

UWB MB-OFDM 시스템을 위한 심볼 타이밍 및 반송파 주파수 오프셋 추정 기법

준회원 김 정 주*, 왕 우 봉*, 종신회원 장 경 희*

Symbol Timing & Carrier Frequency Offset Estimation Method for UWB MB-OFDM System

JungJu Kim*, Yupeng Wang* Associate Members, KyungHi Chang* Lifelong Member

요 약

본 논문에서는 Wireless PAN(WPAN)을 위하여 IEEE 802.15.3a의 표준안으로 제안된 Ultra WideBand(UWB) Multi-Band OFDM(MB-OFDM) 시스템에서의 프리앰블 모델을 분석하고, 효율적이며 향상된 성능을 제공하는 심볼 타이밍 및 반송파 주파수 오프셋 추정 알고리즘을 적용한 후 AWGN 및 UWB 채널 환경에서 모의 실험을 통하여 심볼 타이밍 오프셋 추정 성능은 Detection Probability, False Alarm Probability, Missing Probability 및 Mean Acquisition Time으로, 반송파 주파수 오프셋 추정 성능은 MSE(Mean Square Error)로 확인한다.

Key Words : UWB, MB-OFDM, synchronization, symbol timing, carrier frequency

ABSTRACT

In this paper, we analyze the preamble model for Wireless PAN(WPAN) in proposed Ultra WideBand(UWB) Multi-Band OFDM(MB-OFDM) system of IEEE 802.15.3a standard. Besides, we propose effective Carrier Frequency Offset and Symbol Timing Offset Estimation algorithm which offers enhanced performance, and analyze its performance using Detection Probability, False Alarm Probability, Missing Probability, Mean Acquisition Time and MSE(Mean Square Error) through simulation in AWGN and UWB channel environments.

I. 서 론

Ultra WideBand(UWB)는 지난 40 여년간 미국 방성에서 군사용 무선 통신 기술로 사용되던 기술로서 Wireless PAN(WPAN) 환경에서 수백 Mbps의 전송속도를 제공하면서도 기존 Wireless LAN(WLAN) 장치에서 소요되는 전력량의 10분의 1 수준의 전력을 사용하여 통신이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 매우 넓은 주파수 대역의 사용으로 인해 야기될 수 있는 기존 통신과의 간섭 문제로 상업적 이용이 금지되어 왔다. 그러

나 2002년 2월 미국 연방통신 위원회(FCC)는 3.1 GHz~10.6 GHz에 걸친 주파수 대역제한과 1 MHz 당 -41.25 dBm 이하의 방사제한을 조건으로 상업화를 허가하게 되었다. FCC 에서는 UWB 를 중심 주파수의 25 % 이상의 점유 대역폭을 갖는 무선기술로 정의 하고 있다. 일반적으로 1 GHz 이상의 단일대역폭을 갖는 기존의 UWB 방식과는 달리 현재 진행되고 있는 IEEE 802.15.3a Task Group의 표준화에서는 기존의 방식을 대폭 수정하여 Multi-Band OFDM(MB-OFDM) 방식을 중심으로 논의가 이루어지고 있다. UWB MB-OFDM 시스템은 기본

* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실 (khchang@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-08-340, 접수일자 : 2005년 8월 18일, 최종논문접수일자 : 2006년 2월 14일

