a UWB 실내 무선 채널에서 참조 신호 위치에 따른 상관기 출력 신호의 성분 ( $N = 4096$ ,  $T_f = 500$  nsec,  $\tau_0 = 120$  nsec).

### III. 연속동기 탐색을 위한 Markov 분석 및 고속 동기 획득 알고리즘

신호 동기 획득은 임의의 전송 지연  $\tau_0$ 에 대한 추정을 통하여 프레임의 경계를 정확히 맞추는데 목적이 있다. 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 (10)의 상관기 출력을 고려할 때  $\tau_0$ 의 함수로서 (즉,  $p_n \equiv p_n(\tau_0)$ ) 다음과 같이 구해진다.

$$p_n = \Pr(|z_j^{(n)}| \leq \Gamma), j = \dots, -1, 0, 1, \dots \quad (11)$$

여기서,  $n = j \bmod N$ 이며,  $\Gamma$ 는 탐색이 종료되기 위한 임계값이다.

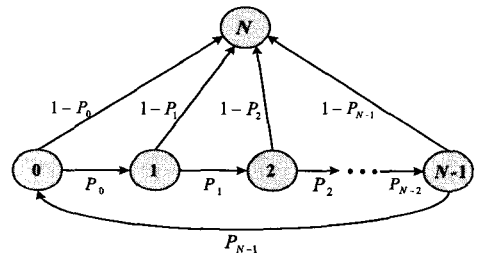


그림 3. Single-Dwell 연속 동기 탐색을 위한 Markov chain 모델.

그림 3에서는 연속 동기 탐색을 위한 Markov Chain 모델을 도시하며, 여기서  $0, 1, 2, \dots, N-1$ 은 탐색할 Bin의 위치를 나타내며  $N$ 은 탐색이 종료된 상태를 나타낸다. 만약 모든 다중경로 성분을 알고 있다고 가정한다면, 각각의 Bin을 거치며 탐색이 종료되기까지 소요되는 시간의 기대값은 아래와 같이 구할 수 있다[9].

$$E(T) = \frac{1 + \sum_{m=0}^{N-2} \prod_{n=0}^m p_n}{1 - \prod_{n=0}^{N-1} p_n} \quad (12)$$

하지만 실제적으로 다중경로 채널 파라미터들인  $\alpha_\ell$ ,  $\tau_\ell$ 에 대한 정확한 값들을 알지 못하기 때문에 통계적 모델 및 이를 이용한 평균의 계산이 필요하다. 특히  $\tau_0$ 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, 동기 획득 소요 시간의 기대값  $E(T)$ 는 다음과 같이 다시 구할 수 있다.

$$E(T) = \frac{1}{N} \sum_{\tau_0=0}^{(N-1)T_f/N} \frac{1 + \sum_{m=0}^{N-2} \prod_{n=0}^m p_n(\tau_0)}{1 - \prod_{n=0}^{N-1} p_n(\tau_0)} \quad (13)$$

한편 구간을 변화해 가며 동기 탐색을 하는 동안 탐

색이 종료되는 Bin들을 랜덤변수  $X_0, X_1, \dots, X_{J-1}$ 로 정의할 수 있다. 여기서  $J$ 는 탐색을 종료하게 되는 상태, 즉 탐색 종료 구간의 개수이며  $J \in \{0, 1, \dots, N\}$ 의 값을 가질 수 있다. 다시 말해  $J$ 는  $p_n$ 이 0이 되는 구간이라고 할 수 있다. 그림 4는 채널 상황이 가장 좋은 CM1 및 가장 나쁜 CM4의 경우  $N=4096$ ,  $T_f=500$  nsec일 때 임계값  $\Gamma=3$ 일 때 탐색 전환 확률의 예를 도시하고 있다.

