

개인휴대용 최초 CR 표준 ECMA-392 소개

황성현 | 고광진 | 엄중선 | 유성진 | 송명선 | 정병장 | 김창주

한국전자통신연구원

요 약

본고에서는 최근 진행되고 있는 여러 Cognitive Radio (CR) 표준 활동 중에서 세계 최초의 CR 표준인 ECMA International의 개인휴대용 ECMA-392 표준에 대해 소개한다. 먼저 CR 기술과 관련된 다양한 규정에 대해 설명하고, ECMA-392 표준의 서비스 모델 및 기술 요구 사항과 물리 계층 및 MAC 계층의 주요 특징을 알아본다.

1. 서 론

고속 무선 데이터 서비스에 대한 수요가 급격히 증가하는 반면, 대부분의 스펙트럼은 전혀 사용되지 않고 있거나 사용률이 매우 저조한 것이 현실이다. Shared Spectrum Company의 측정 결과에 의하면 30 ~ 3,000 MHz 대역을 기준으로 미국 6개 지역에서 사용되는 비율은 평균 5.2%에 불과하다. 인구 과밀 지역인 뉴욕시의 경우에도 스펙트럼 사용률은 기껏해야 13.1% 수준이다[1]. 나아가 DTV로의 전환 시기와 맞물려 사용되지 않거나 사용률이 저조한 스펙트럼 (white space 라고 부름)을 개발하기 위한 좋은 기회라고 할 수 있다.

White space 기술을 개발하는 CR (Cognitive Radio) 표준 활동은 크게 3 그룹에서 진행되고 있다. 물론 더 많은 표준 활동이 진행되고 있지만 대부분 상호 공존 문제에 중점을 둔

표준 활동이고 주파수를 지정하여 물리계층과 MAC 계층을 개발하는 표준은 3 그룹으로 요약된다. 2004년 5월 FCC (Federal Communications Commission)의 NPRM (Notice of Proposed Rule Making) 발표에 따라[2], IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee에서 IEEE 802.22 표준 활동을 시작하였다. IEEE 802.22 WRAN (Wireless Regional Area Network)은 시작 당시 커버리지가 30 Km에 이르는 고정 무선 광대역 접속 개발을 목표로하였으나 최근 WiFi 같은 서비스까지 포함할 수 있도록 표준 개발 범위가 확대 수정되었다. 한편, ECMA International 내의 TC48-TG1 (Technical Committee 48 - Task Group 1)에서는 2009년 3월부터 개인휴대용 장치를 위한 최초 CR 표준을 개발해오고 있고, 2009년 12월에 초판 표준인 ECMA-392를 완성하였다[3]. 실제로, ECMA-392 표준의 개발은 CogNeA (Cognitive Networking Alliance)라는 그룹 내에서 2007년 8월부터 진행해 오다 ECMA로 옮겨 와서 표준을 완성하였다[4]. 다른 표준 활동으로 IEEE 802.11 WG (Working Group)내에서 TV white space에서 동작하는 CR 표준을 개발하기 위해 2009년 12월에 Task Group (TG) af를 만들었다. IEEE 802.11 af는 기존의 OFDM의 물리 계층과 MAC 계층을 그대로 이용하고 적용 주파수와 관련 규정 위주로 수정하면서 변경 내용을 최소화하려는 방향으로 진행되고 있다.

본고에서는 세계 최초의 CR 표준인 개인휴대용 ECMA-392의 물리 계층 및 MAC 계층을 중심으로 소개한다. II장 본론의 1절에서는 CR 관련 규정에 대해 소개하고, 2절에서는 ECMA-392의 서비스 모델 및 기술적인 요구사항을 설명하

본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10035585, UHF TV white space 이용 CR 통신 기술 개발]

고, 3절과 4절에서는 각각 물리 계층과 MAC 계층을 차례로 설명한다.

II. 본 론

1. 관련 규정 현황

CR 기술의 필요성은 [1]에서 평가 한 바와 같이 3 GHz 이하에서 스펙트럼 점유시간의 비효율성을 개선할 수 있는 기술로 고려되었으며 2002년 시작된 FCC의 TV white space에 대한 사용계획이 2004년에 발표되면서 법적인 근거를 갖게 되었다[2]. 아울러 2008년 11월 2차 Report & Order(이하 R&O)[5]를 채택함으로써 이동형(portable) 기기에 대한 허가를 포함하게 되었다. 이로써 FCC의 전향적인 스펙트럼 이용 계획, 즉 TV 대역을 공유하여 새로운 기기, 서비스가 출현할 수 있도록 하고, 감쇠가 적은 V/UHF TV 대역을 이용하여 무선통신 서비스를 효과적으로 제공하고자 하는 노력이 결실을 맺게 된 것이다. FCC가 결정한 TV white space 공유를 위한 기술 기준을 요약하면 다음과 같다.