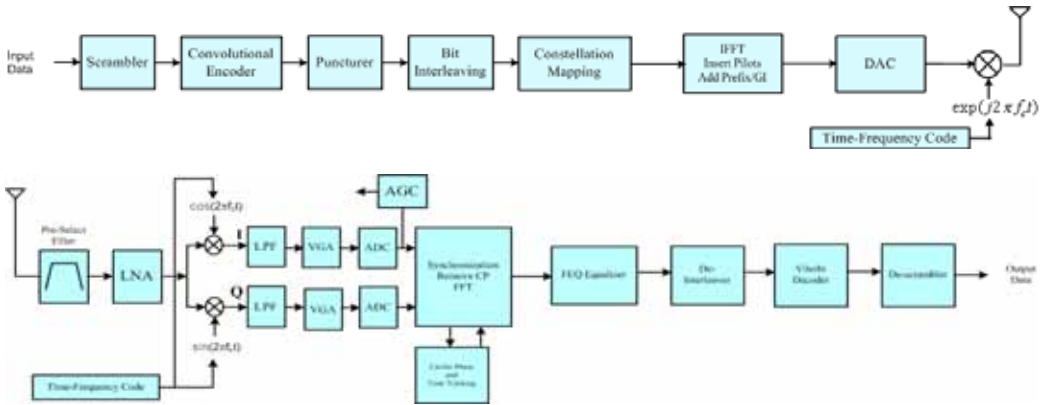


그림 1. UWB MB-OFDM 모델의 구조

적으로 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반 시스템이기 때문에 높은 전송 효율과 간단한 단일 탭 등화기로 채널의 왜곡을 보상하고, 심각한 인접 심볼간 간섭(ISI : Inter Symbol Interference) 문제를 Cyclic Prefix(CP)를 사용하여 쉽게 해결할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 2.4 GHz / 5 GHz의 비면허대역을 사용하는 Bluetooth 및 무선랜에 의한 간섭에 쉽게 대처할 수 있는 장점이 있다^[1, 2]. 본 논문에서는 UWB MB-OFDM 시스템의 프리앰블 모델을 분석하고, 효율적인 심볼 타이밍 및 반송파 주파수 오프셋 추정 기법을 제안하고, 그에 따른 성능을 모의 실험을 통하여 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 UWB MB-OFDM 시스템을 요약하고, 프리앰블 모델에 대하여 기술하고, III 장에서는 UWB MB-OFDM 시스템의 채널 모델에 대하여 설명한다. 그리고, IV 장에서는 UWB MB-OFDM 시스템을 위한 효율적이며 향상된 성능을 제공하는 심볼 타이밍 및 반송파 주파수 오프셋 추정 기법에 대해 설명하며, V 장에서는 동기 성능을 모의 실험을 통하여 분석한 후 VI 장에서는 결론을 맺는다.

II. UWB MB-OFDM 시스템

그림 1은 UWB MB-OFDM 시스템의 기저 대역 모델의 구조를 보여준다. 기본적인 UWB MB-OFDM 시스템은 스크램블러와 디스크램블러, 컨볼루션 인코더와 Viterbi 디코더, 그리고 인터리버와 디인터리버, 그리고 OFDM 변조기와 복조기로 구성된다. 기본적인 UWB MB-OFDM 시스템의 물리계층 사양은 표 1과 같다. MB-OFDM 시스템의 변

표 1. MB-OFDM 시스템 물리계층 파라미터

| Parameters | Values |
|------------------------------|-------------------------------------|
| System Bandwidth | 528 MHz |
| Data Subcarriers | 100 |
| Defined Pilot Carrier | 12 |
| Guard Carriers | 10 |
| Virtual Carriers | 6 |
| Subcarrier Frequency Spacing | 4.125 MHz |
| Sampling Period | 1.89 ns |
| IFFT/FFT Period | 242.42 ns |
| Zero Padded Prefix Duration | 60.61 ns |
| Guard Interval Duration | 9.47 ns |
| Symbol Interval | 312.5 ns |
| Modulation | QPSK |
| FEC | Convolutional Code (Punctured Code) |

조방식은 QPSK만을 사용하지만 부호화율과 주파수 / 시간영역 확산을 통하여 다양한 전송률을 지원한다. 주파수 영역 확산기법은 DC 부반송파를 중심으로 복소 대칭시켜 각 부반송파에 변조된 심볼을 배치한다. 이러한 방식으로 주파수 영역 확산을 할 경우, 시간 영역에서 실수 신호만으로 구성되기 때문에 RF 단의 하드웨어를 1/2로 줄일 수 있다. 또한 시간 영역 확산 기법은 시간 영역에서 하나의 OFDM 심볼을 두 번 반복하여 전송하는 방식으로 반복되는 두 심볼이 다른 대역으로 도약하여 전송됨으로서 다이버시티 이득을 극대화 시킬 수 있다. 기존의 OFDM 시스템과는 달리 중심 주파수가 호핑하기 때문에 주파수 합성기의 안정화를 위해 OFDM 심볼 뒷부분에 0을 9.47 ns 동안 삽입한다. 이러한 대

