


 특집
04

Multi-Giga bps 무선 속도를 실현하는 IEEE 802.15.3c 표준 기술

목 차

1. 서 론
2. 표준 기술 개요
3. 공존성 보장 기술
4. 무압축 비디오 데이터 UEP 기술
5. 지향성 안테나 통신을 위한 슈퍼프레임 구조
6. 결 론

홍승은 · 이우용
(한국전자통신연구원)

1. 서 론

2001년도에 미국의 연방-통신-위원회(Federal Communication Commission: FCC)가 57GHz~64GHz 대역 상의 7GHz 대역폭을 비허가(unlicensed) 대역으로 할당한 이후부터, 본격적으로 60GHz 대역을 통신에 활용하고자 하는 노력이 경주되었다. 특히, 60GHz 대역이 미국을 비롯한 한국(57~64 GHz), 캐나다(57~64 GHz), 일본(59~66 GHz), 그리고 유럽(57~66 GHz)까지를 포함하여 전세계적으로 사용 가능해짐에 따라, 시스템간의 간섭(inter-system interference) 없이 최대 9GHz에 달하는 초광대역 채널들을 사용함으로써 손쉽게 Multi Giga bps 전송 속도를 제공할 수 있게 되었다. 한편, 반도체 표준 공정 기술인 CMOS(complementary metal oxide semiconductor)의 미세 공정이 100nm 이하에서도 가능해 짐에 따라, 60GHz 대역 RF 회로를 값싸게 구현할 수 있게 된 점도 밀리미터파(57~66GHz) 대역의 통신 활용을 촉진하는 계기가 되었다.

밀리미터파(57~66GHz) 대역에 대한 표준화

활동은 유럽의 ETSI/BRAN(무선 LAN 응용), 북미의 IEEE 802(무선 PAN/LAN 응용, 사실상 국제 표준(de-facto international standard)), ISO 21216(ITS 통신 응용), 그리고 최근에 60GHz 대역 WPAN 응용과 관련하여 WiHD 컨소시엄과 ECMA International 등에서 활발히 진행 중이거나, 표준이 출간되었다. 60GHz 대역 무선 WPAN은 HD(High Definition)급 무압축 비디오의 고속 실시간 스트리밍, 고속 무선 Ad-hoc 통신, 고속 파일 전송, 무선 USB 등을 주요 서비스 응용으로 고려하고 있으며, 이에 대한 표준 기술 주도권을 쟁탈하기 위하여 Intel, Philips, Motorola, IBM, SiBeam, NICT, Sony, Samsung 등 40여 개 세계적인 대기업들이 국제 표준화 관련 기구에서 협력 및 경쟁을 벌이고 있는 상황이다. 본 고에서는, 60GHz 대역 WPAN 응용과 관련하여 가장 많은 업체들이 참여하여 적극적으로 표준화를 진행하였고 2009년 9월 표준 완료를 목표로 하고 있는, IEEE 802.15.3c의 표준 기술들을 살펴보도록 하겠다.

2. 표준 기술 개요

2.1 표준화 동향

IEEE 802.15.3c(Task Group 3c)는 IEEE 802.15.3a의 표준화 기고서로 제안된 일본 OKI사의 밀리미터파 기반의 광대역 무선 접속 시스템 제안서를 기반으로 표준화를 시작하였다. 2005년 3월, 60GHz 대역의 밀리미터파를 이용한 무선 기술 개발 TG(Task Group)로 승격되어 활발한 표준화 활동을 하였으며, 2009년 9월 표준 완료를 목표로 막바지 작업을 진행하고 있다 [1]. IEEE 802.15.3c는 기존의 IEEE 802.15.3 WPAN(Wireless Personal Area Network) 표준인 802.15.3-2003[2] 및 802.15.3b-2005[3]와의 호환성을 유지하면서, 밀리미터파 기반의 새로운 PHY(Physical Layer) 및 대응되는 MAC(Medium Access Control Layer) 지원 기능들의 표준을 개발하고 있다.

IEEE 802.15.3.3c는 2007년 5월에 처음으로 참가 기관 및 업체로부터 16개의 표준 제안서를 받은 후 그 중 9개의 표준 제안서들을 놓고 2007년 7월부터 제안서 선정작업(down selection) 절차를 시작하였다. 2007년 11월 회의에서 투표를 통해 표준 기본 문서(baseline document)를 결정하였고, 이 기본 문서를 기반으로 2008년 5월까지 다수의 기고문들에 대한 여러 의견들을 수렴하여 구체적인 PHY 및 MAC 관련 기술 요구 사항들을 정리하였으며, 2008년 5월 회의 이후 1차

서신 투표(letter ballot)를 시작으로 2009년 3월 까지 세 번의 '재투표 과정 (Recirculation ballot)'을 거쳐 2009년 3월 회의 후 '스폰서 투표 (Sponsor ballot)'가 진행되고 있다. <표 1>은 서신 투표와 세 차례의 재투표 과정의 결과를 정리한 것이다.

