

논문 2008-45TC-2-4

OFDM 기반 다중 무선 통신 환경에서의 효과적인 모드 선택 기법

(An Efficient Mode Selection Method for OFDM Based Multi-System
Wireless Communication Systems)

박종민*, 강민수**, 조성호***

(Jong Min Park, Min Soo Kang, and Sung Ho Cho)

요 약

한정된 가용 주파수(usable frequency resource) 내에 여러 무선 통신 시스템들이 혼재(co-existence) 한 상황에서 시스템 간 절체(switching) 시 원치 않는 지연 시간이 발생 할 수 있다. 이러한 다중 무선 통신 환경 내에서 지연 시간을 감소시키는 시스템 선택 기법을 요구하고 있어 지연 시간을 최소화 하는 모드 선택 기법(MSM : mode selection method)을 제시 하였다. 효율적인 모드 선택 기법을 위해 각 표준별 프리엠블의 구조적 특성을 분석하여 모드 선택 시 전체 검색(full search) 보다 효율적인 부분 검색(partial search)을 이용하여 지연 시간을 최소화 하는 모드 선택 기법을 시뮬레이션 하였다. 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN) 환경 내의 신호 대 잡음비(SNR)가 10dB, 비트 에러율(BER)이 10^{-6} 이상 일 경우 효율적인 시스템 선택이 가능함을 매트랩을 이용하여 비교·검증 하였다.

Abstract

When there are numerous wireless communication systems co-existing in the limited available frequency resource, an unexpected time delay can be caused during the system switching. So, in order to reduce this time delay, a mode selection method is required. In this paper, we propose a mode selection method to minimize the time delay for multi-system wireless communication systems. For the sake of efficiency, the mode selection method is designed by analyzing the preamble characteristics of different standards. Instead of performing a full search, we propose the preamble partial search to reduce the time delay to a minimum. Simulated with Matlab in an additive white Gaussian noise(AWGN) environment with a signal to noise ratio(SNR) of 10dB and bit error rate(BER) of 10^{-6} , we evaluated and showed the performance improvement gained by using our proposed mode selection method.

Keywords : Wi-Fi, fixed-WiMAX, mobile-WiMAX, preamble, frame/symbol detection

I. 서 론

이동 통신 시장의 성장과 통신 기술의 발달은 네트워

크에 대한 유연한 적응성을 요구하고 있으며, 다중 모드(multi-mode), 다중 대역(multi-band), 다중 기능(multi-function)을 지원하는 통합 단말기(convergence device)의 필요성이 증가하고 있다. OFDM 방식을 이용한 무선 LAN 시스템의 동기^[1], 혼련 신호의 부호를 사용한 OFDM 시스템의 심볼 동기^[2] 등의 기존 연구는 하나의 표준에 국한 된 프레임/심볼 동기에 대하여 논하였다. 현재 다양한 시스템 지원에 대한 모드 선택 기법은 MAC(media access control) 계층에서의 연구가 이루어지고 있지만 PHY(physical) 계층에서의 연구가 상대적으로 부족한 실정이다.

단말기가 하나의 표준 또는 프로토콜(protocol)에 따

* 학생회원, *** 정회원, 한양대학교 전자컴퓨터통신 공학과

(School of Electronics, Computer and Communications, Hanyang University)

** 정회원, 한양사이버대학교 정보통신공학과 (Information & Communication Eng., Hanyang Cyber University)

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITA-2008-(C1090-0801-0003))

접수일자: 2007년11월19일, 수정완료일: 2008년2월15일

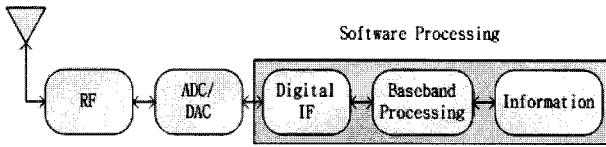


그림 1. SDR 시스템의 기본 구조
Fig. 1. Fundamental structure of SDR system.