1.1 허용 서비스

다음과 같은 조건으로 고정무선서비스와 개인/휴대서비스를 모두 허용하였다. 고정무선서비스 기기는 위치결정기능을 구비하고 있거나 직업적인 설치업자가 기기 설치 좌표를 입력시켜야 하며, 이 좌표를 근거로 FCC 또는 FCC에 의해 위탁 받은 기관이 운영하는 채널 사용 데이터베이스에 등록하여야 한다. 개인/휴대서비스 기기는 채널 사용 데이터베이스에 등록할 필요는 없으며, 두 가지 동작 모드가 존재한다. 모드 I은 채널 사용 데이터베이스를 접속할 수 있는 고정무선서비스 기기의 제어를 받아 동작하는 모드이며, 모드 II는 독립적인 데이터베이스를 가지고 있어 가용 채널을 독자적으로 결정할 수 있는 기능을 가진 동작 모드이다. 그러나 두 모드의 경우 모두 스펙트럼 센싱 기능을 가지고 있어야 한다.

1.2 사용 대상 주파수

고정무선서비스 기기는 미국 채널 기준으로 CH 2, CH 5~20, CH 21~36, CH 38~54번을 사용할 수 있다. 다만 CH

5~20번에 대해서는 공공안전, 상용 이동무선이 운용되는 지역에서는 사용할 수 없다. 개인/휴대서비스 기기는 CH 21~36, CH 38~51번을 사용할 수 있다. 또한 고정무선서비스 기기의 경우 TV가 동작하는 채널의 인접 채널을 사용할 수 없으나, 개인/휴대서비스 기기는 사용 가능하다.

1.3 1차 사용자 보호 방법

TV white space 공유 조건 중 가장 중요한 것은 우선순위가 높은 1차 사용자 신호, 즉 TV, 무선마이크, 이동무선을 보호하는 것이다. 이를 위하여 FCC에서는 데이터베이스를 이용하는 방법과 스펙트럼 센싱을 이용하는 방법을 적용하도록 하고 있다. 채널 사용 데이터베이스는 위에서 설명한 바와 같이 TV 대역 기기의 좌표에서 사용 가능한 채널을 찾기 위하여 사용되는 국가 데이터베이스로서 고정무선서비스 기기는 초기화 시 그리고 매일 데이터베이스를 검색해야 한다. 데이터베이스를 직접 접속할 수 없는 경우에는 데이터베이스에 접속 가능한 다른 고정서비스 기기와 통신해도 된다.

1.4 송신 출력

고정무선서비스 기기는 최대 4W EIRP (Effective Isotropic Radiated Power), 개인/휴대서비스 기기는 최대 100mW EIRP이다. 개인/휴대서비스 기기는 인접 채널에 보호 대상 신호가 있고 그 서비스 영역 내에 있을 경우 최대 출력은 40mW EIRP로 제한된다. 그리고 채널 사용 데이터베이스에 접속하는 기능이 없고 스펙트럼 센싱 기능에만 1차 사용자 보호를 의존하는 경우에는 최대 출력이 50mW EIRP로 제한된다.

1.5 스펙트럼 센싱 성능

고정무선서비스 기기, 개인/휴대서비스 기기 모두 -114dBm까지 센싱 가능해야 한다.

2. 서비스 모델 및 기술 요구사항

TV white space의 주요한 장점은 높은 주파수 대역에 비해 전파 특성이 우수하여 넓은 커버리지를 확보할 수 있다는 점이다. TV white space의 추가적인 대역으로 인해 ISM (Industrial Scientific and Medical) 대역의 포화 문제를 어느 정도 해결할 수 있을 것으로 예상된다. ECMA-392 표준의 대표적인 서비스 모델은 홈 네트워크에서 고화질 비디오 전송

서비스, 빌딩이나 캠퍼스 내에서 무선 데이터 서비스, 소도시에서 넓은 커버리지를 만족하는 무선 인터넷 접속 등이다.