2.2 표준 기술 개요

2009년 4월 기준으로 최신 표준 초안인 IEEE P802.15.3c/D07 문서에 따르면, 57.0GHz에서 66.0GHz까지의 밀리미터파 주파수 대역에서 정의되는 mmWave PHY는 총 세 가지로, 첫 번째는 CoMPA(Consortium of Millimeter wave Practical Applications)를 주축으로 여러 파트너들이 참여하고 있는 그룹에서 제안한 단일 반송파(Single Carrier) 방식이고, 두 번째는 Tensorcom 등의 업체에서 제안한 HSI(High Speed Interface)-OFDM 방식이며, 마지막으로 세 번째는 SiBeam이 주축이 된 WiHD 그룹에서 제안한 AV(Audio and Visual) OFDM 방식이다. <표 2>에는 IEEE 802.15.3c에서 정의하는 세 가지 PHY 방식의 특징들이 비교/정리되어 있다.

비록 세 가지 개별 PHY 방식이 도입되고 있지만, 세 가지 PHY 모두 동일한 채널 할당 규칙을 사용한다. (그림 1)에는 IEEE 802.15.3c의 PHY 공통 채널 할당 규칙과 단일 반송파 방식 및 HSI OFDM의 최대 PHY 전송율을 도시하고 있다.

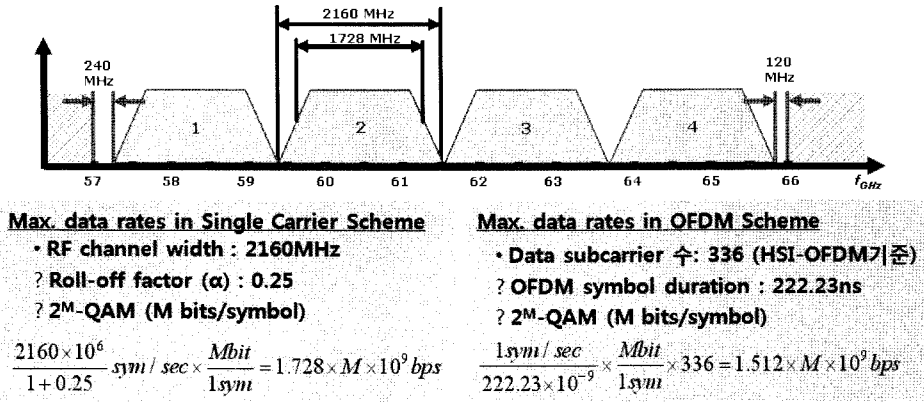
<표 1> IEEE 802.15.3c 투표 결과

투표 # (찬성율)	일시	투표 결과			논평 (comment)	
		찬성	반대	기권	기술사안	편집사안
LB43 (78.4%)	2008년 6월 10일 ~ 7월 10일	98	27	6	456	218
LB47 (78.1%)	2008년 10월 20일 ~ 29일	100	28	7	130	169
LB48 (83.2%)	2009년 1월 1일 ~ 11일	109	22	0	35	86
LB49 (84.2%)	2009년 2월 6일 ~ 16일	109	21	6	8	3

찬성율: 찬성/(찬성+반대)

<표 2> IEEE 802.15.3c에서 정의하는 세 가지 PHY 특징 비교

	단일 반송파 방식	HSI-OFDM 방식	AV-OFDM 방식
주요 참여 업체	CoMPA	Tensorcom	SiBeam
변조 방식	$\pi/2$ BPSK/QPSK/BPSK/16QAM	QPSK/16QAM/64QAM	BPSK/QPSK/16QAM
채널 코딩	RS, LDPC	LDPC	CC-RS concatenation
PHY 전송률	25.3Mbps~5.18Gbps	31.5Mbps~5.67Gbps	2.5Mbps~3.8Gbps
특징	데이터 전송률 및 변조 방식에 따라 Class 1, 2, 3로 분류	헤더와 페이로드 모두 LDPC로 보호	응용 및 전송률에 따라 HRP, LRP로 분류



(그림 1) IEEE 802.15.3c 채널 할당 및 최대 데이터 전송률

<표 2>의 단일 반송파 방식 및 HSI-OFDM 방식의 최대 PHY-SAP(Service Access Point) 전송율은 각각 (16QAM, LDPC(672,504))와 (64QAM, LDPC(672,420))를 사용하므로 다음과 같이 계산된다.

$$1.728 \times 4 \times \frac{504}{672} \times 10^9 = 5.18 \text{ Gbps}$$

$$1.512 \times 6 \times \frac{420}{672} \times 10^9 = 5.67 \text{ Gbps}$$

서두에서 언급한 대로, 60GHz 주파수 대역에 대한 집중된 관심으로 인해 많은 표준화 기구에서 각기 다른 시스템 표준들을 제정하고 있었고, 특히 IEEE 802 내에서도 802.11 VHT(Very High Throughput) SG(Study Group) (이는 2008년 11월과 2009년 3월에 각각 IEEE 802.11TGac와 IEEE 802.11TGad로 승격되어 전자에서는 6GHz 이하 주파수를 사용하고 후자는

60GHz 주파수 대역을 사용하여 1Gbps 이상의 전송율을 제공하는 시스템 표준 개발을 목표로 함)에서 60GHz 주파수 대역의 표준을 개발하려는 움직임이 시도되자, IEEE 802.15.3c에서는 다른 시스템 또는 PHY 간의 공존성(Coexistence)을 보장하는 기능 개발을 추가하게 되고, 한편으로 IEEE 802.11TGad에게 IEEE 802.15.3c와의 공존성 기능 개발을 요구하게 되었다.

