

## 차세대 무선랜 기술 동향

장경훈, 이동준 (삼성종합기술원)

### 1. 서론

1980년 이후 데이터 네트워크의 주요 접속 기술인 Ethernet을 비롯한 근거리 통신망 규약의 표준화를 맡고 있는 IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee (LMSC)에서는 1991년 처음으로 무선 구간에서의 LAN 기술을 연구하는 802.11 Working Group (WG)을 결성한 이래 지속적으로 무선 LAN 기술의 표준화 작업을 선도해 오고 있다.

그 첫 성과로서 1997년 적외선 (Infra-red: IR) 무선 링크 및 2.4GHz 대역의 ISM (Industrial Scientific and Medical) band를 사용하여 direct-sequence spread spectrum (DS-SS)과 frequency-hopping spread spectrum (FH-SS)의 2가지의 대역 확산 통신 기법을 지원하는 물리계층 (PHY: Physical Layer)과 기존의 Ethernet에서 사용되는 CSMA/CD 접속 방식을 무선 환경에 적합하게 수정한 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 매체 접속 제어 (MAC: Medium Access Control) 계층으로 이루어진 802.11 표준을

승인하였다. 확정된 표준 방식에 포함된 PHY 계층 접속 방식은 모두 1Mbps와 2Mbps 두 가지의 데이터 전송 모드를 무선 링크로 제공하게 되었다. 당시 일부 비 표준 방식으로 시장에서 유통되던 2.4GHz 대역의 무선 LAN 제품들을 위한 표준을 마련하였다는 점에서는 의미가 있었으나 유선 Ethernet 표준화 기구인 802.3 WG에서 훨씬 낮은 비용으로 각각 10Mbps와 100Mbps를 제공하는 10-Base-T와 100-Base-T의 접속 방식이 이미 표준화되어 있던 상황인 관계로 큰 상업적 성공은 거두기 어려웠다.

그 후 1999년 DS-SS 방식에 기반한 802.11 물리계층과 후방 호환성 (backward compatibility)을 유지하며 CCK (Complimentary Coded Keying) 변조 방식을 적용, 최고 11Mbps의 데이터 전송률을 지원하는 802.11b 표준이 완성되었고 비슷한 시기에 직교 주파수 분할 다중화 (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조 방식을 도입하여 5GHz 대역의 U-NII band에서 최고 54Mbps의 전송 속도를 지원하는 802.11a 표준이 승인되었다. 802.11b 표준은 최고

2Mbps의 낮은 전송 속도로 인해 정체되어 있던 무선 LAN 시장을 활성화하는 동시에 당시 널리 사용되고 있던 유선 기반의 10-Base-T Ethernet 접속 방식을 대체할 수 있는 무선 LAN 기술로 주목을 받기 시작하였다. 802.11a 표준의 경우 최고 전송 속도가 802.11b의 다섯 배 정도로 대폭 증가되었고 또한 2.4GHz 대역의 간섭 문제를 해결할 수 있다는 장점에도 불구하고 기존의 802.11b와 후방 호환성이 보장되지 않는다는 문제로 인해 관련 제품 시장의 성장이 상대적으로 부진한 결과를 초래하였다. 하지만 2003년에 2.4GHz 대역에서의 고속 전송 무선 방식 표준화를 표방한 802.11g Task Group (TG)이 표준안을 최종 승인하면서 802.11b와 호환이 가능하면서도 OFDM 기반의 802.11a와 동일한 전송 속도를 지원하는 무선 LAN 장비들이 출시되며 무선 LAN 시장은 급격한 성장을 보이게 된다.