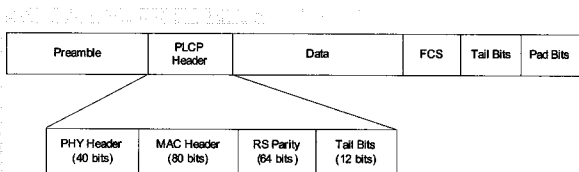
ECMA-392 표준에서 물리계층과 MAC계층의 주요 기술 요구사항은 위에서 언급한 서비스 모델을 지원하고 관련 규정을 만족하기 위해 정의되었다. TV 대역에서 전파 특성을 측정된 결과에 의하면 다중경로 RMS (Root Mean Square) 지연 확산은 50~100 ns에 이른다. 즉 물리계층에서는 1 us까지 최대 지연을 고려해야 한다. 실제로 최대 지연은 환경에 따라 달라질 수 있으므로 ECMA-392 표준에서는 0.58 ~ 2.33 us의 다양한 cyclic prefix를 제공한다. 다중경로 채널에서의 성능 평가 시물레이션은 지속적으로 평균 전력 프로파일이 감소하는 채널 모델을 사용한다. ECMA-392 표준은 표준화질 및 고화질 오디오/비디오 그리고 VoIP (Voice over Internet Protocol)를 제공하기 위해 개발되었다. 이를 위해 MAC-SAP (MAC-Service Access Point) 기준으로 20 Mbps 이상의 고속 데이터를 55 m까지 제공하고, 3 Mbps 이상의 저속 데이터를 최대 1 Km까지 제공하는 것을 요구하고 있다. 특히 HDTV (High Definition TV) 스트리밍 서비스를 위해 6 MHz 채널당 MAC-SAP 기준으로 19.3 Mbps를 제공해야 하고, VoIP 서비스를 위해 50 ms 이내의 지연을 보장해야 한다.

3. 물리계층 설계

물리계층은 128FFT를 채택한 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 구조를 바탕으로 설계되었다. 128FFT는 전반적인 오버헤드와 시스템 복잡도를 동시에 고려하여 선택하였다. 이 장에서는 물리 계층의 프레임 구조, OFDM 파라미터, 그리고 그 외 핵심적인 기술들에 대해 간단하게 설명한다.

3.1 PPDU 프레임 구조

PPDU (PHY Protocol Data Unit) 프레임 구조는 (그림 1)과 같다. 각 프레임은 PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) 프리앰블, PLCP 헤더, 그리고 페이로드를 포함한

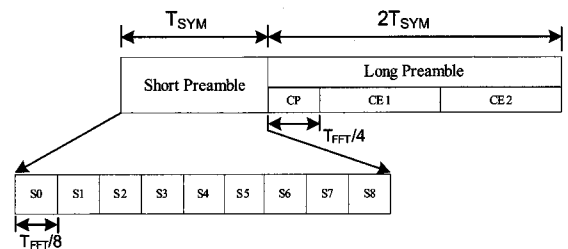


(그림 1) PPDU 프레임 구조

다. 다시 페이로드는 PSDU (PHY Service Data Unit), 테일 비트, 패드 비트를 포함한다.

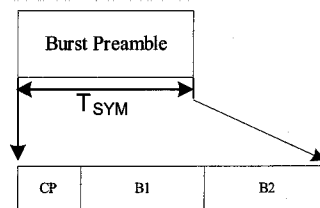
1) PLCP 프리앰블

PLCP 프리앰블은 수신기에서 주파수, 시간 동기 그리고 채널 추정에 사용된다. PLCP 프리앰블은 normal PLCP 프리앰블과 burst PLCP 프리앰블과 같이 2종류를 정의하고 있다. Normal PLCP 프리앰블은 정규 모드로 동작하는 모든 패킷과 스트리밍 모드로 동작하는 첫 패킷에서 사용되고, burst PLCP 프리앰블은 스트리밍 모드의 두번째 패킷부터 사용된다. (그림 2)는 normal PLCP 프리앰블 구조를 나타낸 것이다. Normal PLCP 프리앰블은 3 OFDM 심벌 길이를 갖고, short 프리앰블과 long 프리앰블로 구성되어 있다. Short 프리앰블은 AGC (Automatic Gain Control), 대략적 주파수 오프셋 추정과 타이밍 동기에 사용된다. Long 프리앰블은 채널 및 미세 주파수 오프셋 추정에 사용된다. Short 프리앰블은 9 번 반복 되고, long 프리앰블은 2 번 반복 된다.



(그림 2) Normal PLCP 프리앰블 구조

(그림 3)은 burst PLCP 프리앰블 구조를 나타내고 있다. Burst PLCP 프리앰블은 1 OFDM 심벌 길이를 갖고 2 번 반복되는 구조로서 채널과 미세 주파수 오프셋 추정에 사용된다. BPSK 방식으로 변조되고 1/8의 cyclic prefix를 사용한다.