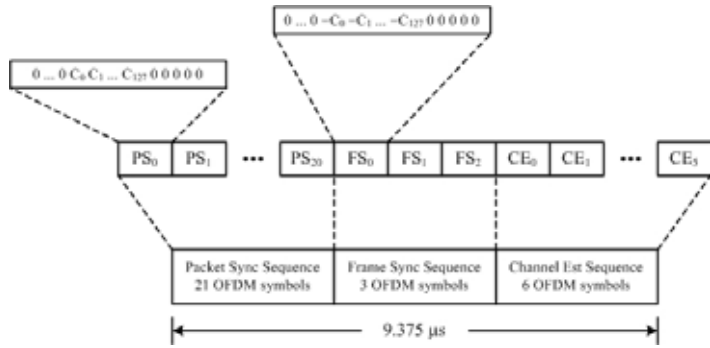


그림 2. UWB MB-OFDM 프리앰블 구조

표 2. 시간 - 주파수 코드

| Channel Number | Preamble Pattern | Mode 1 : Length 6 Time Frequency Code | | | | | |
|----------------|------------------|---------------------------------------|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 4 | 4 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 |

역간의 스위칭은 표 2에 주어진 TFC(Time-Frequency Code)에서 정해진 호핑 패턴에 따라 주파수 대역의 변경이 이루어진다.

그림 2는 UWB MB-OFDM 시스템에서 사용되는 프리앰블 구조를 나타낸다. 프리앰블은 패킷 동기 시퀀스로 구성된 21개의 심볼, 프레임 동기 시퀀스로 구성된 3개의 심볼, 그리고 마지막으로 채널 추정 시퀀스로 구성된 6개의 심볼로서 총 30개의 OFDM 심볼로 이루어진다. 프리앰블의 각 심볼은 대역내 리플을 줄이기 위해 보호 구간내 CP(Cyclic Prefix)가 아닌 32개의 0 샘플을 삽입한 ZP(Zero-padded Prefix)를 사용하였고, 타 대역으로 전환하는 과정에서 주파수 합성기의 안정화를 위하여 심볼의 뒷 부분에 5개의 0 샘플을 삽입한다.

PS(Packet Synchronization) sequence는 표 2에 나타난 Piconet의 주파수 호핑 패턴에 따라 미리 정의된 시간 영역 sequence로 구성되며, Packet의 detection 및 acquisition, 대략적 심볼 타이밍 오프셋(Coarse Symbol Timing Offset) 추정, 그리고, 대략적 반송파 주파수 오프셋(Coarse Carrier Frequency Offset) 추정에 사용한다. FS(Frame Synchronization) sequence는 PS sequence를 180° 위상 반전하여 얻은 sequence로 Packet 내에서의 동기를 수행하기 위해 사용된다. CE(Channel Estimation) sequence는 PS 및 FS sequence와는 달리 각 부반송파에 복소 심볼을 삽입하고 IFFT를 통해 구성되며,

대역 내 채널 추정과 미세 심볼 타이밍 오프셋(Fine Symbol Timing Offset) 추정 및 미세 주파수 오프셋(Fine Carrier Frequency Offset) 추정을 위해 사용된다^[2].

본 논문에서의 모의 실험은 표 1과 같은 파라미터를 적용하였고, 채널 모델은 AWGN과 기존의 Saleh-Valenzuela 모델을 수정한 UWB 채널 모델을 사용하여 시뮬레이션 한다.

III. UWB Channel Model

UWB 채널 모델은 UWB 환경에 적합한 채널 모델을 개발하기 위하여 구성된 IEEE 802.15. SG3a의 분과 위원회가 2003년 2월 802.15 TG3a의 물리 계층 성능 분석을 위하여 최종 제안된 모델이다. 추정을 통하여 관찰된 클러스터링 현상을 기초로 UWB 채널은 기존의 Saleh-Valenzuela 모델의 약간의 수정을 통하여 모델링할 수 있다. 채널 측정 결과에 따르면 UWB채널의 경우, 일반적인 채널 모델에 적용되는 레일리 분포보다는 로그노말 분포를 따르고, 클러스터뿐만 아니라 클러스터 내의 각 레이드 독립적인 페이딩을 겪음을 알 수 있다. 따라서, UWB 다중 경로 채널 모델을 간단히 수식으로 나타내면 아래의 식 (1)과 같다.

$$h_i(t) = X_i \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l}^i \delta(t - T_l^i - \tau_{k,l}^i) \quad (1)$$

여기서 T_l^i 는 i 번째 구현 채널의 l 번째 클러스터 지연을 나타낸다. $\tau_{k,l}^i$ 는 i 번째 구현채널의 l 번째 클러스터의 k 번째 멀티패스의 지연에 해당된다. 그리고 $\alpha_{k,l}^i$ 는 i 번째 구현채널의 l 번째 클러스터의 k 번째 다중 경로의 크기에 해당한다. 그리고, X_i 는 i 번째 구현 채널의 Log Normal Shadowing의 영향을 나