802.11a와 g의 표준안 승인으로 54Mbps의 높은 데이터 전송 속도를 갖는 무선 LAN 표준이 도입되었음에도 불구하고 고품질의 영상 전송과 같은 다양한 종류의 multimedia 서비스를 무선 네트워크로 제공하려는 시도가 나타나면서 실제 application이 유효하게 사용 가능한 데이터 전송 속도인 throughput<sup>1)</sup>은 PHY에서 제공하는 전송 속도에 비해 상대적으로 매우 낮다는 문제점이 제기되었다. 이처럼 높은 throughput을 필요로 하는 서비스를 효과적으로 처리하기 위해 802.11e와 같은 TG에서 MAC 계층 프로토콜의 보완을 시

도하는 작업을 진행하고 있으며 마침내는 2003년에 PHY 계층과 MAC 계층을 동시에 수정하여 throughput을 최소 100Mbps 이상 제공할 수 있는 표준안 제정을 위해 TG 802.11n (이후 TGn)이 결성되었다. 2002년 9월에 조직된 High Throughput Study Group의 활동을 승계한 TGn은 표준 제안서 제출을 위한 문서들을 확정된 후 2005년 1월 현재 2회에 걸친 voting을 통해 각각 TGn Sync와 WWiSE로 불리는 alliance들이 제출한 최종 2개의 표준 제안서만을 남겨두고 있다.

본 논문에서는 현실적으로 802.11 TGn에서 기술 표준으로 채택될 가능성이 높은 2개의 제안서를 분석함으로써 차세대 무선 LAN 표준에 적용될 기술들을 PHY, MAC 계층 양 측면에서 고찰해 보고자 한다. 제 II장에서는 TGn 표준화 활동의 진행 상황을 좀 더 상세하게 살펴보도록 하고 제 III장과 IV장에서는 현재 기술 표준안의 기반이 될 것이 유력한 TGn Sync 및 WWiSE alliance의 제안서에 포함된 PHY, MAC 계층 기술을 각각 구체적으로 서술하고 제 V장에서 결론을 맺도록 한다.

## II. 802.11n 진행 현황

MIMO-OFDM 기술에 대한 상용화 연구가 활발히 진행되면서 2004년 5월 IEEE 802.11 회의를 기점으로 많은 회사들이 각자의 802.11n 제안 규격을 발표하겠다는 의사를 표명했으며 몇 개 회사들은 연합 그룹을 형성하여 802.11n 규격 발표 의사를 표명하였다. 연합 그룹으로는 컴퓨터, 가전, 통신 등 다양한 업체들로 구성된 TGnSync 그룹과 전통적인 802.11 칩셋 메이커들로 결성된

1) Throughput은 다양한 방법으로 정의가 가능하나 본 논문에서는 특별한 언급이 없는 한 MAC 계층이 상위의 LLC 계층과 접속하는 MAC Service Access Point (SAP)에서 측정된 양을 가리키는 것으로 한다.

WWiSE 그룹이 가장 유력한 후보로 등장하게 되었다. 그 외에 Mitubish와 WWiSE로부터 탈퇴한 Motorola로 뒤늦게 구성된 MitMot 그룹이 있다.

2004년 9월 회의에서 TGnSync 그룹, WWiSE 그룹, MitMot 그룹, Qualcomm이 각각 complete proposal을 발표하였고, Nokia, Nortel, Sharp, Samsung, ETRI 등이 제안한 28개의 partial proposal들이 발표되었다. 이들 partial proposal들은 MAC 또는 PHY 만을 다루는 부분적 제안 규격으로 2004년 11월 회의를 거치면서 기존 4개의 complete proposal에 부분적으로 병합되거나 사라지게 되었다. 2004년 11월 회의에서 4개의 complete proposal에 대한 25% 이하의 득표를 얻지 못하면 탈락되는 “low hurdle vote(투표자가 여러 개의 제안규격에 찬성투표를 할 수 있음)”를 실시한 결과 전체 266표 중 TGnSync가 73.68%, WWiSE가 64.44%, Qualcomm이 59.77%, MitMot가 47.37%로 모두 통과 되었다. 2005년 1월 회의에서는 Qualcomm이 TGnSync에 합류함과 동시에 자신의 complete proposal을 철회하였고 MitMot 연합 그룹의 멤버인 Mitubishi는 MitMot의 소유권을 포기하고 TGnSync 합류를 선언하게 되었다. 따라서 최종 3개의 complete proposal 중 하나의 제안서를 탈락시키는 “down-select vote(투표자가 1개의 제안규격에 찬성투표를 해야 함)”를 실시하게 되었고 총 239표 중 9.62%의 득표를 한 MitMot가 탈락되어 TGnSync(55.23%)와 WWiSE(35.15%) 제안서만 남게 되었다. 이 당시만 해도, TGnSync 그룹이 다소 우세해 보였으나 1월 회의에서 탈락한 Motorola가