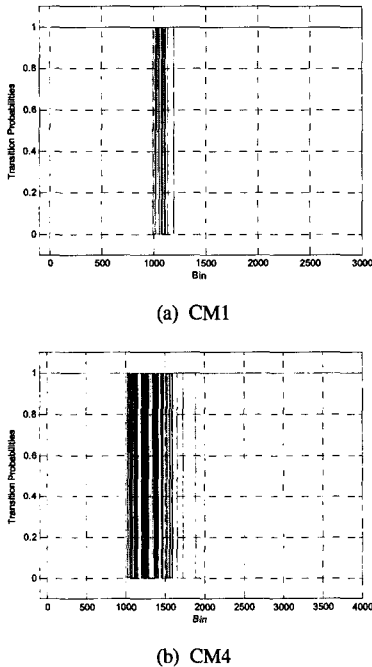


그림 4. UWB 실내 무선 채널 환경에서 상판기 출력 신호에 대한 탐색 전환 확률의 예 ( $N=4096$ ,  $T_f=500$  nsec,  $\Gamma=3$ ).

색 알고리즘은 동기 획득을 위한 참조 신호의 탐색 위치 순서를 어떻게 결정하느냐에 따라 구분된다. 그림 5에서는 Linear 및 Bit Reversal 탐색 알고리즘 순서에 대한 예를 도시하고 있다. 먼저 Linear 탐색 알고리즘은 탐색 영역 순서를 순차적으로 정한 것으로 이 경우 이상적인 평균 동기획득 시간은 다음과 같이 표현될 수 있다[9].

$$E(T) = \frac{(N-J)^2 + (3N-J)}{2N} \quad (14)$$

한편, Bit Reversal 탐색 알고리즘은 전체 탐색 영역  $N$ 을  $2^n$  ( $n$ 은 양의 정수)의 형태로 나타내어 이를 “Bit Reversing”을 통해서 순서를 정하게 된다. 예를 들어  $N=8=2^3$ 인 경우, 이를 이진수로 표현하면 아래와 같이 표현할 수 있다.

000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111

위 순서는 Linear 탐색 알고리즘의 {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}인 연속적인 경우와 동일하지만, 이와 같은 순서로부터 “Bit reversing”을 통하여 다음과 같이 새로운 탐색 순서를 얻을 수 있다.

000, 100, 010, 110, 001, 101, 011, 111

위의 탐색 순서는 {0, 4, 2, 6, 1, 5, 3, 7}로서 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 위한 새로운 탐색 순서를 얻을 수 있게 된다. 이러한 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 이상적인 평균 동기획득 시간은 다음과 같이 구해질 수 있다[9].

$$E(T) = \frac{1}{2} \left( \frac{N}{J} + 1 \right) \quad (15)$$

#### IV. 모의실험 결과

모의실험을 위해 펄스 크기 상수  $A$ 는 1, 펄스 폭 파라미터  $\tau_p$ 는 0.3813 nsec로 정하였으며, 펄스당 샘플의 수는 127개로 하였다. 신호대잡음비는 매우 높다고 가정하여 잡음 성분을 제외한 다중경로 성분만을 고려하였다. 한편, 2절에서 언급한 바와 같이 펄스의 지속 시간  $T_c$ 를 0.7626 nsec로 가정하였기 때문에 각 채널 모델을 0.7626 nsec 단위로 샘플링 하였다. 프레임 구간  $T_f$ 는 500 nsec와 1000 nsec인 경우를 고려했으며, 탐색 구간을 나누기 위한 Bin의 수

