

# 반복구조 심볼을 이용한 Multi-Band UWB 시스템의 초기 심볼 동기화 성능분석

\*엄철용, 김수남, 정경훈, 강동욱, 김기두  
국민대학교 전자공학과

e-mail: cyuhm, snkim, khjung, dwkang, kdk@kookmin.ac.kr

## Performance Analysis of Symbol Synchronization in Multi-Band UWB System Using a Training Symbol with Two Identical Halves

\*Chul-Yong Uhm, Su-Nam Kim,  
Kyeong-Hoon Jung, Dong-Wook Kang, Ki-Doo Kim  
Department of Electrical Engineering  
Kookmin University

### Abstract

The time synchronization method for Multi-band UWB systems is proposed. We analyze the performance in symbol synchronization using a training symbol with two identical halves. The two halves of the training symbol are made identical by transmitting a modulated sequence on the even frequencies, while zeros are used on the odd frequencies.

### I. 서론

UWB(Ultra Wide Band) 기술은 고속의 데이터 전송, 낮은 전력소모, 작은 크기 등으로 근거리 무선 시스템의 물리계층으로 각광 받고 있으며 특히 홈네트워크에서 고화질 멀티미디어 전송을 위한 기술로 대두되고 있다. IEEE 802.15 TG3a에서는 기존의 고속 WPAN을 위한 IEEE 802.15.3 MAC(Medium Access Control)을 활용하면서 UWB 기술을 기반으로 한 Alternate PHY를 정의하기 위한 표준화 작업을 진행 중이다[1]. 이러한 UWB의 표준화는 TI사 중심의 MBOA에 의해 제안된 Multi-band UWB 및 Motorola사에 의해 인수된 XtremeSpectrum사 진영의

Dual-Band DS-UWB 제안서가 최종 표준화를 위해 아직까지 경합하고 있는 실정이다.

### II. Multi-band UWB System

#### 2.1 Multi-band UWB

Multi-band UWB 시스템은 Scrambler/Descrambler, Convolutional Encoder/Viterbi Decoder, Interleaver/Deinterleaver, OFDM Modulator/Demodulator로 구성되며, 송수신 신호의 시간과 주파수 영역에서의 인터리빙은 RF 단에서 주파수 합성기(Frequency Synthesizer)를 통해서 수행된다. 기본적인 Multi-band UWB의 물리계층 사양은 표 1과 같다[2].

표 1. Multi-band UWB의 물리계층 Parameters

Parameters	Value
System bandwidth, BW	528MHz
Data subcarriers, $N_{SD}$	100
Defined pilot carriers, $N_{SDP}$	12
Guard carriers, $N_{SG}$	10
Virtual carriers, $N_{SVC}$	6
Subcarrier frequency spacing, $\Delta F$	4.125MHz(BW/128)
Sampling period, $T_s$	1.89ns(1/BW)
IFFT/FFT period, $T_{FFT}$	242.42ns(1/ $\Delta F$ )
Zero padded prefix duration, $T_{ZP}$	60.61ns( $32 \times T_s$ )
Guard interval duration, $T_{GI}$	9.47ns( $5 \times T_s$ )
Symbol interval $T_{SYM}$	312.5ns

Multi-Band UWB 시스템은 인접 피코넷과의 충돌을 피하기 위하여 3개의 주파수 대역으로 호핑을 하며 전송대역내 리플이 발생하는 CP(Cyclic Prefix)대신 Zero-padding을 사용한다. 그림 1은 Multi-band UWB 시스템 기저대역 모델의 블록도를 보여준다.

### 2.2 동기화방식

Multi-band UWB 시스템은 동기를 위하여 30개의 심볼로 구성된 training symbol을 이용한다. 이러한 30개의 training symbol은 21개의 PS(Packet Synchronization) sequence와 PS sequence의 경계를 추정하기 위해 3개의 심볼로 구성된 FS(Frame Synchronization) sequence, 그리고 각 주파수 대역의 채널 추정을 위해 6개의 심볼로 구성된 CE(Channel Estimation) sequence로 구성되어 있다. Training symbol은 주파수 호핑을 하고 인접 피코넷간의 간섭을 방지하기 위하여 피코넷마다 서로 다른 training symbol을 전송한다[3,4]. 이러한 주파수 호핑에 따른 심볼 동기는 피코넷을 알 수 없는 초기 동기화 과정의 경우 4개의 training symbol 모두의 상관특성을 구하여야 함으로 수신단이 복잡해지는 문제가 발생한다.

