

# UWB 신호의 빠른 동기 획득을 위한 두 단계 Binary Exponential 탐색 알고리즘

이남기\*, 최희철\*\*, 박승권\*\*\*  
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과

## Two Step Binary Exponential Search Algorithm, for Rapid UWB Timing Acquisition

Namki Lee\*, Huichul Choi\*\*, SungKwon Park\*\*\*

Dept. of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

E-mail : \*2004500320@ihanyang.ac.kr, \*\*2005550362@ihanyang.ac.kr, \*\*\*sp2996@hanyang.ac.kr

### Abstract

In this paper, we propose a two step Binary Exponential search algorithm for rapid acquisition time of UWB(Ultra Wide Band) signal on UWB communication systems. Previous proposed timing acquisition algorithm is searching whole frame that consist of the number of  $n$  Bins to terminate search, however this paper proposed two step Binary Exponential search algorithm can achieve remarkable reduction of UWB signal acquisition time as limiting search group. Proposed search algorithm is consisting of search group establishment step and Bit Reversing of search group establishment step.

### I. 서론

최근 유비쿼터스 환경을 구현할 무선통신기술로 UWB (Ultra Wide Band) 통신 시스템이 주목 받고 있다. UWB 통신기술은 짧은 거리 내에서 기가급의 전송속도를 구현 할 수 있는 통신기술로써 임펄스 형태의 짧은 펄스를 수 GHz 폭의 넓은 대역으로 확산시켜 통신하는 기술이다. 연속적인 전형파를 사용하는 기존의 무선통신 시스템과는 달리, UWB 시스템에서는 1 nano sec 내의

의 매우 좁은 폭을 갖는 펄스를 전송하기 때문에 넓은 대역에 걸쳐 매우 낮은 전력밀도 특성과 기존통신대역과 간섭 특성 등의 특징이 나타나게 된다.

데이터의 고속전송을 위해 정확하고 빠른 UWB 신호의 동기획득이 중요한 문제로 인식되고 있으며 최근 들어 이러한 UWB 신호의 동기획득과 관련된 연구결과가 보고 되고 있다 [1,2,3,4].

특히 [1,2]에서는 일반적인 연속 동기 탐색 기반의 선형 탐색 알고리즘의 동기 획득 시간을 크게 감소 하는 Bit Reversal 탐색 알고리즘을 제안한 바 있다. 하지만 이는 잡음이 인가된 환경에서 신호 획득을 위한 임계값이 작은 경우 정확한 동기 획득이 매우 어려우며, 임계값이 큰 경우 동기 획득 시간이 크게 증가하는 단점이 있다.

본 논문에서는 UWB 신호의 동기획득 시간을 개선하기 위한 두 단계 Binary Exponential 탐색 알고리즘을 제안하였으며 시뮬레이션을 통해 기존에 제안된 탐색 알고리즘과 UWB 신호 동기획득 시간을 비교 분석하였다.

### II. UWB 신호 동기획득 알고리즘

UWB 신호의 동기획득 과정은 정확한 프레임의 경계획득을 통해 전송된 신호를 검출하는데 목적이 있다.

동기획득 과정은 상관기의 출력값  $Z_j$  가 임계값을 넘게 되면 동기가 획득되었다고 가정하고 동기획득 과정을 종료한다. 임계값을 넘지 않으면 다음 구간으로 넘어가 동기획득이 될 때까지 계속 진행된다. 동기획득 과정이 다음 구간으로 넘어갈 확률(동기획득이 되지 않을 확률)은  $p_n$  으로 나타낸다.  $1-p_n$  은 동기획득을 위한 프레임 탐색이 종료되는 확률을 나타낸다.

$$p_n(\tau_0) = P_{(j \bmod N)}(\tau_0) = P_r(|Z_j| \leq \sqrt{E_p \gamma}) \quad (1)$$

여기서  $N$  은 전체 Bin 개수,  $j$  는 Bin 위치,  $\tau_0$  은 전송지연을 나타낸다. 그림 1은 UWB 신호 동기획득을 위한 Markov Chain Model이며 여기서  $0, 1, 2, \dots, N-1$  은 탐색할 Bin 위치를 나타내며  $N$  은 탐색이 종료된 상태를 나타낸다.