2005년 2월에 다시 WWiSE 그룹으로 재가입하게 되면서 팽팽한 균형이 이뤄지게 되었다. 이러한 균형이 IEEE 802.15.3a의 끝없는 공전의 악몽으로 재현될 우려를 의식한 두 그룹은 각 제안 규격의 병합을 염두하기 시작하게 되었다. TGnSync는 채널 사용대역 측면에서 WWiSE는 지적소유권 정책 측면에서 서로 상이한 입장을 견지했으나 2005년 2월경에 TGnSync는 채널 사용대역 측면에서 WWiSE와 동일하게 입장을 변경하였고, WWiSE는 지적소유권 정책 측면에서 TGnSync와 동일하게 입장을 변경하였다. 그 밖에도 여러 기술적인 측면에서 TGnSync 제안 규격과 WWiSE 제안 규격간의 병합을 조심스럽게 검토하고 있다. 2005년 3월 회의에서는 두개의 complete proposal에 대해 최종 “down-select vote”를 실시하여 하나의 제안 규격을 선정할 예정이며 선정된 규격을 802.11n의 baseline으로 채택시키기 위해서는 75% 득표를 얻어야 하는 “confirmation vote”를 실시하게 된다. 이 때의 결과에 따라 향후 802.11n 표준화의 향방이 결정될 것으로 예측된다.

우선, 802.11n의 기술 향방을 예측해 보기 위해서는 TGnSync 그룹과 WWiSE 그룹의 제안 규격 특징을 살펴보도록 한다.

### 1. TGnSync 그룹

이 그룹은 2004년 3월경 Intel, Agere, Sony, CISCO 등이 주축이 되어서 시작되었고 5월 이후 Atheros, Toshiba, Philips 등이 합류했으며 7월 이후 Samsung, Nokia, Nortel 이 합류하게 되었다. 9월 발표 이후

Parasonic, Marvell, Sanyo가 합류하고 11월 회의 이후 Qualcomm, Mitubish, Sharp 등이 합류하여 현재는 20여개의 회원사로 구성된 대규모 연합 그룹이 되었다.

TGnSync 제안서<sup>[12]</sup>의 mandatory 기술과 optional 기술을 살펴보면 다음과 같다.

• Mandatory Features:

- 1 or 2 Spatial Streams
- 20MHz channelization
- 1/2, 2/3, 3/4, and 7/8 channel coding rates
- RX assisted Rate Control
- Optimized Interleaver for 20 & 40MHz
- 400ns & 800ns Guard Interval
- Full & seamless interoperability with a/b/g
- MAC level aggregation
- RX assisted link adaptation
- QoS support (802.11e)
- MAC header compression
- Block ACK compression
- Legacy compatible protection

• Optional Features:

- 40MHz channelization
- Transmit Beamforming
- Low Density Parity Check (LDPC) Coding
- support for 3 or 4 spatial streams
- Bi-directional data flow
- MIMO RX Power management

2005년 2월 이전까지만 해도 WWiSE와 가장 첨예하게 대립되었던 부분은 40MHz 채널 사용 방안이다. TGnSync는 mandatory,

WWiSE는 optional을 주장했으나 최근 TGnSync에서 optional로 입장을 선회함으로써 이에 대한 더 이상의 논쟁은 사라지게 되었다. TGnSync 규격은 성능 향상과 견고성(robustness)이 비교적 잘 고려된 점이 높게 평가되고 있으나 지나친 성능 향상 기술로 인해 복잡하다는 부정적인 견해도 있다.