표 3. UWB 채널 모델

| Channel Characteristic | CM1 LOS (0-4m) | CM2 NLOS (0-4m) | CM3 NLOS (4-10m) | CM4 NLOS |
|--------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|----------|
| Mean excess Delay (nsec) | 5.05 | 10.38 | 14.18 | |
| RMS delay (nsec) | 5.28 | 8.03 | 14.28 | 25 |
| NP | | | 35 | |
| NP(85%) | 24 | 36.1 | 61.54 | |
| Model parameter | | | | |
| Λ (1/nsec) | 0.0233 | 0.4 | 0.0667 | 0.0667 |
| λ (1/nsec) | 2.5 | 0.5 | 2.1 | 2.1 |
| γ | 4.3 | 6.7 | 7.9 | 12 |
| Γ | 7.1 | 5.5 | 14.00 | 24.00 |
| σ_1 (dB) | 3.3941 | 3.3941 | 3.3941 | 3.3941 |
| σ_2 (dB) | 3.3941 | 3.3941 | 3.3941 | 3.3941 |
| σ_x (dB) | 3 | 3 | 3 | 3 |

타낸다. $\alpha^i_{k,l}$ 는 아래의 식 (10)과 같이 표기할 수 있다.

$$\alpha_{k,l} = p_{k,l} \xi_i \beta_{k,l} \quad (2)$$

여기서, ξ_i 은 1번째 클러스터와 관련된 페이딩, $\beta_{k,l}$ 은 1번째 클러스터의 k번째 레이와 관련된 페이딩, $p_{k,l}$ 은 반사로 인한 신호의 반전을 계산하기 위한 +/-1 값이다. 여기서 $\xi_i \beta_{k,l}$ 는 다음과 같은 특성을 갖는다.

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

$$\text{or } |\xi_i \beta_{k,l}| = 10^{(\mu_{k,l} + \eta_1 + \eta_2)/20} \quad (3)$$

여기서, η_1 과 η_2 는 서로 독립적이고, 각각의 클러스터와 레이의 페이딩에 해당되며, $\mu_{k,l}$ 은 다음과 같다.

$$\mu_{k,l} = \frac{10 \ln(\Omega_0) - 10T_l/\Gamma - 10\tau_{k,l}/\gamma - (\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \ln(10)}{\ln(10)} - \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2) \ln(10)}{20} \quad (4)$$

Γ 는 클러스터 감쇄 요소, γ 는 레이 감쇄 요소, σ_1 은 클러스터 로그 노말 페이딩의 표준편차, σ_2 는 레이의 로그노말 페이딩의 표준 편차를 나타낸다. 또한 Shadowing은 아래의 식 (13)으로 표시가 가능하다.

$$20 \log_{10}(X_i) \propto \text{Normal}(0, \sigma_x^2) \quad (5)$$

클러스터 도달시간과 레이 도달시간을 지수 확률 밀도함수로 표현하면 아래의 식 (14)와 같다.

$$p(T_l | T_{l-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})], \quad l > 0$$

$$p(\tau_{k,l} | \tau_{(k-1)l}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_{k,l} - \tau_{(k-1)l})], \quad k > 0 \quad (6)$$

이중 Λ 는 클러스터 도달율, λ 는 레이 도달율을 나타낸다. 채널의 총 에너지는 아래의 식 (15)와 같다.

$$E \left[\left| \xi_i \beta_{k,l} \right|^2 \right] = \Omega_0 e^{-T_l/\Gamma} e^{-\tau_{k,l}/\gamma} \quad (7)$$

여기서, T_l 은 빈 l의 초과 지연이고, Ω_0 는 첫 번째 클러스터의 첫 번째 경로의 평균 에너지로서 전체 수신 에너지 정규화를 위한 값이다. 총 다중대역 에너지의 로그노말 섀도잉은 X_i 이고, $\alpha^i_{k,l}$ 에 포함된 총 에너지는 각 신호에 대하여 정규화된다. 실제로 유효한 에너지는 직진 경로 성분의 에너지로부터 최대 10dB 감소하는 경우까지 감안한다. SG3a UWB 채널 모델은 표 4에 나타난 바와 같이 CM1~CM4의 4가지로 주어지며, 이중 CM1, CM2, CM3는 실제 측정된 파라미터를 기반으로 모델링되었고, CM4는 최악의 경우로 RMS delay가 25 ns에 이르는 열악한 상황을 고려하였다. 이러한 채널 모델에 따라 각각 100개의 구형 채널이 주어진다^[3].