라 구현되면 언제 어디서나 임의의 시스템에 접속되어 사용하기에는 많은 기술적 문제 발생 및 제약을 받는다. 이런 단말기의 문제점을 해결할 수 있는 기법으로 SDR(software defined radio)이 있다. SDR은 소프트웨어 재구성(reconfiguration)이 핵심을 이루고 있으며 SDR 시스템은 유연성(flexibility)을 갖는다. SDR은 개방형 구조와 모듈화 된 단일 하드웨어 플랫폼 상에 객체 지향 구조의 응용 소프트웨어를 다운로드 하여 끊임 없이(seamless) 전역(global) 통신이 가능하게 하는 기술이다. 통합 단말기는 필연적으로 프레임/심볼 검출 시에 여러 시스템이 혼재 해 있는 환경에서 최적의 통신 시스템을 선택해야 한다. 그림 1은 개방형 구조 개념을 바탕으로 하는 SDR 시스템의 기본 개념도이다^[3].

본 논문에서는 단일 모드에 대한 프레임/심볼 동기에서 벗어나 다중 모드(Wi-Fi, fixed-WiMAX, mobile-WiMAX)가 혼재 한 상황에서 지연 시간을 최소화 하는 MSM을 제시 한다. 그리고 각 표준별 프리엠블의 구조적인 특성을 이용한 부분 검색을 이용하여 MSM의 효율성을 높이고 프레임/심볼 검출을 매트랩을 이용하여 비교·검증 한다. II장에서는 각 표준별 프리엠블의 구조적인 특성과 제한한 모드 선택 기법에 대하여 설명 한다. III장에서는 매트랩을 이용한 모드 선택 과정에 대한 검증 내용을 설명하고 IV장에서는 결과 및 고찰에 대하여 논하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 각 표준 별 프리엠블 구조

가. Wi-Fi 프리엠블 구조

Wi-Fi(IEEE Std. 802.11a-1999)는 직교 주파수 분할 다중 방식(OFDM: orthogonal frequency division multiplex) 기반이며 Wi-Fi 물리계층을 보면 OFDM 심볼 전송에 5GHz 주파수 대역에서 20MHz 대역폭이 사용된다. 이 대역폭은 64개의 부 반송파로 분할되고 이들 중에서 48개의 부 반송파 만이 실제 데이터 전송에 사용된다. Wi-Fi 표준에는 6Mbps, 9Mbps, 12Mbps,

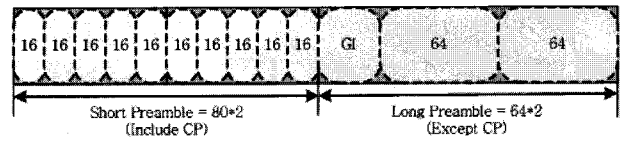


그림 2. Wi-Fi 프리엠블 구조 (시간 영역)
Fig. 2. Wi-Fi preamble structure (time domain).

18Mbps, 24Mbps, 36Mbps, 48Mbps 그리고 54 Mbps의 8가지 전송 속도가 제공되고 있다^[4]. 물리계층의 프리엠블은 프레임/심볼 검출에 사용된다. 그림 2에서 볼 수 있듯 Wi-Fi 프리엠블은 보호 구간을 포함하여 16개 부 반송파로 이루어진 10개의 짧은 프리엠블과 보호 구간을 제외한 64개 부 반송파로 이루어진 2개의 긴 프리엠블로 이루어져 있다. 프리엠블 다음으로 SIGNAL과 DATA가 위치한다. 전체 훈련 신호의 길이는 16 μ s이며 각각의 OFDM 심볼의 길이는 4 μ s이다.