이 외에도, 무압축 비디오의 효율적 전송을 위한 프레임 군집화(aggregation) 기능 및 부등 오류 보호 (unequal error protection: UEP) 기능, 그리고 지향성 안테나 통신을 지원하는 기능 등을 규정하고 있다. 이러한 기술들에 대해서는 이후 절들에서 보다 상세히 기술하기로 한다.

3. 공존성 보장 기술

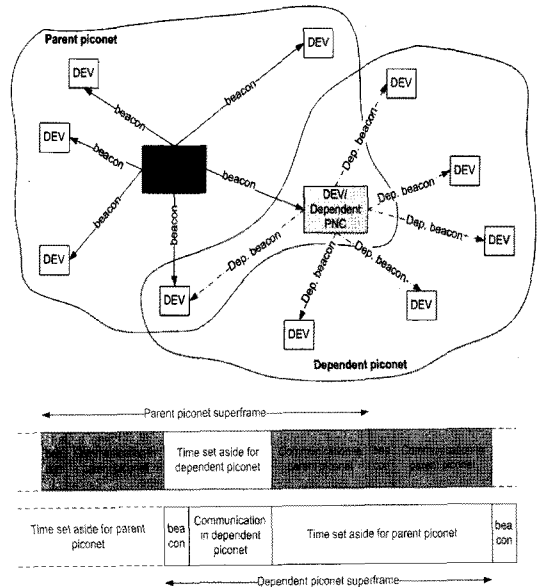
본 표준은 mmWave WPAN 시스템들의 고속

데이터 전송을 위한 독립된 세 개의 PHY 규격과 IEEE 802.15.3에 기반한 MAC 확장 규격을 정의한다. 서로 다른 PHY를 지원하는 장치들 간의 공존성(coexistence)을 보장하기 위해, IEEE 802.15.3c 규격에서는 다양한 기능들을 제공하고 있는데, 이는 <표 3>과 같이 정의될 수 있다. 본 소절에서는 공통 모드 시그널링 기능과 SYNC 프레임 전송 기능에 대해 보다 상세히 살펴보고자 한다.

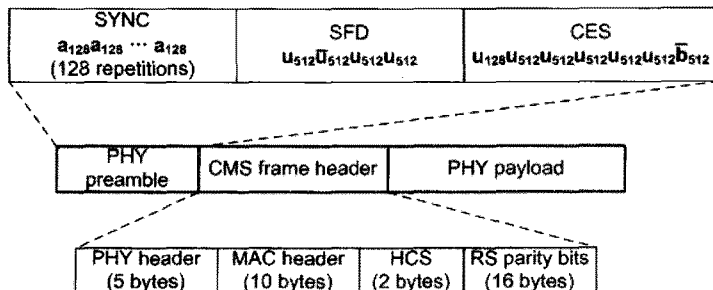
<표 3> IEEE 802.15.3c 공존성 보장 기술

공존 기법	설명
공통 채널화 및 전송 스펙트럼 마스크	세 가지 PHY는 (그림 1)과 같이 공통된 채널 할당 규칙을 따르며, 공통된 전송 스펙트럼 마스크(참조문헌 [1]의 그림 126 참조)를 사용
스캐닝 및 동적 채널 선택	피코넷을 형성하기 전에, 수신 신호의 에너지 검출을 통해 보다 깨끗한 채널을 선택할 수 있으며, 피코넷 형성한 후에도 PNC는 다른 채널로 피코넷을 옮길 수 있음
채널 상태 모니터링	채널 상태를 RSSI, SINR, FER 파라미터 등으로 모니터링할 수 있으며, 원격 (remote) 장치에게 채널 상태 모니터링을 요청할 수 있음
이웃 피코넷 형성 가능	이웃하는 피코넷을 구성하는 두 PNC는 (그림 2)와 같은 의존 피코넷을 형성하여, 동일 채널 간섭을 배제할 수 있음
공통 모드 시그널링	가장 안전한 SC PHY 모드를 HSI-PNC와 AV-PNC에서도 송/수신할 수 있도록 함으로써 에너지 검출 대신 신호 검출을 통해 채널 스캐닝 기능을 향상시킴
SYNC 프레임 전송	PNC 또는 일부 DEV로 하여금 채널 할당 정보를 담은 SYNC 프레임용 CMS로 전송함으로써 다른 PNC로 하여금 채널 스케줄링에 활용하도록 함

추가로, 이후 설명의 이해를 돕기 위해, 먼저 IEEE 802.15.3의 피코넷 운용 방법에 대해 간략히 기술하기로 한다. IEEE 802.15.3 WPAN은 복수 개의 장치(DEV)와 DEV 간의 통신 중재를 위한 하나의 피코넷 조정자 (PicoNet Coordinator: PNC)로 구성되는 피코넷(piconet) 형태로 운용된다. PNC는 피코넷에 참여중인 DEV들 중에서 선발되고, 이렇게 선발된 PNC는 비컨(Beacon)을 이용하여 피코넷에 기본적인 타이밍을 제공하고, QoS(Quality of Service) 요구사항, 전력 절약 모드, 피코넷에 대한 접근 제어(Access Control) 등을 관리한다. IEEE