## III. 반복구조 심볼을 이용한 심볼 동기화 기법

### 3.1 Training symbol의 반복구조

Multi-band UWB 시스템의 동기 추정을 위해 PS sequence는 IFFT 입력을 짝수 주파수에는 신호를 홀수 주파수에는 0으로 하여 시간축에서 심볼을 반복 구조로 가져갈 수 있다. 이 구조는 채널을 통과한 후에도 동일한 구조를 가져 갈 수 있으므로 이러한 반복구조를 사용하여 심볼 타이밍을 추정한다[5]. 수신단에서

는 수신된 신호를 복조 후 동기를 맞추고 피코넷 정보를 찾아낸 다음 각각의 피코넷에 맞는 호핑 패턴을 가지고 다음 심볼을 수신한다. 수신된 신호는 반복 구조를 가지므로 동기화 과정에서 하나의 심볼을 이용하여 심볼 동기를 획득 할 수 있다. 그림 2는 수신된 심볼의 반복구조를 보여준다.

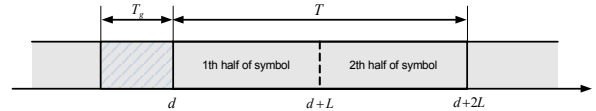


그림 2. 반복구조를 가지는 Multi-band UWB 심볼

### 3.2 심볼 동기화 기법

송신단에서 IFFT 후 변조된 송신 신호는 식 (1)과 같다.

$$s(t) = A \cos \{2\pi(f_c + hf_s)t + \theta\} \quad (1)$$

여기서  $A$ 는 OFDM 신호이며,  $f_c$ 는 첫 번째 밴드의 중심주파수로 3.432GHz 이고,  $hf_s$ 는  $h$ 번째 밴드를 가리킨다. 여기서  $h$ 는 {0,1,2}이며,  $f_s$ 는 428MHz의 밴드간 간격을 나타낸다. 수신단에서 각각의 Local Oscillator 출력을 식 (2)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} v_i(t) &= 2 \sin \{2\pi(f_c + hf_s)t\} \\ v_q(t) &= 2 \cos \{2\pi(f_c + hf_s)t\} \end{aligned} \quad (2)$$

저역통과 필터를 거친 후 합해진 신호는 식 (3)과 같다.

$$r(t) = LPF[s(t)v_i(t)] + jLPF[s(t)v_q(t)] \quad (3)$$

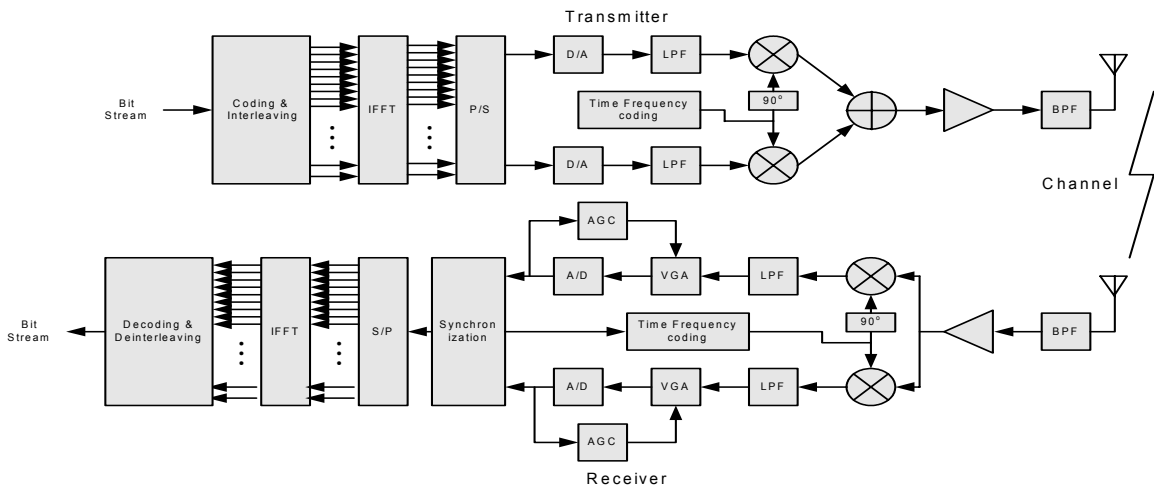


그림 1. Multi-band UWB 시스템의 기저대역 모델 블록도

여기서 LPF는 저역통과 필터를 의미한다. 또한  $r(t)$ 의 샘플링 후의 신호를  $r_m$ 이라고 할 때 시간 축에서 반복되는 신호의 첫 번째 절반과 나머지 절반의 곱을 모든 샘플에 대하여 더해보면 식 (4)와 같다.

$$P(d) = \sum_{m=0}^{L-1} (r_{d+m}^* r_{d+m+L}) \quad (4)$$

전송된 심볼의 절반 중 두 번째의 에너지는 식 (5)와 같이 정의된다.