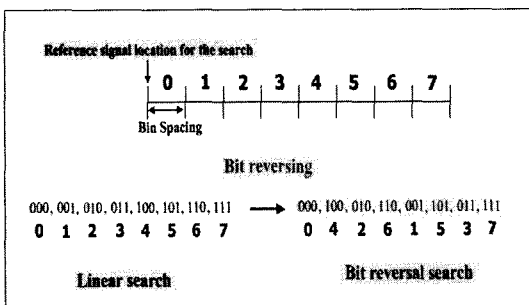
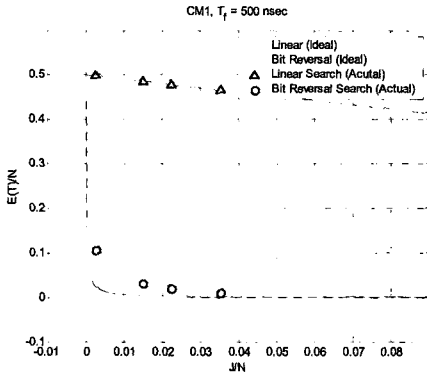


그림 5. Linear 및 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 탐색순서 예.

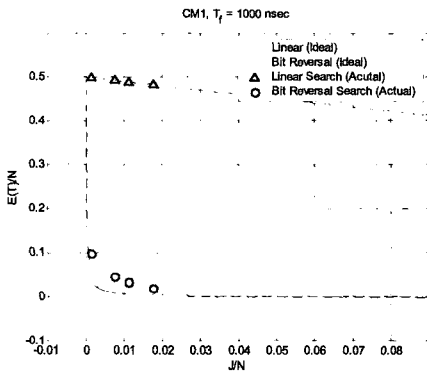
본 논문에서는 동기 획득을 위한 탐색 알고리즘으로 일반적인 Linear 탐색과 [9]에서 제안된 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 고려하였다. 이 두 가지 탐

$N$ 은 4096 및 8192를 각각 고려하였다. 다중경로 채널 모델로서 IEEE 802.15 TG3a UWB 채널 모델인 CM1 ~ CM4를 고려하였다.

탐색 알고리즘의 성능을 비교하고 있다.



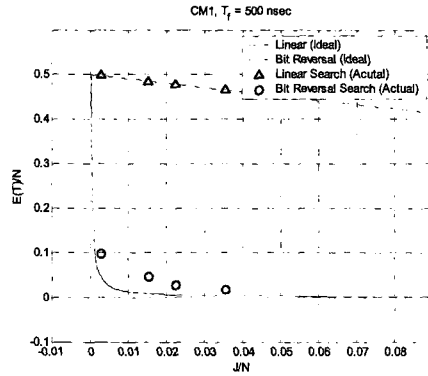
(a)  $T_f = 500$  nsec



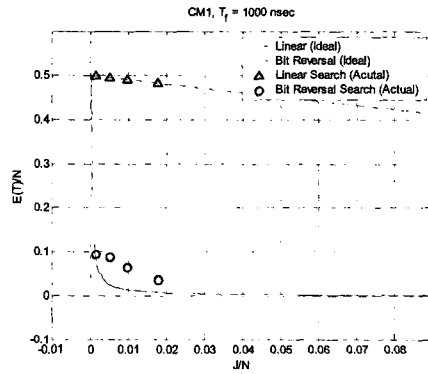
(b)  $T_f = 1000$  nsec

그림 6. CM1 채널에서 임계값의 변화에 따른 Linear 및 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간 비교 ( $N = 8192$ ).

그림 6은 채널 모델 가운데 가장 좋은 환경인 CM1 채널에서  $N$ 이 8192일 때  $T_f$ 가 각각 (a) 500 nsec와 (b) 1000 nsec인 경우 임계값  $\Gamma$ 의 변화에 따른 Linear 탐색 및 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간 성능, 즉  $E(T)/N$ 을 비교하고 있다. 여기서  $T_f$ 가 500 nsec인 경우 탐색 단위 구간은 약 0.06 nsec가 되며, 1000 nsec인 경우는 약 0.12 nsec가 된다. 또한, 그림 7은 CM1 채널에서  $N$ 이 4096일 때 (a)  $T_f$ 가 500 nsec, 탐색 단위 구간은 약 0.12 nsec인 경우와 (b)  $T_f$ 가 1000 nsec, 탐색 단위 구간은 약 0.24 nsec인 경우에 대해서 임계값 변화에 따른 Linear 탐색 및 Bit Reversal