(그림 3) Burst PLCP 프리앰블 구조

2) PCLP 헤더

PCLP 헤더는 그림 1과 같이 PHY 헤더, MAC 헤더, 테일 비트, 패리티 비트를 포함한다. 괄호안의 값은 각 필드에 할당된 비트수를 나타낸다. PHY 헤더는 cyclic prefix 모드(1/32, 1/16, 1/8), 전송 모드 (normal, burst), 데이터 속도, 다중 안테나 모드, PSDU 길이 (0~4095 Bytes), 스크램블러 초기값, 인터리버 파라미터, 전송 전력을 포함한다. MAC 헤더는 프레임 제어, 주소 정보, 시퀀스 제어, 액세스 제어 정보를 포함한다. MAC으로부터 전달 받은 MAC 헤더는 수정없이 PLCP 헤더에 실린다. PLCP 헤더는 (23,15,4) RS (Reed-Solomon) 부호와 부호율 1/2을 갖는 길쌈부호를 사용하여 부호화 되고, 다시 비트 인터리빙을 거쳐 QPSK 변조된다. 이 결과로 얻어진 196개의 성좌점은 2개의 OFDM 심벌에 전송된다. 이때 cyclic prefix는 1/8을 사용한다.

3) 페이로드

페이로드는 PSDU, 테일 비트, 패드 비트를 포함한다. PSDU는 스크램블러, RS 부호기, 길쌈 부호기를 차례로 거친 후 패드 비트 삽입기에 입력된다. 부호 비트가 OFDM 심벌당 부호 비트의 정수배로 나누어 떨어지지 않으면 부호 비트 끝에 패드 비트를 삽입한다. 부호 비트는 인터리버를 거친 후 QPSK, 16-QAM, 64-QAM 중의 하나로 변조되어 OFDM 심벌에 전송된다.

3.2 OFDM 파라미터

〈표 1〉은 3가지 채널 대역폭에 대한 OFDM 파라미터를 나타낸 것이다. ECMA-392 표준은 128FFT를 바탕으로 설계되었고, 목적에 따라 데이터, 파일럿, 보호, DC와 같이 4종류의 부반송파로 구성된다.

〈표 1〉 OFDM 파라미터

TV channel bandwidth (MHz)	6	7	8
Total number of subcarriers, N_{FFT}	128		
Number of guard subcarriers, N_G (Left,DC,Right)	26 (13,1,12)		
Number of used subcarriers, $N_T=N_D+N_P$	102		
Number of data subcarriers, N_D	98		
Number of pilot subcarriers, N_P	4		

Sampling frequency (MHz)	48/7	8	64/7
FFT period, T_{FFT} (us)	18.667	16	14
Subcarrier spacing, ΔF (KHz)	53.571	62.5	71.429
Signal bandwidth (MHz)	5.518	6.438	7.357

PLCP 프리앰블에 이어 전송되는 OFDM 심벌부터는 102개의 부반송파가 실제로 사용되고, 이 중에서 98개가 데이터 전송에 그리고 4개가 파일럿 전송에 사용된다. 변조를 거쳐 생성된 성좌점은 IFFT 입력의 -51부터 +51까지 순차적으로 매핑 되는데 이때 DC 부반송파와 파일럿 부반송파는 건너 뛰면서 총 98개의 데이터 부반송파에 실린다. 4개의 파일럿 부반송파는 주파수 오프셋과 위상 잡음을 제거하는데 주로 사용된다. 파일럿 부반송파는 〈표 2〉와 같이 각 OFDM 심벌의 정해진 위치에 삽입되고 13 OFDM 심벌마다 반복되는 구조이다. 파일럿 부반송파는 선 스펙트럼 성분을 방지하기 위해 PRBS (Pseudo-Random Binary Sequence) 생성기로부터 얻은 시퀀스를 이용하여 BPSK 변조된다. 〈표 2〉에서 0번째 심벌은 long 프리앰블 이후 시작되는 첫 OFDM 심벌을 의미한다.

〈표 2〉 파일럿 부반송파 패턴 (13 OFDM 심벌 동안)

Symbol Index modulo 13	Subcarrier Index			
0	-51	-25	1	27
1	-39	-13	13	39
2	-31	-5	21	47
3	-45	-19	7	33
4	-35	-9	17	43
5	-27	-1	25	51
6	-49	-23	3	29
7	-41	-15	11	37
8	-33	-7	19	45
9	-47	-21	5	31
10	-29	-3	23	49
11	-37	-11	15	41
12	-43	-17	9	35

3.3 기타 핵심 기술

ECMA-392 표준은 IEEE 802.11a와 같은 잘 알려진 OFDM

표준과 전체적으로 유사한 점이 많다. 그러나 몇몇 핵심 기술들이 성능 개선을 위해 포함되었다.