본 논문에서는 MB-OFDM의 성능 평가를 위하여 주파수 호핑을 고려하여, SG3a UWB 채널을 각각의 서브 밴드 주파수 영역에 해당되는 대역으로 필터링한 후, 이 채널들로 성능을 분석하여 모의 실험을 한다.

IV. UWB MB-OFDM 시스템에서의 심볼 타이밍 및 반송파 주파수 오프셋 추정 기법

UWB MB-OFDM 시스템을 위한 동기화 과정은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 초기 동기 과정에서 Packet의 시작점, Piconet 정보 획득 및 대략적 심

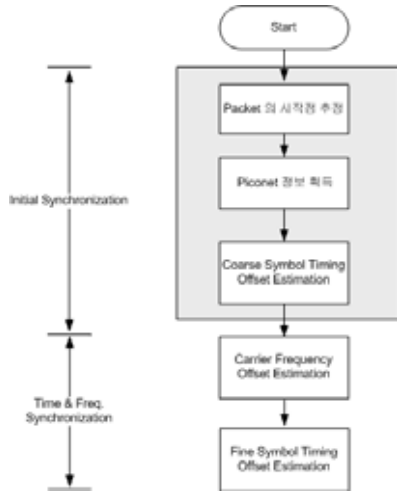


그림 3. UWB MB-OFDM 시스템 동기화 과정

블 타이밍 과정을 수행한 후, 반송파 주파수 오프셋 추정과 미세 심볼 타이밍 오프셋 추정한다.

UWB MB-OFDM 시스템의 초기 동기 과정에서 제일 처음 수행되어야 하는 것은 Packet의 시작점 추정과 프리엠블 패턴 즉, piconet의 정보를 획득하는 것이다. 표 2에 주어진 TFC(Time-Frequency Code)에서 정해진 호핑 패턴에 따라 Packet의 시작 프리엠블 심볼은 항상 첫 번째 주파수 대역을 통하여 전송된다. 이 심볼을 이용하여 Packet의 시작점 및 piconet의 정보를 추정할 수 있다. 서로 다른 4개의 프리엠블 패턴에 따른 PS sequence를 이용, 수신단에서 상호 상관(Cross-correlation)을 통해 Packet의 정보를 추정할 수 있다. 식 (8)은 위의 과정을 나타낸다.

$$P_{d,k} = \arg \max_{d,k} \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} r(i+d) \cdot s_k(i) \right\} \quad (8)$$

여기서, r은 수신된 프리엠블 신호, N은 FFT 크기, s는 수신단에서 알고 있는 프리엠블 신호, d는 packet의 시작점 추정값, k는 4개의 서로 다른 프리엠블 패턴을 나타낸다^[4-5].

Packet의 시작점 추정과 Piconet의 정보를 얻은 이후, 수신단은 Piconet의 정보를 통해 표 2에 주어진 TFC에 정해진 호핑 패턴에 따라 신호를 수신하게 된다.

OFDM 기반 UWB MB-OFDM 시스템은 부반송파 간격이 4.125 MHz로 상대적으로 넓은 부반송파 간격을 가지고 있고, UWB MB-OFDM 시스템의

발전기에서 최대 발생할 수 있는 오차는 ±20 ppm으로 제한되어 있기 때문에 나타날 수 있는 정규화된 최대 반송파 주파수 오프셋(Carrier Frequency Offset)은 0.04096이다. 따라서 부반송파 간격의 정수배로 나타나는 주파수 오차는 없다고 할 수 있다. 이러한 이유로 대략적 반송파 주파수 오프셋 추정을 수행하지 않고, 미세 주파수 오프셋 추정만으로 반송파 주파수 오프셋을 추정하여 보상할 수 있다. 표 2에 주어진 주파수 호핑 패턴에 따라 매 심볼마다 다른 주파수 대역으로 전송되는 프리엠블을 이용, 동일한 대역에서 수신되는 두 심볼 간의 자기 상관을 이용하여 반송파 주파수 오프셋을 추정할 수 있다. 식 (9)는 미세 반송파 주파수 오프셋을 추정하는 것을 나타낸다.