나. Fixed-WiMAX 프리엠블 구조

Fixed-WiMAX(IEEE Std. 802.16-2004)의 OFDM 물리 계층은 채널 대역폭, 변조 방식, 에러 정정 부호율, OFDM 심볼의 유효 구간과 보호 구간의 비율에 따라 13.71Mbps에서 최대 72.61Mbps의 가변적인 데이터 전송 속도를 제공한다. 사용 주파수 대역의 면허 여부에 따라 샘플링 주파수 대 채널 대역폭의 비가 정해지며, 비 면허 대역에서는 20MHz의 주파수 대역을 사용할 수 있으며 160/7MHz의 샘플링 주파수를 갖는다. 데이터 전송을 위하여 11.2 μ s의 주기를 갖는 256-point IFFT/ FFT가 사용되며, 256-point 중에서 192개의 부 반송파는 데이터 전송용, 8개는 파일럿, 나머지 56개는 인접 채널 간 간섭을 방지하기 위한 가상 반송파로 사용된다.

그림 3에서 볼 수 있듯이 시간 영역에서 보호 구간을 제외한 64개의 부 반송파로 이루어진 4개의 짧은 프리엠블과 보호구간을 제외한 128개의 부 반송파로 이루어진 2개의 긴 프리엠블로 이루어져 있다^[5].

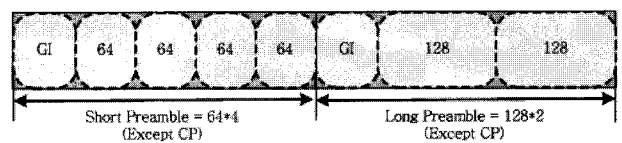


그림 3. Fixed-WiMAX 프리엠블 구조 (시간 영역)
Fig. 3. Fixed-WiMAX preamble structure (time domain).

다. Mobile-WiMAX 프리엠블 구조

Mobile-WiMAX(IEEE Std. 802.16e-2005)의 프리엠

블을 구성하는 부 반송파들은 특정 의사 잡음(pseudo-noise) 코드가 이진 위상 천이 변조(BPSK: binary phase shift keying)되어 전송된다. 프리엠블 부 반송파 집합은 3가지 타입으로 나뉘며, 각 집합은 아래 식으로 정의 된다.

$$\text{PreambleCarrierSet}(n) = 3*k + n \quad (1)$$

$\text{PreambleCarrierSet}(n)$ 은 특정 프리엠블에 할당된 모든 부 반송파들의 집합을 나타낸다. n 은 프리엠블 부 반송파 집합을 나타내는 인덱스이며 0 또는 1, 2 값을 갖는다. 인덱스 k 는 0~283까지의 범위를 갖는다. 각 세그먼트는 3가지 프리엠블 부 반송파 집합 중에서 하나의 부 반송파 집합을 사용한다. 정의된 각각의 PN 수열은 오름차순으로 프리엠블 부 반송파에 매핑되고, 데이터 부 반송파 대비 9dB 부스팅 된다.

그림 4는 시간영역에서 mobile-WiMAX의 프리엠블이다^[6]. 보호 구간을 제외한 대략 341개의 부 반송파로 이루어진 3개의 프리엠블로 이루어져 있다.

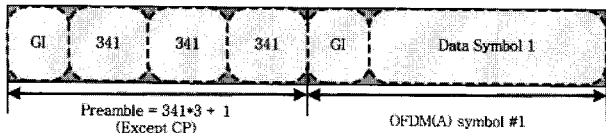


그림 4. Mobile-WiMAX 프리엠블 구조 (시간 영역)
Fig. 4. Mobile-WiMAX preamble structure. (time domain).