1) RS 부호

GF(256)에 기초한 (245,255) RS 부호가 PER (Packet Error Rate) 개선을 위해 사용된다. 이때 사용된 다항식은 $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ 이다. 동일한 RS 부호를 이용하여 세공하고(puncturing) 적절하게 잘라서(truncation) PLCP 헤더를 부호화하는 (15,23) 부호도 생성할 수 있다. 따라서 동일한 RS 복호기를 사용하여 데이터와 PLCP 헤더를 복호할 수 있다.

2) 재전송 기술

IEEE 802.11 표준에서는 재전송의 경우 원래의 패킷과 동일한 인터리버를 사용하지만 스크램블러 초기값은 다르게 사용하여 전송하고기 때문에 일반적으로 수신기에서 원래의 패킷과 재전송 패킷을 소프트 컴바인 하지 않는다. 이러한 방법은 재전송 채널이 원래의 전송 채널과 상관성이 없다면 성능 개선이 있지만 원래의 전송 패킷과 재전송 패킷 사이에 다중경로 채널이 크게 변하지 않을 경우 재전송에 의한 다이버시티 이득이 없기 때문에 PER 성능 개선이 없다. 반면, 재전송 패킷에 다른 인터리버를 사용하게 되면 주파수 다이버시티를 얻게 되어 수신기의 소프트 컴바인에 의한 성능 개선을 얻을 수 있다. 원래의 패킷은 14열 7행 인터리버를 사용하고 재전송 패킷은 7열 14행 인터리버를 사용하여 수신기에서 서로 소프트 컴바인하면 최대 7dB까지 성능 이득을 얻을 수 있다. 만약 수신기에서 소프트 컴바인을 구현하지 않아 이를 적용하지 않을 경우에도 동일한 인터리버와 서로 다른 스크램블러를 사용하여 재전송하는 성능과 동일하므로 수신기에서 성능 개선을 위해 선택적으로 적용할 수 있다.

3) 다중 안테나 지원

ECMA-392 표준에서 다중 안테나는 선택 사항이다. 커버리지 확대를 위해 Space Time Block Coding (STBC)를 사용할 수 있고, 전송속도 향상을 위한 Spatial Multiplexing (SM)을 사용할 수 있다. TV 대역에서는 안테나 크기 때문에 송신 안테나 수를 최대 2개까지 제한하였다.

송신기에서 다중 안테나를 사용할 경우 short 프리엠블과

long 프리엠블은 단일 안테나의 경우와 다르게 전송된다. 다중 안테나의 short 프리엠블 시퀀스는 단일 안테나에서 전송하는 시퀀스와 직교성이 존재한다. 따라서 모든 디바이스는 별도의 정보 전송없이 short 프리엠블의 상관성을 이용하여 다중안테나 또는 단일안테나 사용 여부를 파악할 수 있다. 다중 안테나의 long 프리엠블 시퀀스는 단일 안테나의 long 프리엠블 시퀀스와 동일하나 안테나 1에는 짝수 부반송파에만 시퀀스를 전송하고 안테나 2에는 홀수 부반송파에만 시퀀스를 전송하는데 이를 주파수 인터리빙 (frequency interleaving) 이라 부른다. 수신기는 양쪽 송신 안테나에서 전송된 long 프리엠블을 이용하여 단일 안테나와 동일한 방법으로 채널을 추정할 수 있다.

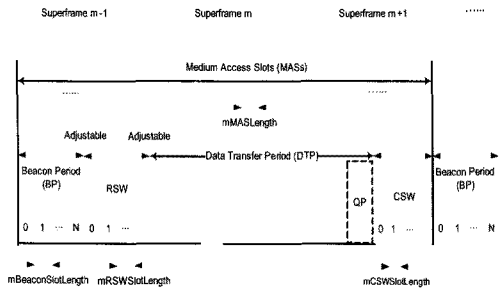
다중 안테나를 사용할 경우, PLCP 헤더는 FITD (Frequency Interleaved Transmit Diversity) 방식으로 전송되는데, 이 방식은 부호화, 인터리빙 및 변조를 거쳐서 생성된 성좌점이 위에 설명한 방법과 같이 2 개의 안테나에 주파수 인터리빙 되는 기술이다. STBC와 달리 별도의 추가적인 신호 처리 없이 모든 수신기가 FITD 신호를 복구할 수 있는 것이 특징이다. 데이터는 FITD, STBC, SM 방식 중에서 선택하여 전송할 수 있고 그 전송 방식에 대한 정보는 PLCP 헤더에 전송된다.

4. MAC 계층 설계

ECMA-392 MAC 계층의 가장 기본적인 기능은 비콘방식과 채널할당 프로토콜이라 할 수 있다.