$$R(d) = \sum_{m=0}^{L-1} |r_{d+m+L}|^2 \quad (5)$$

위의 식을 이용하여 타이밍 거리는 식 (6)과 같이 정의된다.

$$M(d) = \frac{|P(d)|^2}{(R(d))^2} \quad (6)$$

첫 번째 심볼은 첫 번째 밴드로 송신되므로  $h=0$ 이후 송신되는 심볼은 3개의 밴드를 호핑하게 된다. 그러므로 심볼의 반복구간을 이용하여 심볼 타이밍을 추정할 후 PS symbol을 분석하여 piconet 정보를 얻을 수 있다. 이를 이용하여 주파수 호핑 패턴을 찾고  $h$ 값을 결정한다. 타이밍 거리의 평균과 분산은 각각 식 (7), (8)과 같다.

$$E[M(d_{opt})] = \frac{\sigma_s^4}{(\sigma_n^2 + \sigma_s^2)^2} = \mu_M \quad (7)$$

$$\begin{aligned} var[M(d_{opt})] &= 4\mu_q^2 \sigma_q^2 \\ &= \frac{2\sigma_s^4 [(1 + \mu_M)\sigma_s^2 \sigma_n^2 + (1 + 2\mu_M)\sigma_n^4]}{L(\sigma_s^2 + \sigma_n^2)^4} \quad (8) \end{aligned}$$

여기서  $M(d_{opt})$ 은 최적의 타이밍 거리이며,  $q(d_{opt})^2 = M(d_{opt})$ 이고  $\mu_q$ 는  $q(d_{opt})$ 의 평균이다. 또한  $\sigma_s^2$ 와  $\sigma_n^2$ 은 각각 신호와 잡음의 분산을 나타낸다. 높은 SNR 환경에서는 평균은 대략 1이고 분산은 SNR에 반비례한다.

#### IV. 시뮬레이션

##### 4.1 채널 모델

UWB 채널 모델로서 IEEE 802.15 TG3a에서 제안된

UWB 채널모델을 고려한다. 이 모델은 기존의 UWB 채널 모델들과는 달리 기본적으로 Salch-Valenzuela 모델에 기초하고 있다. 여기서 다중경로 성분은 Cluster와 Ray의 형태로 도착하고 이들의 진폭은 일반적인 Rayleigh 분포 대신 Log-Normal 분포에 의해 산출된다. 표 2는 UWB 채널모델 파라미터이다.

표 2. IEEE 802.15 TG3a에서 분류된 4가지 UWB 채널 모델을 위한 파라미터

Parameter	CM 1	CM 2	CM 3	CM 4
$\lambda(1/nsec)$	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
$\sigma_1(dB)$	3.941	3.941	3.941	3.941
$\sigma_2(dB)$	3.941	3.941	3.941	3.941
$\alpha(dB)$	3	3	3	3

##### 4.2 시뮬레이션 결과

IFFT 입력으로 시간축에서 한 심볼을 반복 구조로 가져 갈 수 있다. 그림 3은 이러한 반복구조를 나타내며 Zero-padding 방식을 사용한 Multi-band UWB 시스템의 심볼을 보여준다.

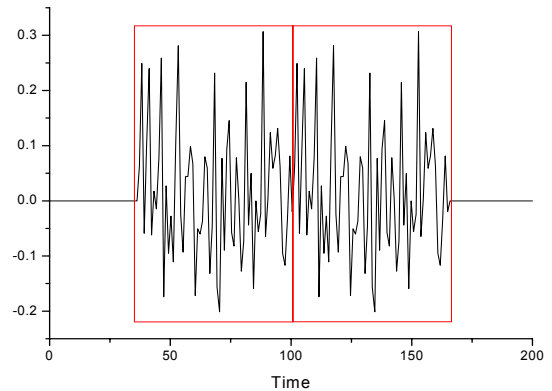


그림 3. Multi-Band UWB의 반복구조 심볼

이러한 반복구조의 심볼은 첫 번째 절반과 두 번째 절반이 같은 채널을 통과하므로 채널통과 후에도 반복구조를 유지할 수 있다. 그림 4는 UWB 채널 모델 1~4에서의 시간오프셋에 따른  $M(d)$ 의 정규화된 값을 보여준다.