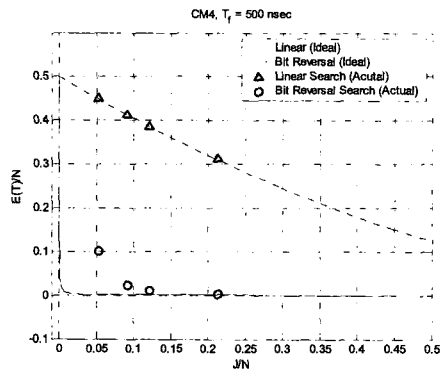


(a)  $T_f = 500$  nsec

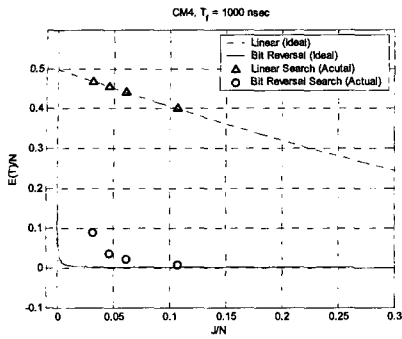


(b)  $T_f = 1000$  nsec

그림 7. CM1 채널에서 임계값의 변화에 따른 Linear 및 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간 비교 ( $N = 4096$ ).



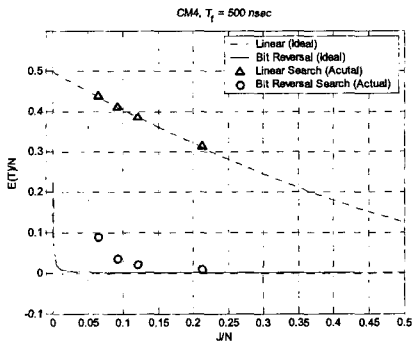
(a)  $T_f = 500$  nsec



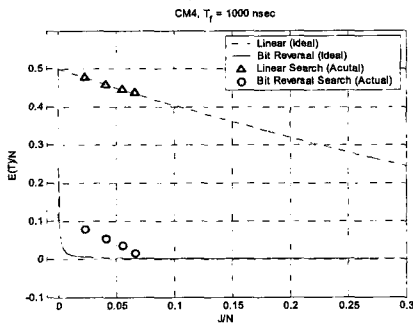
(b)  $T_f = 1000$  nsec

그림 8. CM4 채널에서 임계값의 변화에 따른 Linear 및 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간 비교 ( $N = 8192$ ).

한편 그림 8은 채널 모델 가운데 가장 나쁜 환경인 CM4 채널에서  $N$ 이 8192일 때  $T_f$ 가 각각 (a) 500 nsec와 (b) 1000 nsec인 경우를 도시하며, 그림 9는  $N$ 이 4096일 때  $T_f$ 가 각각 (a) 500 nsec와 (b)



(a)  $T_f = 500$  nsec



(b)  $T_f = 1000$  nsec

그림 9. CM4 채널에서 임계값의 변화에 따른 Linear 및 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간 비교 ( $N = 4096$ ).

1000 nsec인 경우에 대해서 임계값 변화에 따른 두 알고리즘의 성능을 비교하고 있다. 각 그림들에서 보듯이, 상이한 채널 환경 모두에서 Linear 탐색 알고리즘보다 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 성능이 단연 우수함을 알 수 있다. 또한 Linear 탐색 알고리즘의 경우  $J/N$ 의 값과 상관없이 성능이 이상적인 경우와 거의 비슷하지만, Bit Reversal 탐색 알고리즘의 경우는 동기 획득 성능이 일정 수준 이상적인 값과 같이 유지되나  $J/N$ 이 작아질수록, 즉 임계값이 커질수록 이상적인 값과는 어느 정도 차이를 보임을 알 수 있다.