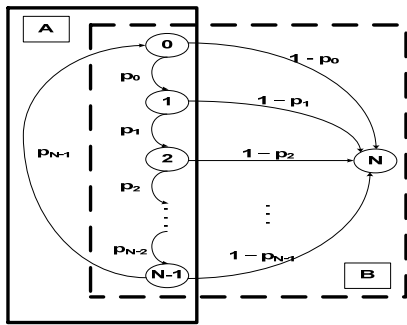


그림 1 UWB 신호 동기획득을 위한 Markov Chain Model

그림1의 평균 동기획득 시간은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E(T_\gamma) = \frac{A}{B} = \frac{1 + \sum_{m=0}^{N-2} \prod_{n=0}^m p_n}{1 - \prod_{n=0}^{N-1} p_n} \quad (2)$$

하지만 다중경로 채널과 전송지연 파라미터 값을 정확히 알지 못하기 때문에 통계적 모델이 필요하며 이에 따른 평균 동기획득 시간은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E(T) = \frac{1}{T_f} \int_0^{T_f} \frac{1 + \sum_{m=0}^{N-2} \prod_{n=0}^m p_n(\tau_0)}{1 - \prod_{n=0}^{N-1} p_n(\tau_0)} d\tau_0 \quad (3)$$

탐색이 종료되는 Bin은 랜덤변수  $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{J-1}$  로 나타낼 수 있다.  $J \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$  이며 탐색이 종료된 총 Bin 개수를 나타낸다.

기존에 제안된 탐색 알고리즘으로는 Linear Search, Truly Random Search, Random Permutation, Look and Jump by K Bins Search, Bit Reversal Search 등이 있으며 이 중에서 UWB 신호의 동기획득 시간이 가장 짧은 탐색 알고리즘은 Bit Reversal Search 알고리즘 이었다. [1]

● Bit Reversal

$N$  개의 Bin으로 나뉜 프레임을  $2^n$  ( $n$  은 양의 정수)의 형태를 Bit Reversing을 이용해 검색한다. 예를 들어  $n=4$  이면 전체 Bin  $n=16=2^4$  의 형태로 나타낼 수 있다. Linear Search의 경우  $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\}$ 의 형태로 Bin을 검색하였지만 Bit reversal의 경우 Bin의 순서가  $\{0, 8, 4, 12, 2, 10, 6, 14, 1, 9, 5, 13, 3, 11, 7, 15\}$ 의 형태로 변경되어 Bin이 검색된다. 평균 동기획득 시간은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E(M) = \frac{1}{2} \left( \frac{N}{K} + 1 \right) \quad (4)$$

그림은 Bit Reversal Search 알고리즘을 나타내고 있다. 여기서 한 프레임은 16개 Bin으로 구성되었다고 가정하였다.

16 Bins	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Search Order of Linear	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	8 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	10 <sup>th</sup>	11 <sup>th</sup>	12 <sup>th</sup>	13 <sup>th</sup>	14 <sup>th</sup>	15 <sup>th</sup>	16 <sup>th</sup>
Search Order of Bit Reversal	1 <sup>st</sup>	9 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	13 <sup>th</sup>	3 <sup>rd</sup>	11 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	15 <sup>th</sup>	2 <sup>nd</sup>	10 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	14 <sup>th</sup>	4 <sup>th</sup>	12 <sup>th</sup>	8 <sup>th</sup>	16 <sup>th</sup>

그림 2 Bit Reversal Algorithm(16 Bins)

III. 제안된 Binary Exponential 탐색 알고리즘

본 논문에서는 UWB 신호의 빠른 동기획득을 위해 기존의 탐색 알고리즘보다 UWB 신호 동기획득 시간이 향상된 두 단계 Binary Exponential 탐색 알고리즘을 제안하였다. 기존에는 UWB 신호의 빠른 동기획득을 위해 Bit Reversal을 탐색 알고리즘을 적용한 일반적인 Double-Dwell 탐색 방법[5]을 적용하였다. Double-Dwell 탐색 방법은 신호의 동기획득을 위해 두 개의 상관기를 동시에 사용하며 각각의 상관기는 전체 탐색영역을 반

으로 나누어 독립적으로 Bit Reversal 알고리즘을 적용하여 탐색을 수행하게 된다. 이러한 두 개의 상관기 출력값중 설정된 임계값보다 크면 탐색을 종료하게 된다. 결과적으로 Double-Dwell 탐색 방법은 하나의 상관기가 탐색하는 구간이 전체 탐색 영역의 절반이 되므로 평균 동기획득 시간이 Single-Dwell 탐색 방법보다 약 두 배 정도 단축될 것으로 예상할 수 있다. 그림 3에서 이러한 일반적인 Double-Dwell 방식의 기본적인 탐색 과정 구조를 도시하고 있다.