$$\hat{\varepsilon} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{N}{t \cdot N_d} \cdot \arg \left\{ \sum_{i=0}^N r_1^*(i) \cdot r_2(i+t \cdot N_d) \right\} \quad (9)$$

where $N_d = N + N_{zp} + N_G$

여기서, $\hat{\varepsilon}$ 은 반송파 주파수 오프셋 추정값, r_1^* 은 수신된 프리엠블 신호의 Conjugate, r_2 는 r_1 이 수신된 이후에 수신된 프리엠블 신호, N은 FFT 크기, N_{zp} 는 0이 삽입되는 보호 구간의 길이, 그리고, N_G 는 주파수 합성기의 안정화를 위해 0를 삽입한 구간을 나타낸다. t는 동일한 대역에서 반복되어 나타나는 두 심볼 간의 거리를 나타낸다. 표 2에 나타나듯이, 프리엠블 패턴이 1과 2인 경우 t는 3이 되며, 프리엠블 패턴이 3과 4인 경우는 t는 1의 값을 갖는다^[6].

반송파 주파수 오프셋 추정 및 보상 과정이 이루어진 후에는 보다 정확한 심볼 타이밍 추정을 위하여 식 (8)과 동일한 방법으로 수신된 프리엠블 신호와 UWB MB-OFDM 시스템의 초기 동기 과정에서 획득한 piconet 정보를 통해 수신단에서 미리 알고 있는 신호간의 상호 상관(Cross-correlation)을 통해 추정 및 보상할 수 있다.

반송파 주파수 오프셋 추정 과정 이후 미세 심볼 타이밍 추정은 Packet의 시작 위치 추정 과정과 동일한 방법으로 상호 상관(Cross-correlation)을 통해 수행한다. 미세 심볼 타이밍 추정을 위해 주파수 호핑 패턴에 따라 수신된 신호를 piconet 정보를 통해 알고 있는 PS sequence와 상호 상관하고, 한 심볼 구간에서 상호 상관의 크기 값이 최대 값을 갖는 위치를 구하여 미세 심볼 타이밍을 추정할 수 있다.

식 (10)은 미세 심볼 타이밍 추정식을 나타낸다.

$$P_d = \arg \max_d \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} r(i+d) \cdot s_k(i) \right\} \quad (10)$$

여기서, r 은 수신된 프리앰블 신호, N 은 FFT 크기, s 는 수신단에서 알고 있는 프리앰블 신호, d 는 packet의 시작점 추정값, k 는 4개의 서로 다른 프리앰블 패턴을 나타낸다.

샘플링 주파수 오프셋(Sampling Frequency Offset)은 송신단 DAC(Digital-to-Analog Converter)에서의 샘플링 주파수와 수신단 ADC(Analog-to-Digital Converter) 샘플링 주파수 간의 오차로 인해 발생된다. 이 오차는 IFFT 통과 이후 타이밍 오프셋으로 나타나기 때문에 심볼 타이밍 오프셋 동기 추정 방법과 동일한 방법으로 추정하면 된다.

V. UWB MB-OFDM 시스템의 동기 성능 분석

그림 4는 AWGN 환경에서 평균 전력으로 정규화된 임계값이 0.98일 때 반송파 주파수 오프셋은 없다고 가정한 후, packet 시작점 및 piconet 정보 추정 성능을 Detection Probability(Pd), False Alarm Probability(Pf), 그리고 Missing Probability(Pm)로 표현한 것이다. Detection Probability(Pd)는 주어진 임계값을 넘으면서 packet의 시작점 및 piconet 정보를 추정한 경우, False Alarm Probability(Pf)는 주어진 임계값을 넘었으나 packet의 시작점 및 piconet의 정보를 제대로 추정하지 못한 경우, 그리고 Missing Probability(Pm)는 주어진 임계값을 넘지