2. 다중 무선 통신 환경 내에서의 효율적인 모드 선택 기법

Wi-Fi, fixed-WiMAX, mobile-WiMAX 표준을 살펴보면 각 표준별 훈련신호들이 구조적인 특성을 갖는다. 송신된 신호를 수신단에서 받아 프리엠블 길이가 작은 순서부터 프레임/심볼 검출 하면 계산 적인 효율을 얻을 수 있으며 처리 시간을 줄일 수 있다. 먼저, 송신되는 신호를 수신단에서 전력 값 계산을 통하여 프레임 검출(frame detection)한다. 프레임 검출은 수신되는 데이터 패킷의 프리엠블이 시작 되는 부분을 대략적으로 추정해 내는 과정이다. 프레임이 전혀 수신 되지 않는다면 수신된 신호 r_n 은 오직 잡음으로만 이루어져 있다($r_n = w_n$). 프레임이 시작되면 수신된 에너지는 신호 성분($r_n = s_n + w_n$)으로 인해 증가하게 되고 프레임은 수신된 에너지 수준 변화로서 검출 할 수 있다. 아래 식에서 결정 변수(decision variable) m_n 은 길이 L

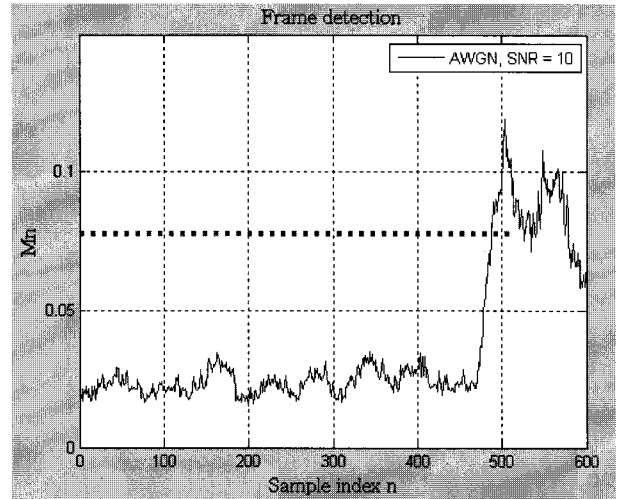


그림 5. 프레임 검출 (SNR=10dB)
Fig. 5. Frame detection (SNR=10dB).

표 1. 프레임/심볼 검출 시 계산 복잡도

Table 1. Computational complexity of frame/symbol detection.

· Wi-Fi Symbol Detection

1st	16	16	64	64	341	341	Total calculation
2nd	64	341	16	341	16	64	
3rd	341	64	341	16	64	16	
Sub-total	32		501		778		1,311

· Fixed-WiMAX Symbol Detection

1st	16	16	64	64	341	341	Total calculation
2nd	64	341	16	341	16	64	
3rd	341	64	341	16	64	16	
Sub-total	501		128		826		1,455

· Mobile-WiMAX Symbol Detection

1st	16	16	64	64	341	341	Total calculation
2nd	64	341	16	341	16	64	
3rd	341	64	341	16	64	16	
Sub-total	778		826		682		2,286

- 16 : Wi-Fi partial search length
- 64 : Fixed-WiMAX partial search length
- 341 : Mobile-WiMAX partial search length

을 갖는 몇 개의 윈도우(window)에 걸쳐 더해진 수신된 신호의 에너지를 뜻하는데, 이는 그 값을 갖는 잡음 샘플에 대한 민감성을 줄이기 위함이다.

$$m_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n-k} r_{n-k}^* = \sum_{k=0}^{L-1} |r_{n-k}|^2 \quad (2)$$

위 식에서 주어진 m_n 을 계산 하는 과정은 수신된 신호의 에너지의 이동 합(moving sum)으로 볼 수 있으며 슬라이딩 윈도우(sliding window)라고 한다. 그림 5는 신호의 이동 합으로 프레임 검출 모습을 나타내고 있다. AWGN 채널 환경에서 SNR이 10dB 일때 m_n 이 급격하게 증가 할 경우 프레임 검출을 할 수 있다.