이러한 임계값에 따른 동기획득 성능 변화를 보다 자세히 분석하기 위해, 표 2와 3에서는 CM1 ~ CM4 채널 분류에 따라 각각  $N$ 이 4096일 때와 8192인 경우에 대해 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간의 실험값들을 제시하고 있다. 각 표에서 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간  $E(T)/N$ 이 0.1에 가장 근접한 경우의 임계값들을 살펴보면, 탐색 구간  $N$ 이 같은 경우는 프레임 구간  $T_f$ 가 작을수록 임계값이 크며  $T_f$ 가 같은 경우는  $N$ 이 클수록 임계값이 크다.

결론적으로 동일한 동기 획득 소요 시간에 대해서 탐색 단위 구간이 세밀할수록 더 높은 임계값을 만족하게 되어 더욱 정확한 동기 획득 성능을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

표 2. Bit Reversal 알고리즘의 정규화된 평균 동기 획득 시간의 실험값 ( $N = 4096$ ).

채널 모델	$T_f = 500$		$T_f = 1000$	
	$\Gamma$	$E(T)/N$	$\Gamma$	$E(T)/N$
CM1	4	0.0171	4	0.0364
	5	0.0271	5	0.0657
	10	0.0471	6	0.0881
	18	<b>0.0979</b>	<b>10</b>	<b>0.0940</b>
CM2	4	0.1042	4	0.0271
	7	0.0278	5	0.0313
	10	0.0535	6	0.0408
	14	<b>0.1042</b>	<b>9.6</b>	<b>0.1147</b>
CM3	4	0.0195	4	0.0100
	6	0.0315	7	0.0227
	8	0.0461	9	0.0313
	11	<b>0.0909</b>	<b>12</b>	<b>0.0884</b>
CM4	4	0.0085	4	0.0161
	7	0.0220	7	0.0361
	10	0.0369	9	0.0540
	13	<b>0.0901</b>	<b>11</b>	<b>0.0784</b>



표 3. Bit Reversal 알고리즘의 정규화된 평균 동기 획득 시간의 실험값 ( $N = 8192$ ).

채널 모델	$T_f = 500$		$T_f = 1000$	
	$\Gamma$	$E(T)/N$	$\Gamma$	$E(T)/N$
CM1	4	0.0085	4	0.0171
	6	0.0193	6	0.0330
	10	0.0309	8	0.0446
	21	0.1056	18	0.0978
CM2	4	0.0065	4	0.0128
	7	0.0138	7	0.0278
	15	0.0718	9	0.0352
	17	0.0771	14	0.1041
CM3	4	0.0051	4	0.0010
	6	0.0096	8	0.0254
	10	0.0215	10	0.0347
	14.5	0.0872	12	0.0884
CM4	4	0.0042	4	0.0084
	7	0.0112	7	0.0219
	11	0.0231	11	0.0426
	14.9	0.1007	13	0.0896

### V. 결론

본 논문에서는 최근 들어 고속 W-PAN 뿐만 아니라 무선측위 기능이 제공되는 유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 무선 전송 기술로 활발히 연구되고 있는 UWB 시스템의 구현을 위한 UWB 신호 동기 획득 알고리즘의 성능을 분석하였다. 특히 일반적인 Single-Dwell 연속 동기 탐색 기반의 Linear 탐색 알고리즘 및 [9]에서 제안된 Bit Reversal 탐색 알고리즘의 성능을 실제 채널 환경에서 좀 더 체계적으로 분석하기 위해, UWB 시스템의 성능 평가를 위해 최근 제시된 IEEE 802.15 TG3a의 실내 무선 채널 모델에서 프레임 구간, 탐색 단위 구간 등의 다양한 시스템 파라미터의 변화에 따른 동기 획득 알고리즘들의 성능 변화를 분석하였다. 모의실험 결과, 다양한 채널 환경에서 Bit Reversal 탐색 알고리즘이 단연 우수함을 확인하였으며, 프레임 구간  $T_f$ 가 늘어날수록 이상적인 경우와 더욱 근접함을 확인할 수 있었다. 또한 탐색 종료 구간의 변화에 따른 두 가지 알고리즘을 통해, 실험에 의해 구한 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간은 이상적인 값과 거의 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 특히, Bit Reversal 탐색 알고리즘