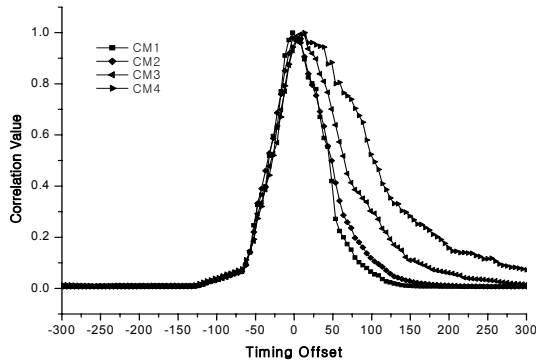


그림 4. 시간 오프셋에  $M(d)$  (SNR=10dB)

채널 모델 4의 경우 채널모델 1~3보다 delay spread의 영향으로 뚜렷한 비대칭구조를 가짐을 볼 수 있으나 심볼 동기에는 큰 영향을 미치지 못한다. 그림 5는 SNR에 따른 상관값을 보여준다.

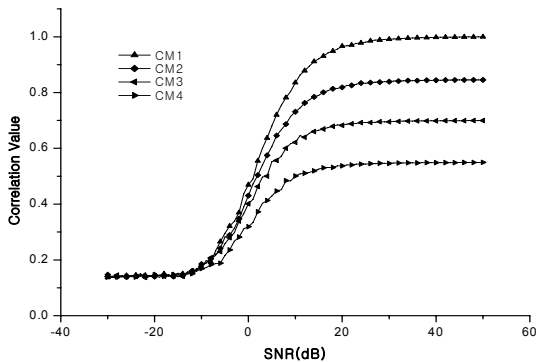


그림 5. SNR에 따른 반복구조 방식의 상관관계

채널모델 1~4에서 전체적으로 SNR이 약 10dB이상에서 높은 상관도를 보이며 약 20dB에서 최대값을 가짐을 볼 수 있다. 그림 5는 일반적으로 Multi-Band UWB 시스템의 심볼동기 방식으로 제안된 training symbol의 상호 상관값을 이용한 방식이다.

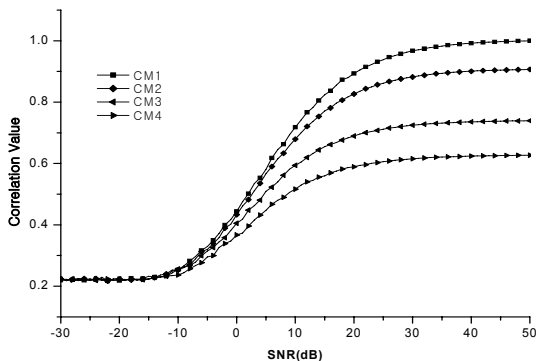


그림 5. SNR에 따른 training symbol방식의 상관관계

전체적으로 약 25dB 이상에 최대값을 가지는 것을 볼 수 있다.

## V. 결론

반복구조의 심볼을 사용한 Multi-band UWB 동기방식은 CP(Cyclic Prefix)를 사용할 경우 CP에서의 반복구조에 의해 성능저하가 발생한다. 그러나 Multi-band UWB 시스템은 전송대역내 리플이 발생하여 평균 전송 파워가 저하되는 것을 방지하기 위하여 zero-padding 방식을 사용하기 때문에 이러한 문제가 발생하지 않는다. 또한 수신된 심볼을 사용하므로 piconet에 따라 할당되어있는 각기 다른 training symbol과 상관도를 계산하지 않아도 되고 상관도 계산길이도 절반으로 줄어들기 때문에 빠른 심볼동기 획득이 가능하다. 또한 반복구조의 첫 번째와 두 번째 절반이 같은 채널을 통과하므로 채널을 통과하지 않고 수신단에서 알고 있는 심볼값과의 상관도 계산보다 높은 상관도를 얻을 수 있다. 이러한 점에서 상관길이가 상대적으로 짧아 발생하는 상관도 저하를 보상할 수 있다. UWB 시스템은 고속의 멀티미디어 전송을 목적으로 함으로 빠른 동기화를 필요로 한다. 이러한 점에서 제안한 심볼 동기화 방식은 Multi-band UWB 시스템에 적합하다.

## 참고문헌

- [1] IEEE Std 802.15.3, Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks(WPANs).
- [2] Anuj Bartra et al, Texas Instruments et al, Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a, IEEE P802.15-03/268r2, Nov. 2003.
- [3] 김영준, 석원균, 이규인, 조용수, "UWB용 MB-OFDM 기술," 전자공학회지, 제32권, 4호, pp. 439-450, 2005년 4월.
- [4] Paul H. Moose, "A Technique for Orthogonal Frequency Division Multiplexing Frequency Offset Correction," IEEE Transactions on Communication, Vol. 42, No. 10, October 1994.
- [5] Timothy M. Schmidl and Donald C. Cox, "Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM," IEEE Transactions on Communication, Vol. 45, No. 12, December 1997.