프레임을 검출 한 후 심볼 검출(symbol detection)을 수행하게 되는데 이때 각 모드 별 프리엠블의 구조적인 특성을 이용하면 계산 효율이 좋아진다. 표 1은 프레임/심볼 검출 시 자기상관(autocorrelation) 연산량을 나타내었다. 세 가지 표준에 근거한 임의의 신호가 수신 된다고 가정한다. 수신 신호의 모든 경우의 수 내에서 Wi-Fi 프리엠블을 기준으로 심볼 검출 시 자기상관 연산량이 1,311, fixed-WiMAX 프리엠블을 기준으로 심볼 검출 시 1,455, mobile-WiMAX 프리엠블을 기준으로 심볼 검출 시 2,286의 자기상관 연산량이 소요된다.

그림 6은 다중 무선 채널 환경 내에서 효과적인 모드 선택 기법을 나타내고 있다. 시간 영역에서 수신되는 프리엠블을 기준으로 가장 짧은 반복 주기를 갖는 Wi-Fi 프리엠블에 대하여 심볼 검출을 수행 한 후 그

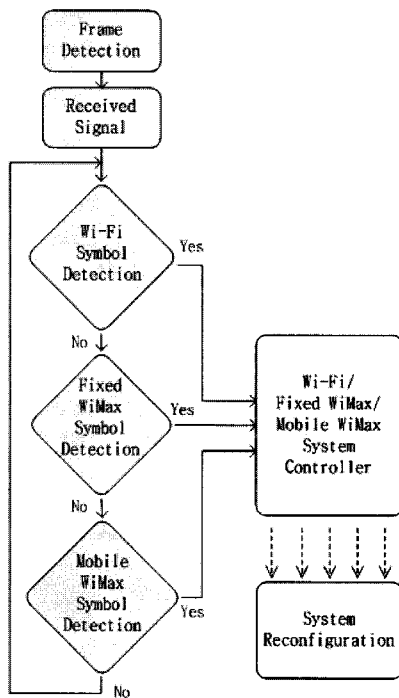


그림 6. 모드 선택 블록도
Fig. 6. Block diagram of mode-selection.

다음으로 짧은 반복 주기를 갖는 fixed-WiMAX에 대한 심볼 검출 과정을 수행한다. 그리고 마지막으로 가장 긴 심볼 반복 주기를 갖는 mobile-WiMAX에 대한 심볼 검출을 수행한다. 각 모드 별로 심볼 동기를 마치면 Wi-Fi/Fixed-WiMAX/Mobile-WiMAX System Controller에 검출 된 모드 선택 정보가 전달된다. System Controller에서는 재구성 범위를 판단하여 전체 재구성(fully reconfigure), 부분 재구성(partially reconfigure), 단순 변수(parameter) 변경 중 선택하여 시스템을 재구성하게 된다. 이러한 기법의 장점으로 심볼 검출 시 판단 시간(decision time) 및 계산 복잡도를 줄여 준다.

III. 실험

다음은 Schmidl와 Cox^[7]에 의해 제안된 심볼 검출을 하기 위한 방식으로 패킷 검출에도 적용 가능하다. 프리엠블의 짧은 훈련 심볼의 주기성을 이용하는 기법이다. 그림 7에 지연 후 상관 알고리즘(delay and correlate algorithm)을 나타내었다.

$$c_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k} r_{n+k+D}^* \quad (3)$$

c_n 값은 수신된 신호와 지연 신호 사이의 상호 상관 값을 의미한다.

$$p_n = \sum_{k=0}^{L-1} r_{n+k+D} r_{n+k+D}^* = \sum_{k=0}^{L-1} |r_{n+k+D}|^2 \quad (4)$$

p_n 값은 지연된 신호의 전력 값으로서 절대 수신 전력 레벨에 독립적이기 위한 판단 값으로 정규화 되는데 사용된다.

$$m_n = \frac{|c_n|^2}{(p_n)^2} \quad (5)$$

수신된 신호가 잡음으로만 구성되어 있을 경우 c_n 은

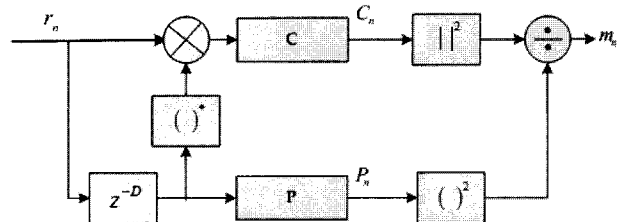


그림 7. 지연 후 상관 알고리즘
Fig. 7. Delay and correlate algorithm.