은 탐색 단위 구간이 세밀할수록 동일한 정규화된 평균 동기 획득 소요 시간에 대해 더욱 정확한 동기 획득 성능을 얻을 수 있음을 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] 신요안, 양석철, 오종욱, "IEEE 802.15 WPAN 기술 표준화 동향," *Telecommun. Review (무선통신·방송의 표준 기술 특집호)*, 제87호, pp. 131-148, 2003년 11월.
- [3] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3a.html>
- [4] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>
- [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] Y. Ma, F. Chin, B. Kannan, and S. Pasupathy, "Acquisition performance of an ultra wide-band communications system over a multiple-access fading channel," *Proc. IEEE Conf. Ultra Wideband Syst. & Technol. (UWBST 2002)*, pp. 99-103, Baltimore, USA, May 2002.
- [9] 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.
- [10] D. J. Gargin, "A fast and reliable acquisition scheme for detecting ultra wide-band impulse radio signals in the presence of multi-path and multiple access interference," *Proc. IEEE Conf. Ultra Wideband Syst. & Technol. (UWBST 2004)*, pp. 106-110, Kyoto, Japan, May 2004.
- [11] IEEE 802.15 TG3a Channel Modeling Sub-Committee, "Proposed UWB channel

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

- [12] 양석철, 신요안, "UWB 시간 도약 다원 접속 시스템," *한국통신학회지 (UWB 특집)*, 제20권, 제2호, pp. 86-98, 2003년 2월.
- [13] S. Kim, K.-H. Park, S. Yang, H.-S. Kim, and Y. Shin, "Time hopping sequences based on pseudo random codes for ultra wideband impulse radio systems," *Proc. Int'l Tech. Conf. Circuits/Syst., Computers & Commun. (ITC-CSCC 2002)*, vol. 2, pp. 1354-1357, Phuket, Thailand, July 2002.
- [14] J. R. Foerster, "The effects of multipath interference on the performance of UWB systems in an indoor wireless channel," *Proc. IEEE Vehicular Technol. Conf. (VTC 2001 - Spring)*, vol. 2, pp. 1176-1180, Rhodes, Greece, May 2001.
- [15] 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.

오 증 옥 (Jongok Oh)

준회원



2003. 2 : 숭실대학교 정보통신  
전자 공학부 졸업 (학사)  
2003. 3 ~ 현재 : 숭실대학교  
정보통신전자공학부 석사과정

<관심분야> UWB 전송 시스템

양 석 철 (Suckchel Yang)

준회원



2002. 2 : 숭실대학교 정보통신  
전자공학부 졸업 (학사)  
2004. 2 : 숭실대학교 정보통신  
전자공학부 졸업 (석사)  
2004. 3 ~ 현재 : 숭실대학교  
정보통신전자공학부 박사과정

<관심분야> UWB 전송 시스템

신 요 안 (Yoan Shin)

정회원



1987. 2 : 서울대학교 전자공학과  
졸업 (학사)  
1989. 2 : 서울대학교 전자공학과  
졸업 (석사)  
1992. 12 : University of Texas  
at Austin 전기 및 컴퓨터공학  
과 졸업 (박사)

1992. 12 ~ 1994. 7 : 오스틴 소재 MCC  
(Microelectronics & Computer Technology Corp.)  
연구콘소시엄 Member of Technical Staff

1994. 9 ~ 현재 : 숭실대학교 정보통신전자공학부  
부교수

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