ECMA-392표준은 네트워크를 효과적으로 관리하게기 위해 주기적인 비콘을 전송한다. 비콘방식은 ECMA-368 표준과 같은 분산 비콘 전송방식과 IEEE 802.15와 같은 중앙집중식 비콘 전송방식을 각각 지원하며, 필요에 따라서는 이들 두 방식이 혼재되는 Hybrid 비콘방식을 지원한다. 이는 디바이스의 분포 및 사용 가능한 전력, 각 주파수별 전송전력 제한, 트래픽 상황에 따라서 최적으로 운용하기 위함이다.

MAC 기능을 제어하는 기본적인 틀은 (그림 4)와 같은 슈퍼프레임을 통하여 정의되는데 1개의 슈퍼프레임은 256개의 MAS (Medium Access Slot)로 구성되며, 슈퍼프레임의 맨 앞쪽에는 비콘구간, 이어서 RSW (Reservation-based Signaling Window), Data 전송구간, CSW (Contention-based Signaling Window)로 이루어져 있다. 각 디바이스는 비콘



(그림 4) 슈퍼프레임 구조

전송여부와 네트워크 토폴로지에 따라 Peer, Master, Slave 디바이스로 나뉘며, Peer는 분산 비콘방식에서 동작하는 디바이스이며, Master 디바이스는 Infrastructure mode에서 비콘을 전송하는 디바이스이다. Slave 디바이스는 infrastructure mode에서 비콘의 제어를 받는 디바이스로 비콘을 전송할 수도 안할 수도 있다. 비콘구간은 각 Peer가 비콘을 전송하는 구간이며, 이는 Peer 디바이스의 개수에 따라 가변적으로 운용된다. 비콘구간이 1개의 MAS로 제한되면 이 비콘구간은 Infrastructure mode의 Master 디바이스가 사용되하게 된다. 따라서 중앙/분산 비콘방식이 상황에 따라 가변적으로 운용될 수 있게 구성되어 있다. RSW는 Master가 Slave device와 경쟁 없이 제어프레임을 교환할 목적으로 할당된 특수한 시간 구간이다. CSW는 경쟁방식 즉 CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 방식으로 모든 디바이스가 필요에 따라 즉각적으로 상호간에 신호를 교환할 수 있는 구간으로 특별히 spectrum sensing이 이루어지면 이 구간을 통하여 센싱 결과를 보고할 수 있게 설계되었다.

Incumbent user (IU) 보호를 위해 기본적으로 센싱을 통한 IU정보를 습득하는 것을 지원하며, 이를 위해 별도의 command frame을 정의하였다. 센싱을 위한 command frame은 IEEE 802.22와 유사하게 sensing request, sensing response, sensing report, sensing ACK 등 네 개의 command frame을 교환하여 센싱 정보를 교환한다.

채널할당은 기본적으로 예약방식 (Channel Reservation Access: CRA) 과 경쟁방식 (Prioritized Contention Access : PCA)을 지원한다. 채널할당은 요구되는 QoS (Quality of Service) 지원과 동시에 데이터 전송에 있어서 전송률 보장

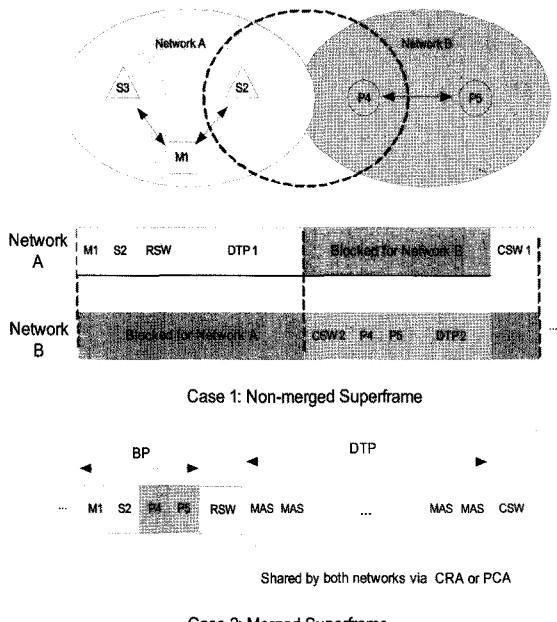
그리고 CR기능을 지원하기 위한 QP (Quiet Period)를 효과적으로 배치하는 것을 전제 조건으로 한다. 경쟁방식은 본 표준에서 IU출현, 초기접속 등의 특수한 상황에서만 사용된다. 이는 경쟁방식의 데이터 전송이 비효율적이기 때문이다.