(그림 2) 부모 피코넷과 의존 피코넷의 구성 및 타이밍 관계도



(그림 3) CMS 프레임 포맷

802.15.3 WPAN 규격은 피코넷의 커버리지(coverage)를 확장하거나 다른 디바이스의 네트워크 자원을 활용하기 위해, 자식 피코넷과 이웃(neighbor) 피코넷 형성을 허용하여 부모(parent) 피코넷과 함께 계층화된 피코넷을 형성시킬 수 있다. 이러한 계층적 피코넷에서는 자식 및 이웃 피코넷은 부모 피코넷에서 ‘배정된 채널 시간(Channel Time Allocation: CTA)’ 내에서만 사용이 가능한 의존적(dependent) 네트워크로 형성된다(그림 2) 참조).

<표 4> CMS 프리앰블을 위한 Golay 시퀀스들

시퀀스 표기	시퀀스 값 (16진수 표기)
\mathbf{a}_{128}	C059950CC0596AF33FA66AF3C0596AF3
$\bar{\mathbf{a}}_{128}$	binary-complement of \mathbf{a}_{128}
\mathbf{b}_{128}	30A965FC30A99A03CF569A0330A99A03
$\bar{\mathbf{b}}_{128}$	binary-complement of \mathbf{b}_{128}
\mathbf{u}_{512}	[\mathbf{a}_{128} $\bar{\mathbf{b}}_{128}$ $\bar{\mathbf{a}}_{128}$ $\bar{\mathbf{b}}_{128}$]
$\bar{\mathbf{u}}_{512}$	binary-complement of \mathbf{u}_{512}

3.1 공통 모드 시그널링

공통 모드 시그널링(Common Mode Signaling: CMS) 기능은 세 개의 서로 다른 PHY 장치들 간의 상호 운용(Interoperability)을 증진하기 위해 지원되는 규격으로, SC PHY의 저속 데이터 전송 모드를 사용한다. CMS는 일반적으로 SC 비콘 프레임 전송과 후술될 SYNC 프레임 전송에 사용되며, SC 및 HSI PHY 장치에서 빔 형성 절차에 사용되는 명령 프레임과 트레이닝 시퀀스 전송에 사용된다.

CMS 프리앰블은 SC PHY의 프리앰블과 같이 수신 프레임의 검출을 위한 동기(SYNC) 시퀀스, 프레임 타이밍을 설정하는 시작 프레임 구분자(Start Frame Delimiter: SFD) 시퀀스, 그리고 채널 추정 시퀀스(Channel Estimation

Sequence: CES)로 구성되는데, 무선 채널에 강인하면서도 비교적 먼 거리 전송이 가능하도록 보다 긴 시퀀스를 사용하게 된다. (그림 3)과 <표 4>에는 CMS 프리앰블 구조와 프리앰블을 구성하는 Golay 시퀀스들을 도시 및 정리하고 있다.

CMS 프레임 헤더는 프레임의 수신 처리를 위한 주요 정보를 담고 있는 PHY와 MAC 헤더로 구성되는데, 이들을 안전하게 보호하기 위해 헤더 검사 시퀀스 및 Reed Solomon (RS) 전방향 오류 정정(Forward Error Correction: FEC) 패리티 비트들을 추가하게 된다. 이 때 사용되는 RS 코드는 RS(33,17) 코드로, 페이로드 부호인 RS(255,239) 코드의 단축 코드이다. CMS 방식에서의 프레임 헤더 및 페이로드는 무선 채널에 보다 강인하게 전송될 수 있도록, 길이 64 Golay 시퀀스 코드 스프레딩(spreading)을 통해 각 비트를 64번 반복하여 $\pi/2$ -BPSK/(G)MSK로 변조되어 전송된다. 길이 64 Golay 시퀀스 코드 스프레딩 기법에 대한 자세한 설명은 참고문헌 [1] (페이지 65-66)로 대신한다. <표 5>에는 헤더 및 페이로드 처리에 사용되는 PHY 파라미터들이 정리되어 있다.

<표 5> CMS 방식에서 사용되는 PHY 파라미터들

	Rate (Mbps)	Modulation	Spreading Factor	FEC type
Header	12.3 ¹⁾	$\pi/2$ -BPSK/(G)MSK	64	RS(33,17)
Payload	25.3 ²⁾	$\pi/2$ -BPSK/(G)MSK	64	RS(255,239)

1) 12.3 = 1728 (sym/sec) x 1 (bit/sym) x 17/33 (FEC code rate) x 15/17 (HCS overhead) / 64

2) 25.3 = 1728 (sym/sec) x 1 (bit/sym) x 239/255 (FEC code rate) / 64

3.2 SYNC 프레임

IEEE 802.15.3 표준 규격[2][3]에서는 두 개 이상의 피코넷(piconet)들이 하나의 피코넷으로부터 그들의 채널 타이밍 정보와 동기 정보를 획득할 수 있도록 하고 있으며, 이러한 피코넷들을