0의 평균을 갖는 랜덤 변수(random variable)이다. 즉, 상호 연관이 0을 나타내고 m_n 값이 낮은 값을 나타내게 된다. 일단 신호가 수신되기 시작하면 c_n 은 동일한 짧은 훈련신호의 상호 상관이기 때문에 m_n 이 최대값으로 빠르게 증가한다. 이러한 증가는 프레임/심볼 검출을 정확히 추정 할 수 있다^[8].

표 2는 각 표준별 주요 변수에 대하여 나타내었다. Wi-Fi의 반복 주기는 짧은 프리엠블 신호와 보호 구간 내에 16 부 반송파이다. Fixed-WiMAX의 반복 주기는 짧은 프리엠블 신호 내에 보호구간을 제외한 64 부 반송파이다. Mobile-WiMAX의 반복 주기는 보호 구간을 제외한 대략 341 부 반송파이다.

그림 8은 Wi-Fi의 프레임/심볼 검출 시 전체 탐색 방법(160 부 반송파)을 적용하지 않고 부분 탐색 방법(16 부 반송파)을 적용하여 프레임/심볼 검출 하였다. AWGN 환경 내에서 SNR=10dB, BER= 10^{-6} , m_n 값이 0.8 일 경우 정확한 프레임/심볼 검출이 가능함을 확인

표 2. Wi-Fi, fixed-WiMAX, mobile-WiMAX 주요 변수
Table 2. Wi-Fi, fixed-WiMAX, mobile-WiMAX key parameter.

Mode	Wi-Fi	Fixed WiMAX	Mobile WiMAX
Sampling Frequency	20MHz	20MHz	10MHz
IFFT/FFT	64	256	1024
Preamble Size	160 samples (short)	256 samples (short)	1024 samples
Period of Repetition	16 samples	64 samples	341 samples

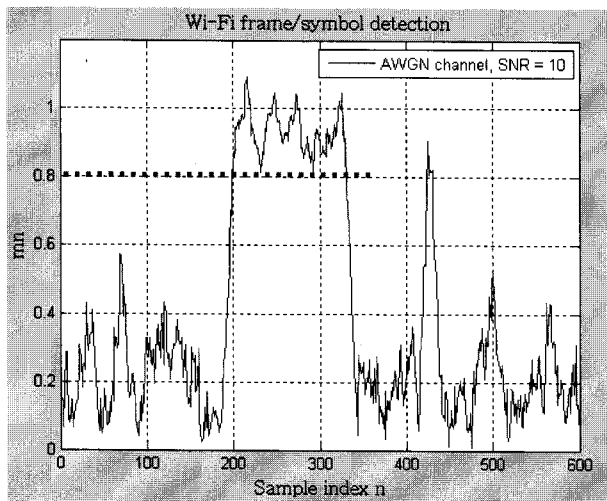


그림 8. Wi-Fi 프레임/심볼 검출 (16 samples)
Fig. 8. Wi-Fi frame/symbol detection, (16 samples)

하였다.

그림 9는 Wi-Fi 표준의 짧은 프리엠블의 반복 주기인 16 부 반송파 길이로 fixed-WiMAX 신호의 프레임/심볼 검출을 한 결과이다. AWGN 환경 내에서 SNR=10dB, BER= 10^{-6} , m_n 값이 0.8 일 경우 정확한 프레임/심볼 검출이 불가능함을 확인 하였다.