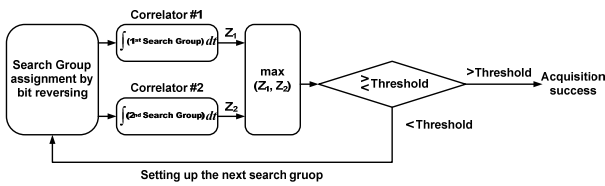


그림 3 일반적인 Double-Dwell 방식의 탐색을 위한 구조

제안된 두 단계 Binary Exponential 탐색 알고리즘은 Single-Dwell 연속 탐색 기법으로 기초로 한 개의 상관기를 이용하여 UWB 신호의 동기획득을 위해 두 단계 처리과정을 실행한다. 첫 번째 단계는 탐색구간을 설정하는 단계이다. 이 단계가 기존 탐색 알고리즘과의 가장 큰 차이점이다. 기존 탐색 알고리즘은  $n$  개의 Bin으로 나누어진 프레임 전체를 탐색하였지만 제안된 탐색 알고리즘은 탐색구간을 제한함으로써 기존의 탐색 알고리즘보다 좀 더 빨리 UWB 신호의 동기획득을 할 수 있었다. 탐색구간을  $m^n$  ( $m$  과  $n$  은 같거나 다른 양의 정수)으로 설정하게 되면 탐색구간이 무한정 커질 수 있으므로 탐색구간은  $2^n$  의 크기만큼 증가하도록 설정하였다. 또한 탐색구간을  $2^n$  크기만큼 증가 시킴으로써 Bit Reversing에 적합한 탐색구간을 설정할 수 있게 된다. 두 번째 단계는 설정 탐색구간을 Bit Reversing 하는 단계이다. Bit Reversal의 Bin 탐색순서에 따라 UWB 신호의 동기획득 과정을 실행한다.[4]

제안된 탐색 알고리즘의 UWB 신호 동기획득 과정은 그림 4와 같다. 각 탐색구간의 상관기 출력값이 설정된 임계값을 넘게 되면 수신된 UWB 신호의 동기획득이 이루어지고 해당 프레임의 동기획득 과정이 종료

된다. 해당 프레임의 동기획득 과정이 종료 되면 다음 UWB 신호의 동기획득을 위해 다음 프레임으로 전환하여 제안된 탐색 알고리즘으로 동기획득 과정을 실행한다. 상관기 출력값이 설정된 임계값을 넘지 않으면 다음 탐색구간으로 전환되어 UWB 신호의 동기획득 과정이 진행되며 이때 탐색구간이 증가하게 된다. 예를 들어 현재 탐색구간 Bin 개수가  $2^3=8$  이었다면 다음 탐색구간의 Bin 개수는  $2^4=16$  이 된다. 이 과정을 반복하여 수신된 UWB 신호의 동기획득 과정을 진행한다.

제안된 탐색 알고리즘의 평균 동기획득 시간은 전체 탐색구간 개수와 Bit Reversing에 걸리는 시간으로 표현할 수 있고 수식으로는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E(M) = \frac{1}{M} \times \frac{1}{2} \times \left( \frac{N}{B} + 1 \right) \quad (5)$$

여기서  $M$  은 탐색구간의 개수,  $N$  은 하나의 프레임을 구성하는 총 Bin 개수,  $B$  는 검색된 Bin 개수 이다.

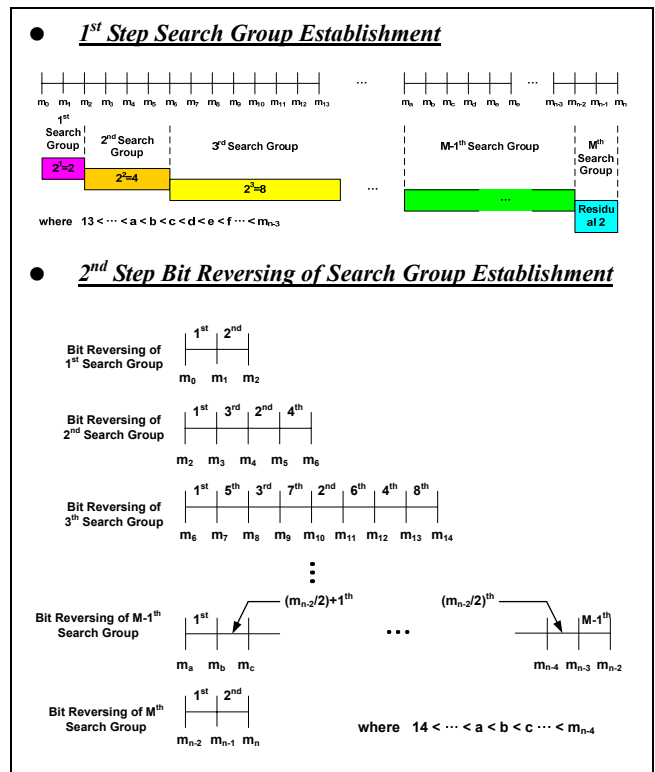


그림 4 두 단계 Binary Exponential 탐색 알고리즘

#### IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 위해 하나의 프레임을 각 2048 Bins,

4096 Bins, 8192 Bins, 16384 Bins로 나누어 실험하였다. 그림 5, 6을 통해 본 논문에서 제안한 탐색 알고리즘이 Bit Reversal 탐색 알고리즘보다 UWB 신호의 동기획득 시간이 큰 폭으로 향상된 것을 확인할 수 있었다.