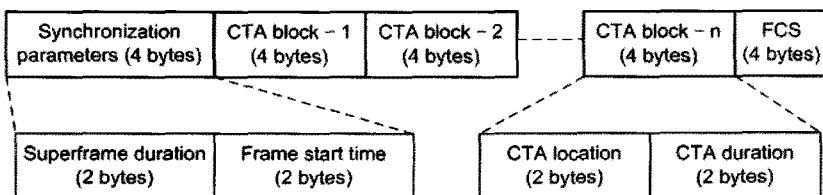
부모 (parent) 피코넷과 의존 (depending) 피코넷이라 부른다. 상기한 바와 같이, 의존 피코넷들은 부모 피코넷과 동기되어 상호 간의 간섭 없이 통신할 수 있는데, 이 경우 피코넷들을 구성하는 PNC들은 상호 통신할 수 있어야 한다. 하지만, 두 PNC의 이격 거리가 신호 도달 거리보다 큰 경우, 두 PNC간 통신은 불가능하고 따라서 서로 독립적인 피코넷을 구성하게 된다. 이 경우, 두 피코넷에 인접한 장치들에서는 동일 채널 간섭에 의해 통신 품질이 현저히 열화될 수 있다. 이러한 독립 피코넷들은 지향성 안테나를 사용하는 IEEE 802.15.3c에서는 빈번히, 그리고 인접하여 구성될 수 있고, 따라서 독립 피코넷들에 의한 동일 채널 간섭의 영향이 심각할 수 있다.

이를 보완하기 위해, IEEE 802.15.3c 규격은 필요한 정보(CTA 할당 정보 등)를 담은 SYNC 프레임, 신호 도달 거리가 상대적으로 길고 무선 채널에 강인한 CMS 방식으로, 전송하는 장치 기능을 추가하였다. 또한, 서로 다른 PHY 장치들 간의 공존성을 보완하기 위해, 다음과 같은 MAC 계층 규칙들을 추가로 정의하였다.

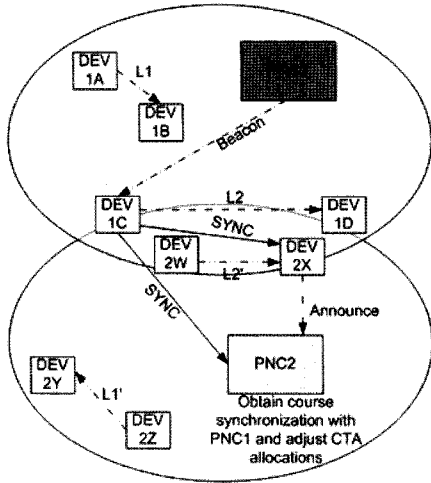
- AV PNC-capable 장치가 PNC로서 동작할 때, 슈퍼프레임마다 AV 비콘 프레임과 함께 하나의 CMS SYNC 프레임을 전송하여야 함
- HSI PNC-capable 장치가 PNC로서 동작할 때, 슈퍼프레임마다 HSI 비콘 프레임과 함께 하나의 CMS SYNC 프레임을 전송하여야 함
- AV PNC-capable 장치는 CMS 방식의 SYNC 프레임과 명령 프레임들을 수신할 수 있어야 함

- HSI PNC-capable 장치는 CMS 방식의 SYNC 프레임과 명령 프레임들을 수신할 수 있어야 함
- SYNC 프레임을 전송할 수 있는 장치는 미리 규정된 주기적인 슈퍼프레임에서 자신이 할당 받은 첫 번째 시간 구간에서 SYNC 프레임을 전송하게 되는데, 이 때 오버헤드 및 성능 관점에서 SYNC 프레임 전송 회수는 조정될 수 있음.

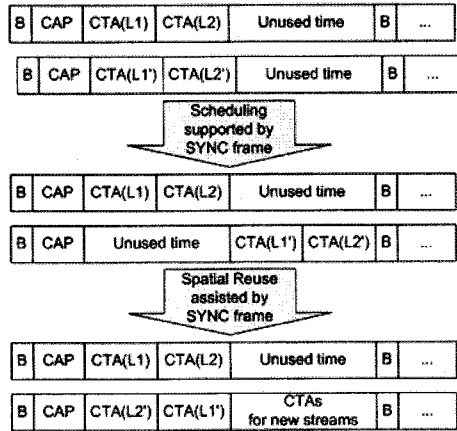
(그림 4)는 CMS PHY 페이로드에 실리는 SYNC 프레임의 형태로, SYNC 프레임을 전송하는 장치가 속한 피코넷의 동기 정보 및 채널 시간 할당 정보들을 포함하고 있음을 도시하고 있다. (그림 5)는 PNC1과 PNC2가 서로를 인지하지 못해 독립적인 피코넷을 구성하지만 두 피코넷이 중첩되는 영역이 존재하는 경우를 도시하고 있으며, 중첩된 영역에 존재하는 일부 장치들 간의 간섭이 발생하는 예제를 도시한 것이다. 그림을 통해 알 수 있듯이, 장치 DEVIC-DEV1D 간의 통신과 DEV2W-DEV2X 간의 통신은 인접하고 같은 방향에서 이루어지고 있으므로, PNC1과 PNC2가 두 통신 링크를 동일한 시간 구간으로 할당하면 심각한 간섭이 발생하게 된다. 만약, 장치 DEV1C가 PNC1이 전송하는 비콘 정보에 기반하여 SYNC 프레임을 구성하여 전송하고, PNC2가 직접 SYNC 프레임을 수신하거나 또는 SYNC 프레임을 수신한 장치 DEV2X에 의한 Announce 명령 프레임을 통해 간접적으로 통보 받을 수 있으면, PNC2는 간섭이 발생하지 않도록 스케줄링 할 수 있는 기회