## 2. WWiSE 그룹

이 그룹은 전통적으로 802.11b에서 시장을 독점하다시피 한 Conexant, 802.11g 시장 선점에 성공한 Broadcom, MIMO-OFDM 기술 상품화에 가장 발빠른 Airgo가 실제적인 핵심 회원으로 볼 수 있다. 그리고 802.11 칩 생산 경력이 있는 TI와 STMicroelectronic를 포함해서 5개 정도의 회원사로 출발한 WWiSE는 9월 회의를 거치면서 Buffalo, ETRI, Hughes Networks, RealTek, TrellisWare, Winbond가 합류함으로써 2005년 1월 기준 11개 회원사를 갖게 되었다. 그리고 뒤늦게 2005년 2월에 Motorola가 합류하게 되어 현재 12개 회원사를 갖고 있다.

WWiSE 제안서<sup>[13][4]</sup>의 mandatory 기술과 optional 기술을 살펴보면 다음과 같다.

- 2 transmitters in 20 MHz mandatory
- Rates 54, 81, 108, 121.5, 135 Mbps
- Optional 40 MHz counterparts of all 20 MHz modes
- Optional extensions to 3 and 4 transmit antennas
- Optional space-time block codes for longer range

- Optional LDPC code
- MAC: HTP burst, aggregation, extended Block

2004년 11월까지만 해도 TGnSync와 첨예하게 대립되었던 부분 중 하나가 지적소유권 정책에 대한 입장이었다. TGnSync는 RAND(Reasonable And Non-Discriminatory)를 WWiSE는 RAND-Z(Reasonable And Non-Discriminatory or Zero)를 고수하고 있었다. 그러나 2005년 2월에 WWiSE가 RAND로 선회하면서 이 부분에 대한 논쟁도 사라지게 되었다.

WWiSE는 정통적인 802.11칩셋 메이커들답게 복잡한 기능 대신 간단한 기능을 최소 수준으로 추가하여 MAC SAP에서의 100Mbps 수준을 달성해 보이겠다는 의지가 강하다. 특이한 사항으로서는 green field(11n만 존재하는 영역)와 mixed mode(11n과 legacy 11 장치가 공존하는 영역)를 구분하여 설계함으로써 효율을 극대화하고자 하는 개념을 사용하고 있다. 그러나 이에 대해 비현실적이고 견고성이 떨어질 수 있다는 부정적 견해도 있다.

### III. TGn 물리계층 기술 분석

IEEE 산하의 모든 TG는 본격적인 기술 표준의 초안 작성에 앞서 Study Group 활동을 통해 해당 TG에서 표준화하고자 하는 기술의 내용과 그 목적 및 범위, 표준 활동 기간 등이 정리되어 있는 PAR (Project Authority Request) 문서와 해당 기술이 표준화되어야 하는 타당성을 여러 가지 관점에서 정리, 요

약한 5 Criteria 문서를 WG에 제출하여 승인을 받는 절차를 거쳐야 한다. TGn이 High Throughput Study Group 활동을 통해 확정된 PAR 문서에 나타난 표준화하려는 기술의 목표는 앞서 간략히 설명한 바와 같이 MAC SAP에서의 throughput을 최소 100Mbps 이상 지원하는 동작 모드를 갖도록 baseline이 되는 기존의 802.11 계열의 PHY와 MAC을 동시에 수정하는 것이다.