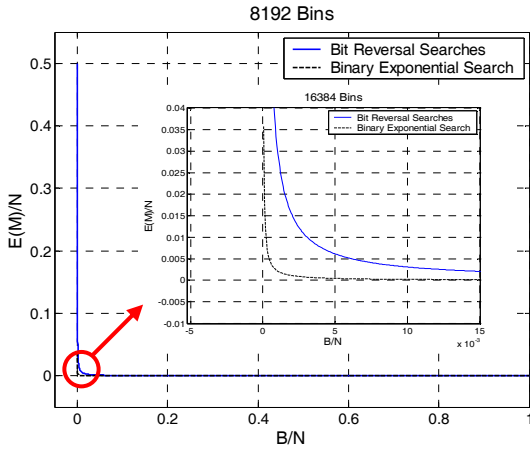


그림 5 Bit Reversal과 두 단계 Binary Exponential의 정규화된 평균 동기획득 시간(8192 Bins)

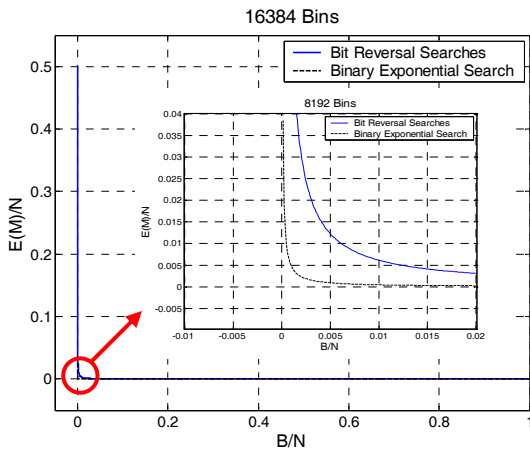


그림 6 Bit Reversal과 두 단계 Binary Exponential의 정규화된 평균 동기획득 시간(16384 Bins)

### V. 결론

본 논문에서는 유비쿼터스 네트워크 구축에 중요한 UWB 통신 시스템에서 UWB 신호의 빠른 동기획득을 위한 두 단계 Binary Exponential 탐색 알고리즘을 제안하였다. 제안된 탐색 알고리즘은  $n$  개로 구성된 프레임의 탐색구간을 제한함으로써 기존 탐색 알고리즘보다

훨씬 빠르게 UWB 신호의 동기획득을 할 수 있었다. 시뮬레이션을 통해 Bit Reversal 탐색 알고리즘보다 제안된 두 단계 Binary Exponential 탐색 알고리즘의 정규화된 평균 동기획득 시간이 약 10배정도 향상됨을 확인할 수 있었다.

Bins \ 탐색 알고리즘	2048	4096	8192	16384
Bit Reversal	0.0004	0.0002	0.0001	0.00006
Binary Exponential	0.00004	0.00002	0.000009	0.000004

표 1 Bin의 개수에 따른 정규화된 평균 동기획득 시간

### 참고문헌

- [1] Homier, E.A.; Scholtz, R.A “Rapid Acquisition of Ultra-Wideband Signals in the Dense Multipath Channel”, 2002 IEEE Conference on 21-23 May 2002 Page(s):105 – 109.
- [2] Jongok Oh, Suckchel Yang, Yoan Shin, “A Rapid Acquisition Scheme for UWB Signals in Indoor Wireless Channels”, 2004 IEEE Volume 2, 21-25 March 2004 Page(s):1143 - 1147 Vol.2.
- [3] Eric A. Homier, “Synchronization of Ultra-Wideband Signals in the Dense Multipath Channel”, A Dissertation Presented to the Faculty of the Graduate School University of Southern California.
- [4] 오종욱, 양석철, 신요안, “실내 무선 환경에서 프레임 및 탐색 단위 구간에 따른 UWB 신호 동기획득 알고리즘의 성능 분석”, 한국통신학회논문지 04-12 Vol.29 No 12C.
- [5] 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.