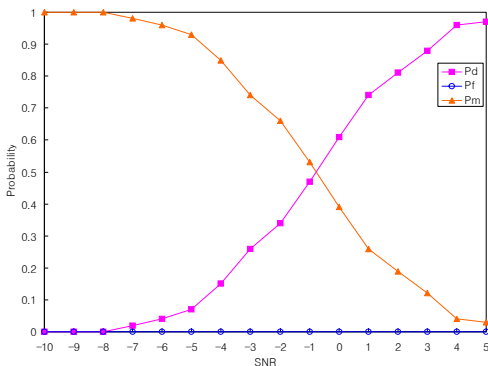


그림 4. AWGN 채널 환경에서의 Packet Detection 및 Piconet 정보 추정 성능

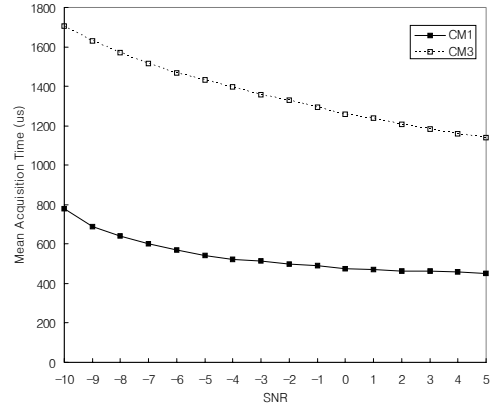


그림 5. CM 1 및 CM 3 환경에서의 Packet Detection 및 Piconet 정보 추정 성능

못한 경우를 나타낸다. 그림 4에서 나타나듯이 False Alarm은 낮은 SNR 에서도 일어나지 않으며, SNR -1dB 부터는 50% 이상의 Detection Probability(Pd), 50% 이하의 Missing Probability(Pm)를 보이는 좋은 성능을 가진다.

그림 5는 UWB 채널 모델인 CM1과 CM3 환경에서 평균 전력으로 정규화된 임계값이 0.3일 때 반송파 주파수 오프셋은 없다고 가정한 후, Packet Detection 및 piconet 정보 추정 성능을 Detection Probability(Pd), False Alarm Probability(Pf), 그리고 Missing Probability(Pm)로 표현한 것이다. SNR 0 dB 이상부터 CM1과 CM3는 각각 94%와 61% 이상의 Detection Probability(Pd), 6%와 38% 이하의 Missing Probability(Pm), 그리고, 0%와 약 2%의 False Alarm Probability(Pf)를 보이는 좋은 성능을 가진다. 표 3의 UWB 채널 모델에서도 나타나듯이 CM1 환경이 CM3 환경에서보다 더 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다.

그림 6은 그림 5의 결과를 토대로 획득 시간(Acquisition Time)을 438.125 us, False Alarm 에 대한 Penalty Time은 1095.312 us으로 가정한 후, 평균 획득 시간(Mean Acquisition Time)을 구한 것이다. 식 (11)은 평균 획득 시간을 구하는 것을 나타낸다.

$$T_{acq} = \frac{T' + T_p(1 - P_d)}{P_d} \quad (11)$$

여기서, T_{acq} 은 평균 획득 시간(Mean Acquisition Time), T' 은 획득 시간(Acquisition Time), T_p 는

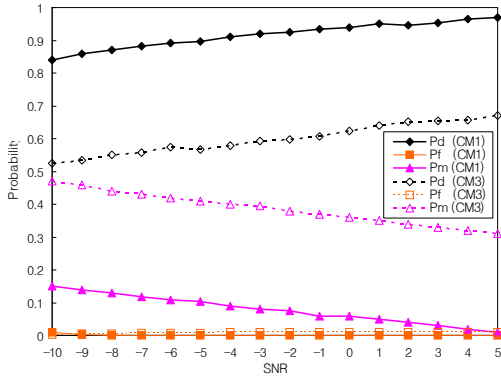


그림 6. CM 1 및 CM 3 환경에서의 Mean Acquisition Time

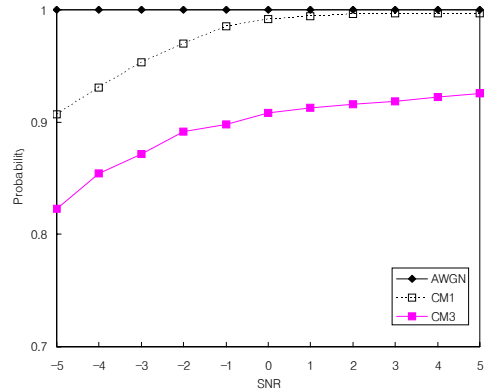


그림 8. AWGN, CM 1 및 CM 3 환경에서의 미세 심볼 타이밍 오프셋 추정 성능

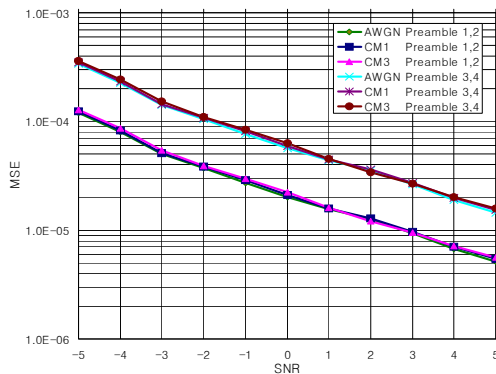


그림 7. 반송파 주파수 오프셋 추정 성능

False Alarm에 대한 Penalty Time, 그리고 P_d 는 Detection Probability를 나타낸다.