현재 802.11 계열의 MAC이 갖는 효율이 4-50%의 수준이라고 가정하였을 때 PHY 계층에서의 데이터 전송 속도는 200Mbps 이상이 되어야 한다고 대략적으로 계산할 수 있다. 이 목표를 달성할 수 있는 기술은 여러 가지가 있을 수가 있으나 제안되는 기술들의 완성도를 평가하기 위해 PAR 문서는 몇 가지 기준이 될 수 있는 항목들을 제시하고 있는데 이 가운데서 가장 중요한 것 중의 하나가 얼마나 주어진 대역을 효율적으로 사용하는가를 알려주는 주파수 효율 (spectral efficiency)이다. 대부분의 경우 특정한 통신 방식의 주파수 효율은 단위 주파수당 비트 전송률, 즉 bps/Hz로 측정되는데 TGn 그룹의 PAR에서는 최소 3bps/Hz 이상의 주파수 효율을 갖도록 규정하여 초 광대역 통신(Ultra-Wideband Communication)과 같은 단순한 대역폭의 확장을 통한 데이터 전송률 증가 기술은 배제하도록 하였다.

현재까지 알려진 통신 기법 중 주파수 효율을 가장 획기적으로 향상시킬 수 있는 방법은 2개 이상의 다중 안테나를 사용하는 것인데 TGn에 제출된 거의 대부분의 제안서가 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 알고리즘으로 통칭되는 이 기법을 채용하였

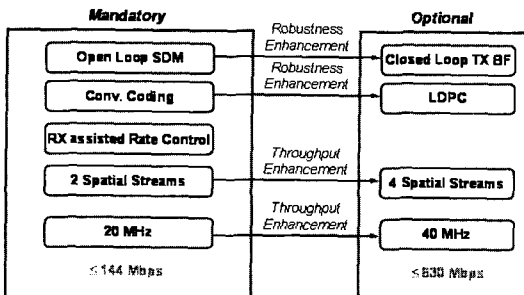
다. 현재 남아 있는 2개의 제안서 또한 MIMO 방식에 근거하고 있으며 MIMO 알고리즘과 결합되어 사용될 경우 효율성이 증대되는 OFDM 계열의 802.11 PHY 계층을 근간으로 하여 그에 대한 개선을 목표로 하고 있다. 그 외에도 현재 802.11 계열의 PHY 계층에서 얻어질 수 있는 링크 성능을 향상시키기 위하여 LDPC (low-density parity check) 부호와 같은 새로운 종류의 채널 부호 및 공간 다이버시티 (spatial diversity) 기법 등이 제안되고 있다.

### 1. TGn Sync 그룹의 물리계층

TGn Sync 제안서에 나타난 PHY 계층의 핵심적 구성 요소는 아래 그림 1에 보인 바와 같이 요약될 수 있다. 현재의 실리콘 구현 기술 수준 및 TGn 표준화가 완성될 시점에서 적용될 수 있는 application 및 지역적인 무선관련 규제의 다양성을 고려하여 802.11 기반의 OFDM PHY에서 최소의 확장만으로 최대의 효과를 얻을 수 있는 요소들을 필수 (Mandatory) 표준으로 설정하였다. 이를 바탕으로 향후 구현 기술이 발달함에 따라 필수 표준 요소들이 지원하는 성능에 비해 대

폭 향상된 성능을 가져올 수 있는 요소 기술들이 선택(Optional) 표준으로 설정되어 필수 표준을 기반으로 한 구현으로부터 자연스럽게 확장될 수 있도록 하는 scalable architecture를 표방하고 있다.