ECMA-392 표준은 요구되는 QoS를 지원하기 위해서 <표 3>과 같은 다양한 종류의 채널 점유방식을 정의한다. 기본적으로 각 접속은 각 MAS의 사용을 각 디바이스간에 협의 (negotiation)를 통하여 예약방식으로 결정한다. 특정 디바이스는 사용하고 싶은 MAS를 점유하기 위해 비콘을 통하여 요구를 하는 방법과 MAC message를 사용하여 요구하는 방법이 있다. 후자는 비콘을 전송하지 못하는 디바이스가 주로 사용하게 된다. 만약 두 개 이상의 디바이스가 동시에 같은 MAS를 사용하겠다는 비콘이나 메시지가 수신되면 충돌해결 절차를 통하여 이를 해소한다. <표 3>에서 Alien BP는 슈퍼프레임 초반에 할당된 비콘 주기에서 인접된 네트워크간에 비콘을 전송할 목적으로 할당된 구간이다. 이를 통해 인접 네트워크간에 같은 슈퍼프레임 시간을 공유하는 것이 ECMA-392 표준의 특징이다. Hard와 Private로 할당된 MAS는 특정 디바이스만 사용할 수 있으며 특정 디바이스가 해당 MAS에 대한 선순위 사용권을 포기하면 나머지 디바이스가 해당 MAS를 경쟁방식으로 사용할 수 있다. 이 두 가지 예약방식의 차이는 ECMA-392 표준에서는 없으나, 상위계층에서의 필요성 등을 위해 구분해 놓았다. Soft와 PCA는 경쟁모드로 해당 MAS를 사용하는 것인데 차이는 Soft의 경우는 예약주체가 우선순위를 갖는 반면에 PCA는 우선순위가 없다.

<표 3> 채널 점유 방식

Reservation Type	Description
Alien BP	Prevents transmission during MASs occupied by an alien BP.
Hard	Provides exclusive access to the medium for the reservation owner and target; unused time should be released for PCA
Soft	Permits PCA, but the reservation owner has preferential access.
Private	Provides exclusive access to the medium for the reservation owner and target. Channel access methods and frame exchange sequences are out of scope of this specification; unused time should be released for PCA.
PCA	Reserves time for PCA. No device has preferential access.

ECMA-392 표준에서의 Self-Coexistence는 인접 네트워크와 슈퍼프레임을 공유함으로써 이루어지는데 이때 Alien network (인접 네트워크)의 디바이스들은 Home network의 비콘 구간을 동시에 공유하고 두 네트워크가 비콘 정보를 공유함으로써 동일한 슈퍼프레임을 같이 사용하게 된다. 보안이나 기타 자원공유에 문제가 있을 경우에는 각 네트워크는 중앙/분산/Hybrid 비콘 방식 중 적당한 방식으로 네트워크 상황에 적응하도록 설계되어 있다. 이러한 슈퍼프레임 공유를 가능하게 하기 위해서 ECMA-392 표준은 기본적으로 모든 네트워크가 슈퍼프레임 동기를 수행한다. 초기 네트워크 설정 시 인접 네트워크가 검색되면 기존에 존재하는 네트워크에 슈퍼프레임 동기를 맞춘다. 또한 독립된 전송 영역을 갖는 두 개의 네트워크가 경계지역의 새로운 디바이스의 출현으로 인해 서로의 존재를 인지하게 될 경우, 분산 비콘 방식의 경우 새로운 디바이스의 비콘을 통하여 동기를 맞추고 중앙 비콘 방식의 경우 새로운 디바이스가 에코 비콘을 중계하여 동기를 맞추게 된다.



(그림 5) 슈퍼프레임 공유 및 비콘 디바이스로의 전환 (Promotion)

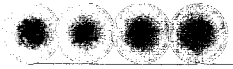
(그림 5)는 인접 네트워크와 슈퍼프레임을 공유하기 위한 슈퍼프레임 통합(merge)절차를 설명하기 위해 도시된 그림

이다. 네트워크 A는 Master (M1) - Slave (S2,S3) 디바이스가 동작하는 중앙 비콘형 네트워크이고, 네트워크 B는 두 개의 피어 (Peer, P4, P5) 디바이스가 동작하는 분산 비콘형 네트워크이다. 네트워크 A와 네트워크 B는 인접 네트워크에 영향을 주지 않기 위해 시간축 (가로축)에서 구분된 각 영역의 슈퍼프레임을 사용하다가 NMS (Network Management System)의 판단으로 인해 두 개의 네트워크가 슈퍼프레임을 공유하는 것이 효율적이라는 판단이 내려지면, Slave 2 디바이스가 비콘 중계를 위해 비콘을 전송하는 Slave 디바이스로 전환되며, (그림 5)의 아래 그림과 같이 비콘 주기가 슈퍼프레임 초반에 합쳐지고 데이터 구간도 합쳐지게 되어 시간축 상에서 다이버시티 이득을 얻게 되는 구조이다.