그림 10은 Wi-Fi의 부분 검색 주기로 mobile-WiMAX 신호의 프레임/심볼 검출 결과이다. AWGN 환경 내에서 SNR=10dB, BER= 10^{-6} , m_n 값이 0.8 일 경우 정확한 프레임/심볼 검출이 불가능함을 확인 하였다.

Fixed-WiMAX의 프레임/신호 검출 시 64 부 반송파

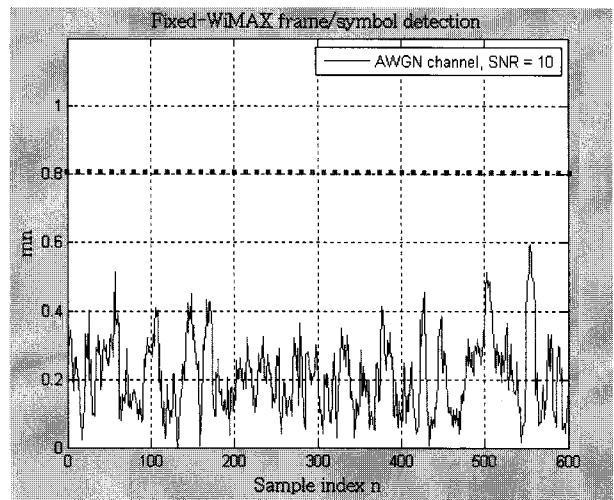


그림 9. Fixed-WiMAX 프레임/심볼 검출 (16 samples)
Fig. 9. Fixed-WiMAX frame/symbol detection. (16 samples)

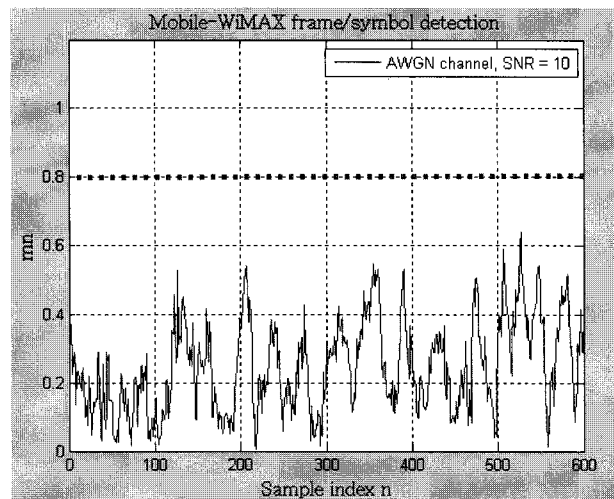


그림 10. Mobile-WiMAX 프레임/심볼 검출 (16 samples)
Fig. 10. Mobile-WiMAX frame/symbol detection. (16 samples)

길이로 정확한 프레임/심볼 검출이 가능함을 확인 하였다. Fixed-WiMAX의 부분 검색 주기(64 부 반송파)로 mobile-WiMAX의 정확한 프레임/심볼 검출이 불가능함을 확인 하였다. Fixed-WiMAX 프리앰블의 부분 검색 주기로 Wi-Fi 신호를 프레임/심볼 검출하면 16 부 반송파 길이보다 더 정확한 검출 결과를 얻을 수 있다. Mobile-WiMAX의 부분 검색 주기(341 부 반송파)로 Wi-Fi와 fixed-WiMAX 신호의 정확한 프레임/심볼 검출이 불가능함을 확인 하였다.