(그림 4) CMS PHY 페이로드에 실리는 SYNC 프레임 포맷



(그림 5) Sync 프레임을 통한 가상 의존 피코넷 구성 및 CTA 스케줄링



를 획득하게 된다. 이를 통해, PNC1과 PNC2 간에는 가상적인 의존 피코넷을 구성할 수 있게 된다.

4. 무압축 비디오 데이터의 UEP 기술

UEP는 중요도가 서로 다른 데이터를 ‘부호화된 변조 방식 (Modulation and Coding Scheme: MCS)’ 그리고/또는 재전송 기법을 사용하여 차등적으로 취급함으로써, 중요한 데이터의 부호화 이득을 제고하고, 중요도가 떨어지는 데이터에 대하여서는 부호화 이득을 상대적으로 희생하여 전체적인 성능을 개선하는 방식이다. IEEE 802.15.3c에서는 비디오 데이터 전송의 경우에, 특히 무압축 비디오 데이터 전송에, UEP를 적용하는 방식으로 UEP 유형 1, UEP 유형 2, 그리고 UEP 유형 3과 같은 세 가지 방법들을 표준화하고 있다. 세 가지 UEP 유형들은 무압축 비디오 데이터를 중요한 데이터와 중요하지 않은 데이터로 구분하는 데 있어, 기본적으로 같은 기준을 적용하고 있는데 바로 하나의 화소(pixel)를 구성하는 각 색상 정보(R/G/B, Y/Cb/Cr 등)를 특정 비트 위치를 기준으로 상위 비트들을 중요한 데이터(Most significant bits: MSBs)로, 하

위 비트들을 중요하지 않은 데이터(Least significant bits: LSBs)로 구분하게 된다. 이 기준은 8비트 화소의 경우 최하위 비트에 오류가 발생하면 실제 값 차이가 1밖에 나지 않지만 최상위 비트에 오류가 발생하면 실제 값과 128 차이가 발생하는 것으로 쉽게 이해할 수 있다.

- UEP 유형 1: MSB 데이터와 LSB 데이터는 MAC 상위 계층에서 구분되어 형성되고, MAC 계층에서 MSB 데이터에만 FCS를 추가하고 LSB 데이터에는 FCS를 추가하지 않으며, 최종적으로 MSB 데이터와 LSB 데이터에 동일한 MCS를 적용하여 수신 단으로 전송된다. 수신 단에서 MSB 데이터는 FCS를 통해 오류 발생 여부가 판단되고, 오류 발생시 전송 단으로 재전송이 요청되며, 재전송을 통한 오류 보호를 적용함으로써 재전송되지 않는 LSB 데이터보다 강한 오류 보호를 적용받게 된다.
- UEP 유형 2: MSB 데이터와 LSB 데이터가 MAC 상위 계층에서 구분되고 형성되어 MAC 계층으로 전송된다는 점에서는 UEP 유형 1과 동일하지만, MSB/LSB 구분 기준을 세 가지 화소 구성 성분 별로 비트 기준 위치를 지정하도록 함으로써 화소 구성 성분

간의 중요도를 반영(예를 들어, Y/Cb/Cr 색상 체계에서 Y를 MSB 데이터로 Cb/Cr을 LSB 데이터로 구분)할 수 있고 또한 채널 상태에 적응적으로 MSB/LSB 구분의 비트 기준 위치를 변경할 수 있다는 점에서 UEP 유형 1과 또한 UEP 유형 3과 큰 차이를 갖는다. 또한 MSB 데이터와 LSB 데이터에 차등적인 MCS를 부여할 수 있도록 함으로써 MSB 데이터를 LSB 데이터 보다 강하게 오류 보호하도록 한다.

- UEP 유형 3: UEP 유형 1/2와 달리, MSB/LSB 데이터가 상위계층에서 구분되지 않고 MAC 계층으로 전송되며, MAC에서는 MSDU 또는 subframe을 구성하는 데이터를 바이트 단위 기준으로 상위 4비트 데이터 정보들과 하위 4비트 데이터 정보들로 구분하여 FCS를 따로 계산하여 총 8바이트 FCS 정보 (MSB FCS와 LSB FCS)를 MSDU 또는 subframe 끝에 추가하게 된다. MSB FCS와 LSB FCS가 추가된 MSDU 또는 subframe은 PHY 계층에서 MSB 비트 스트림과 LSB 비트 스트림으로 구분되어 스트림 별로 차별적인 MCS를 적용하거나 skewed constellation (계층 변조로도 불리며, 자세한 설명은 참조 문헌 [1]로 대신)을 적용하여 전송된다. 이 때 차별적인 MCS와 skewed constellation은 UEP 유형 3의 특성상 동시에 적용될 수 없으나 한 가지만 적용될 수 있다.