III. 결 론

본고에서는 세계 최초 CR 표준인 ECMA-392의 물리계층과 MAC 계층을 소개하였다. ECMA-392 CR 표준과 관련된 다양한 규정들에 대해 설명하였고, ECMA-392의 서비스 모델 및 기술적인 요구 사항에 대해 간단히 소개하였다. ECMA-392 물리 계층은 OFDM 방식을 바탕으로 시스템 복잡도와 전송 속도를 최적화할 수 있는 OFDM 파라미터와 프레임 구조가 채택되었고, 전송속도와 커버리지 증대를 위해 새로운 재전송 기술 및 다중 안테나 기술이 사용되었다. ECMA-392 MAC 계층은 CR에 적합한 비콘 전송 방식과 채널 할당 방식이 채택되었다. 비콘 전송 방식으로는 분산, 중앙집중, 혼합형이 상황에 따라 선택적으로 운용될 수 있고, 채널 할당은 예약 방식과 경쟁 방식이 QoS 및 CR 환경을 고려하여 적절하게 사용될 수 있다. 또한 인접 CR 네트워크와의 효과적인 공존 문제도 중요하게 다뤄지고 있다.

ECMA-392 표준은 IEEE 802.11af와 달리 이전 표준과의 호환성에 대한 부담이 없어 물리 계층과 MAC 계층이 간결하고 효율적으로 설계되어 있다. 또한 ECMA-392 표준은 TV white space의 타고난 장점으로 인해 풍부한 주파수 자원 확보가 용이하고 전파 특성이 우수하여 보다 넓은 커버리지를 서비스 할 수 있어 향후 CR 기술 개발과 상용화에 앞장설 수 있을 것으로 기대된다.



- [1] M. A. McHenry, "NSF Spectrum Occupancy Measurements Project Summary", Shared Spectrum Company, August, 2005.
- [2] U.S. FCC, "Notice of Proposed Rule Making, in the matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands (ET Docket 04-186)," May, 2004.
- [3] ECMA International, "ECMA-392: MAC and PHY for Operation in TV White Space," 1st Edition, December, 2009.
- [4] Cognitive Networking Alliance (CogNeA), <http://www.cognea.org/>
- [5] U.S. FCC, "Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order, in the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 MHz and in the 3GHz Band (ET Docket 08-260)," October, 2008.

약 력



황 성 현

1996년 성균관대학교 공학사
 1998년 성균관대학교 공학석사
 2001년 성균관대학교 공학박사
 2001년 ~ 2005년 삼성전자 SOC연구소 책임연구원
 2005년 ~ 현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀 선임연구원
 관심분야: Cognitive Radio, 이동통신시스템 및 디지털 모뎀 설계



고 팡 진

1995년 동국대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1997년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사)
 2003년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(박사)
 2003년 ~ 2005년 고려대학교 통신수학연구센터 연구교수
 2005년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야: Cognitive Radio, 무선통신 MAC 설계 및 무선통신 이론

약 력



엄 중 선

2004년 성균관대학교 공학사
 2006년 성균관대학교 공학석사
 2006년 ~ 현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀 선임연구원
 관심분야: Cognitive Radio, 이동통신시스템 및 디지털 모뎀 설계



유 성 진

2001년 KAIST 공학사
 2003년 서울대학교 공학석사
 2003년 ~ 현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀 선임연구원
 관심분야: Cognitive Radio 및 MAC 프로토콜 설계



송 명 선

1984년 충남대학교 공학사
 1986년 충남대학교 공학석사
 1986년 ~ 현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀 책임연구원
 관심분야: Cognitive Radio 및 밀리미터파 시스템



정 병 장

1988년 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1997년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1994년 ~ 2003년 삼성중합기술원 전문연구원
 2003년 ~ 2010년 한국전자통신연구원 인터넷연구부
 차세대이동통신 방식연구팀 책임연구원
 2010년 ~ 현재: 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부
 인지무선연구팀장
 관심분야: Cognitive Radio, 통신신호처리 및 이동통신 물리계층



김 항 주

1980년 한국항공대학교 공학사
 1988년 한국과학기술원 공학석사
 1993년 한국과학기술원 공학박사
 1979년 ~ 1983년 ADD 연구원
 1983년 ~ 현재 한국전자통신연구원 전파기술연구부장
 관심분야: 이동통신, 전파기술 및 Cognitive Radio