IV. 결과 및 고찰

기존 시스템에서는 하나의 표준에 국한 된 프레임/심볼 검출만을 고려하였다. 그리고 MSM에 대한 물리 계층에서의 연구가 부족 하였다. 본 연구에서는 세 가지 표준에 근거한 프리앰블 분석을 통하여 다중 무선 채널 환경 내에서 지연 시간을 최소화 하는 MSM을 제시 하였다. MSM 기법을 적용 하였을 경우 최대 57%의 계산 효율 을 얻을 수 있어 절체 시 시간 지연 및 계산 부담을 줄일 수 있다. 향후 다수의 다중 무선 통신 환경 이 도래 하였을 경우 MSM은 계산 효율 증대 및 지연 시간을 줄이는 방법으로 활용 될 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 다중 무선 통신 환경에서 통합 단말기 가 다중 모드를 지원함에 있어 지연 시간을 최소화 하 기 위한 MSM을 제시 하였다. Wi-Fi, fixed-WiMAX, mobile-WiMAX의 표준에 근거하여 프리앰블의 구조적 인 특성을 분석하였다. 지연 후 상관 알고리즘을 적용 한 프레임/심볼 검출을 매트랩을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과 원하는 시스템의 프레임/심볼 검출 시 MSM을 적용하여 지연 시간이 최소화됨을 검증 하였 다. 제시된 MSM에 대한 검출 정확도를 높이기 위한 연구 및 심볼 검출 정확도를 유지하면서 신호 대 잡음 비를 낮추는 연구도 꾸준히 진행 되어야 할 것이다. 향 후 통합 단말기의 수요가 증가되면 다중 무선 통신 환 경에서 제안한 MSM이 지연 시간을 단축하는데 큰 효 용성을 가질 것으로 전망 된다.

참 고 문 헌

[1] 윤경석, 최승국, "OFDM 방식을 이용한 무선 LAN

- 시스템의 동기," 한국통신학회논문집, 제27권, 제 1B호, 79-89쪽, 2002년 1월
- [2] 황진권, "훈련신호의 부호를 사용한 OFDM 시스템 의 심볼동기," 한국통신학회논문집, 제29권, 제5A 호, 502-513쪽, 2004년 5월
- [3] 강환민, 조성호, "SDR 시나리오 및 요구조건," 한 국 통신학회지, 제19권, 제11호, 32-45쪽, 2002년 11월
- [4] IEEE, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE Standard 802.11a-1999, Dec, 1999.
- [5] IEEE, "Part 16 : Air interface for fixed Broadband Wireless Access Systems," IEEE Standard 802.16-2004, Oct, 2004.
- [6] IEEE, "Part 16 : Air interface for fixed Broadband Wireless Access Systems- Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands," IEEE Standard 802.16e-2005, Feb, 2006.
- [7] T.M Schmidl, D.C. Cox, "Low-Overhead, Low Complexity [Burst] Synchronization for OFDM," IEEE International Conference on Communications, vol. 3, pp. 1301-1306, Vienna, Austria, June 1996.
- [8] Juha Heiskala and John Terry, "OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide," SAMS, pp. 48-85, 2001.

저 자 소 개



박 종 민(학생회원)
 2006년 2월 세종대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
 2006년 3월~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석·박사 통합과정

<주관심분야 : OFDM 시스템, DSP/FPGA 응용 시스템 설계, Cognitive Radio>



강 민 수(정회원)
 1993년 2월 광운대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
 1995년 2월 광운대학교 제어계측공학과 대학원 졸업(공학석사)

2003년 2월 광운대학교 제어계측공학과 대학원 졸업(공학박사)
 2003년~2006년 RFIDLab. 연구소장
 2006년~현재 한양사이버대학교 정보통신공학과 교수

<주관심분야 : 유비쿼터스 컴퓨팅, RFID, USN>



조 성 호(정회원)
 1978년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1984년 12월 University of Iowa 전자컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 1989년 8월 University of Utah 전자컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1989년 8월~1992년8월 한국전자통신연구원 선임연구원

1992년 9월~현재 한양대학교 정보통신대학 교수
 <주관심분야 : 디지털통신시스템 H/W 및 S/W 설계, 이동 및 무선통신, RFID/USN>