5. 지향성 안테나 통신을 위한 슈퍼프레임 구조

저전력 통신을 지향하는 IEEE 802.15.3c 시스템 환경에서는, 무선 채널에 강인하면서도 최대 10m의 도달 거리를 확보하기 위해 지향성 안테나를 사용하는 것이 바람직하다. 하지만 지향성 안테나 통신은 기존 IEEE 802.15.3에서는 고려하지 않은바, 단일 PNC가 피코넷에 속한 모든 장치에게 전달해야 하는 비콘 전송과 CSMA/

CA 방식을 통해 운용되는 CAP 구간 통신에 있어 새로운 고찰이 요구되었다. 그 결과, IEEE 802.15.3c에서는 지향성 안테나 통신을 위한 수정된 슈퍼프레임 구조를 제시하고 있다.

본 절에서는 먼저 IEEE 802.15.3c 지향성 안테나 통신 규격 이해를 위한 용어를 정리하고, 이후 슈퍼프레임 구조 개선 사항에 대해 간략히 살펴보고자 한다.

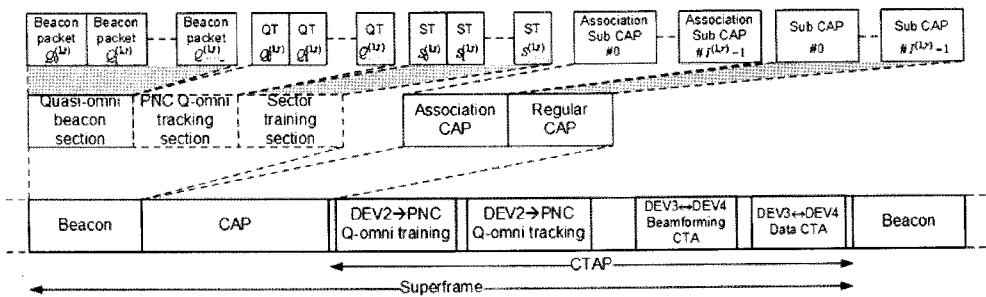
- 빔-폭(Beam-width): 안테나의 지향 특성을 각도로 나타낸 것으로, 일반적으로 전계 강도로 그린 지향 특성 곡선에서 주(main) 빔 최대값의 0.707 방향의 두 선 사이에 끼인 각도로 표시함.
- Quasi(Q)-omni 유형: 하위 단계로 갈수록 정교한 분해능을 갖는 다단계 안테나 유형에서, 첫 번째 단계의 분해능(resolution)을 갖는 안테나 유형으로, 매우 넓은 빔 폭을 갖으며, 일반 장치는 정해진 개수의 Q-omni 안테나 유형을 가지고 통신함. 전송 Q-omni 유형을 $Q^{(d,t)}$ 로, 수신 Q-omni 유형을 $Q^{(d,r)}$ 로 표시하며, d는 장치 인식자로서 d=1인 경우 PNC를 의미함. 전송 Q-omni 개수를 $I^{(d,t)}$, 수신 Q-omni 개수를 $I^{(d,r)}$ 로 표시함.
- QT(Quasi omni training) / ST(Sector training) 시퀀스: long 프리앰블이 사용됨. 지향성 안테나를 사용하는 PNC는 비콘 패킷을 피코넷에 속한 모든 장치들에게 전달하기 위해, $I^{(1,t)}$ 개의 Q-omni 방향으로 반복하여 비콘 패킷을 전송하여야 한다. 피코넷에 속한 장치는 하나 이상의 비콘 패킷들을 수신할 수 있는데, 수신된 모든 비콘 패킷들에 대한 링크 품질을 측정하여 최적의 비콘 전송 방향을 찾아야 한다. 만약 해당 장치도 지향성 안테나를 사용하는 경우이면, 장치는 PNC로부터의 최적 수신 방향을 찾아야 하며, 이는 수 개의 슈퍼프레임에 걸쳐

진행될 수 있다. 이 때 PNC가 선택적으로 전송할 수 있는 QT 시퀀스들과 ST 시퀀스들을 활용할 수 있다.

장치가 PNC로부터 비콘을 수신하면, 비콘 메시지 정보를 활용하여 CAP 구간에서 association 요청 명령 프레임 전송해야 한다. 지향성 PHY를 위한 슈퍼프레임 구조에서는 association 요청 명령 프레임만이 전송될 수 있는 association CAP 구간을 따로 정의하여, 그 외 다른 명령 프레임이나 데이터 교환을 위해 사용될 수 있는 정규 (regular) CAP 구간과 분리하였다. Association CAP 구간은 PNC의 수신 Q-omni 유형 개수 $I^{(1,r)}$ 만큼 세분(세분된 Association CAP을 association sub CAP이라 함)되어 하나 이상의 슈퍼프레임에 걸쳐 제공된다. Association 요청 프레임을 전송하려는 장치 번호 2에 해당하는 장치는 자신이 제공하는 $I^{(2,r)}$ 개의 전송 Q-omni 유형 개수만큼 association 요청 프레임을 각 association sub CAP 마다 전송하게 되며, 이 때 최적의 PNC TX 방향을 통보하게 되며, 이 과정은 PNC로부터 association 응답 프레임을 수신할 때까지 계속된다. PNC는 특정 장치로부터 association 요청 프레임을 성공적으로 수신하게 되면, 해당 장치가 통보한 최적의 PNC TX 방향으로 association 응답 메시지를 전송하게 된다. 성공적인 association이 이루어지면, PNC와 해당 장