그림 6은 SNR 4 dB 이상부터는 CM1과 CM3 채널 환경에서 각각 2 프레임, 5 프레임 내에서 동기가 획득되는 것을 표현한다.

그림 7은 미세 반송파 주파수 오프셋 추정 성능을 AWGN, CM1 및 CM2 채널 환경에서 MSE(Mean Square Error)로 표현한 것이다. AWGN, CM1 및 CM2 환경에서 약 -1 dB 이상부터는 10^{-4} 이하의 좋은 성능을 가짐을 알 수 있다. 표 2에 주어진 TFC(Time-Frequency Code)에서 정해진 호핑 패턴에 따른 성능 차이는 식 (9)에서 t 값에 따른다. t 는 동일한 대역에서 두 심볼간에 나타나는 거리로서 Preamble 1, 2인 경우는 3, Preamble 3, 4인 경우는 1 값을 가진다.

그림 8은 미세 심볼 타이밍 오프셋 추정 성능을 AWGN, CM1 및 CM3 채널 환경에서 Detection Probability로 표현한 것이다. AWGN 환경에서는 100% Detection Probability를 나타내며, CM1 및

및 CM3 채널에서는 SNR 0 dB 이상부터 각각 약 99%, 약 90% 이상의 Detection Probability를 갖는 좋은 성능을 보여준다.

VI. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15.3a 표준안의 하나로 제시된 MB-OFDM 시스템의 프리앰블 모델을 분석하고, 보장된 성능을 제공할 수 있는 심볼 타이밍 오프셋 추정 및 반송파 주파수 오프셋 추정 알고리즘을 적용하고, AWGN 및 UWB 채널 모델 환경에서 모의 실험을 통하여 그에 따른 성능을 Detection Probability, False Alarm Probability, Missing Probability, Mean Acquisition Time 그리고 MSE (Mean Square Error)로 확인하였다. 위 성능 결과는 본 논문에서 적용한 심볼 타이밍 추정 및 반송파 주파수 오프셋 추정 알고리즘이 UWB 채널 환경에서 효율적이며 향상된 성능을 나타냄을 보인다.

참고 문헌

- [1] R. V. Nee and R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House, 2000.
- [2] Anuj Batra et al., Texas Instruments et al., Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a, IEEE P802.15-03/268r3, Mar. 2004.
- [3] Jeff Foerster, Sub-committee Chair, Channel Modeling Sub-committee Report, IEEE P802.15-02/490r1-SG3a, Feb. 2003.

- [4] 김정주, 장경희, “UWB MB-OFDM 시스템에서의 심볼 타이밍 및 반송파 주파수 오프셋 추정 기법”, 통신정보 합동학술대회 논문집 (JCCI), 2005 04, FM21-6, p. 241.
- [5] 박경원, 석원균, 김동한, 조용수, “MB-OFDM 기술 및 동기화 기법”, SK-Telecom. Review, 제 14권 2호, pp. 202-215, Apr. 2004.
- [6] P. Moose, “A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction,” IEEE Trans. Comm., vol. 42, pp. 2908-2914, Oct. 1994.

김 정 주 (JungJu Kim)

준회원



2004년 2월 인하대학교 전자공학
학과(공학사)
2006년 2월 인하대학교 정보통신대학원 (공학석사)
2006년 1월~현재 POSDATA
FLYVO R&D Center Associate
<관심분야> 4세대 이동통신 시스템, Cognitive Radio, UWB 및 WiBro 시스템 무선전송규격

왕 우 봉 (Yupeng Wang)

준회원



2004년 7월 동북대학교 통신공학
학과(공학사)
2004년 9월~현재 인하대학교
정보통신대학원 석사과정
<관심분야> 4세대 이동통신 시스템, UWB 시스템 무선 전송 규격

장 경 희 (KyungHi Chang)

종신회원



1985년 2월 연세대학교 전자공학
학과(공학사)
1987년 2월 연세대학교 전자공학
학과(공학석사)
1992년 8월 Texas A & M Univ.,
EE Dept.(Ph.D.)
1989년~1990년 삼성종합기술원

주임연구원

1992년~2003년 한국전자통신연구원, 이동통신연구소
무선전송방식연구팀장(책임연구원)
2003년~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
<관심분야> 4세대 이동통신 및 3G LTE 무선전송방식, WMAN 및 DMB 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design