치는 상호 통신 가능한 Q-omni 방향 쌍을 학습하게 된다. 이후 PNC는 해당 장치에게 CTA를 할당하여 최적의 Q-omni 방향 쌍 학습을 위한 동작을 수행하게 된다. 이를 통해, 해당 장치는 PNC가 제공하는 정규 CAP 중에서 PNC와의 최적 전송 방향에 해당하는 정규 sub-CAP 구간을 이용하여 다른 명령 프레임들을 전송하게 되고, 그에 대한 응답으로 PNC와의 최적 수신 Q-omni 방향을 사용할 수 있게 된다. Association 단계에서 발견된 안테나 방향 조합은 CAP에서의 가능한 충돌로 인해 최선 조합이 아닐 수 있기 때문에, PNC는 채널이 여유로울 때 최선 및 차선 안테나 방향 조합을 찾기 위한 CTA를 할당할 수 있다. 할당된 CTA 구간을 사용하여 PNC와의 통신을 위한 DEV의 Q-omni 학습 과정과 Q-omni 추적 과정을 통한 빔 형성 프로토콜이 운용된다.

또한 두 개의 동등 개체 장치들이 정규 CAP 구간에서 데이터 통신을 할 수 있는데, 이 때 서로를 지향하는 안테나 방향들을 알지 못하므로, 두 장치들은 PNC의 도움을 받아 빔-형성 과정을 수행할 수 있다. 정규 CAP 구간에서 지향적 동등 개체 통신을 지원하기 위해, 소스 장치는 Announce 명령 프레임을 전송할 수 있고, PNC는 비콘을 통해 두 장치가 지향적 동등 개체 통신을 위해 정규 CAP을 사용할 수 있음을 통보해야 한다. 소스와 목적지 장치는 PNC로부터 수신된 비콘을 통해 정규 CAP 사용 인가를 확인



(그림 6) 지향성 PHY 지원 슈퍼프레임 구조

한 후, 정규 CAP 내에서 안테나 방향들을 조정하여 상호 통신할 수 있다.

DEV-DEV 간 통신에서도, 먼저 빔 형성을 위한 CTA를 할당 받아 상호 간의 송/수신 최적 방향을 찾은 후에, 데이터를 위한 CTA를 할당 받아 통신하게 된다.

6. 결론

본 고에서는 무선에서 Multi Giga bps 속도를 실현하는 IEEE 802.15.3c 표준 기술에 대해 살펴 보았다. 본 표준은 밀리미터 파장 길이를 갖는 주파수 대역 중에서도, 전 세계적으로 비허가 대역으로 사용될 수 있는 57GHz~66GHz 대역을 사용하는 규격으로, 채널 당 2.16GHz의 초광대역 주파수 자원을 활용함으로써 손쉽게 Giga bps급의 전송 속도를 제공할 수 있다. 하지만, 표준 규격에서 세 가지 PHY를 정의함으로써 인해, 서로 다른 PHY 장치 간의 공존 문제가 대두된다. 또한 60GHz 대역의 신호 전파 특성과 저전력의 제한 위에서 보다 멀리 안전하게 통신하기 위해서, 지향성 안테나를 사용할 수 밖에 없지만, 이로 인해 기존의 IEEE 802.15.3 기반의 슈퍼프레임 구조를 변경할 필요가 제기된다. 본 고에서는, 이러한 문제들을 해결하는 IEEE 802.15.3c 기능들을 소개하였고, 이와 함께 무압축 비디오의 보다 효율적인 통신 방법에 대해서도 기술하였다.

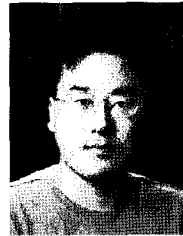
참고문헌

[1] IEEE P802.15.3c/D07, Part 15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)-Amendment 2: Millimeter wave based Alternative Physical Layer Extension, March 2009.

[2] IEEE Std 802.15.3-2003, Part 15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), September 2003.

[3] IEEE Std 802.15.3b-2005, Part 15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)-Amendment 1: MAC Sublayer, May 2006.

저자약력



홍승은

1997년 고려대학교 전자공학과 학사
 1999년 고려대학교 전자공학과 석사
 2003년 고려대학교 통신시스템기술학과 박사
 2003년~2005년 삼성전자 통신연구소 책임연구원
 2005년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야 : 유/무선 PHY/MAC 프로토콜, 60GHz Beamforming 제어
 이 메 일 : iptvguru@etri.re.kr



이우용

1989년 고려대학교 전자공학과 학사
 1991년 KAIST 전기및전자공학과 석사
 1997년 KAIST 전기및전자공학과 박사
 1997년~현재 한국전자통신연구원 초고속무선통신연구팀장
 관심분야 : 유/무선 PHY 프로토콜, 60GHz RF 집적화
 이 메 일 : wylee@etri.re.kr