필수 표준 항목에 포함된 요소 기술 중 OFDM 변조 방식을 사용하는 802.11 a나 g의 PHY 구조와 비교하여 추가된 부분 중 가장 중요한 것은 Open-loop 방식의 spatial division multiplexing (SDM) 기술이다. 이 방식은 Bell Lab에서 최초로 개발된 V-BLAST (Vertical Bell Labs Space-Time architecture) 알고리즘과 근본적으로 동일한 것으로 서로 독립적인 다수 개의 데이터 열을 서로 다른 안테나에 매핑하여 전송하여 송, 수신하는 방식이다. 필수 표준에서는 총 2개까지의 독립적인 공간 신호열 (Spatial stream)을 지원하며 공간 신호열의 개수  $N_{ss}$ 와 사용되는 안테나의 개수  $N_{Tx}$ 는 항상 동일하다. 사용하는 대역폭은 20MHz로 802.11 a/g와 동일하지만 사용되는 부 반송파의 개수는 56개로 802.11 a/g에 비하여 유효 데이터가 전송되는 반송파의 개수가 4개 증가하였다. 또한 802.11 a/g에서 사용되는 convolutional 부호의 부호화율은 1/2, 2/3, 3/4의 세 가지 종류이나 TGn Sync 제안서에는 5/6이 새로이 추가되어 링크 성능 측면에서 약간의 성능 저하를 감수하고 데이터 전송 속도 증가를 가져오게 하였다. 마지막으로 OFDM symbol 사이의 심벌간 간섭 (ISI: Inter-Symbol Interference)를 막아주는 동시에 심벌 내에서 반송파 간의 직교성을 유지하여 주어 반송파간 간섭 (ICI: Inter-Carrier Interference) 또한 감소시키는 역할을 하는



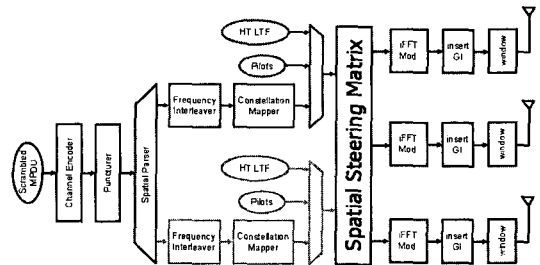
(그림 1) TGn Sync 제안서 PHY 개념도

보호 구간 (GI: Guard Interval)의 길이를 채널의 시간영역 응답이 비교적 짧은 TGN 채널 모델 B의 경우에는 800ns에서 400ns으로 줄여 추가적인 데이터 전송 속도 증가를 얻도록 하였다.

한편 선택 표준 사양에서는 모두 4개까지의 공간 신호열을 지원하게 되는데 공간 신호열의 개수와 사용되는 안테나의 개수가 동일한 경우에는 필수 표준 사양의 경우와 마찬가지로 서로 다른 신호열을 서로 다른 안테나를 통해 전송하는 direct mapping을 사용하게 된다. 이와는 달리 사용되는 송신 안테나의 개수가 신호열의 개수보다 많은 경우에는 아날로그 회로의 소비전력의 대부분을 차지하는 파워 증폭기의 전력 효율을 고려하여 주어진 개수의 공간 신호열을 직교 행렬의 열을 이용하여 그림 2에 나타낸 것과 같이 모든 송신 안테나에 고루 매핑하는 방법을 사용한다. 여기에는 Walsh 행렬이나 Fourier 행렬과 같은 일반적인 직교 행렬을 사용하여 매핑하는 직교 공간 확산 (Orthogonal spatial spreading) 기법과 데이터 전송에 사용되는 부 반송파 별로 각각 다중 안테나 채널의 singular value decomposition (SVD)을 통해 주어진 공간 신호열을 eigenmode로 매핑하는 송신기 beamforming (Transmitter beamforming) 기법<sup>2)</sup>의 두 가지가 있다.

SVD 분석을 사용하는 beamforming 기법을 수학적으로 표시하면 아래와 같다.  $H^{(k)}$ 를  $N_{rx} \times N_{tx}$ 의 크기를 갖는 k번째 부 반송파에서의 주파수 응답 특성이라고 할 때  $H^{(k)}$ 의 SVD

는  $H^{(k)} = U^{(k)} \Sigma^{(k)} V^{(k)H}$ 로 나타내어 지고  $\Sigma^{(k)} = \text{diag}(\sigma_0, K, \sigma_{N-1})$  ( $N = \min\{N_{rx}, N_{tx}\}$ )는 계산되어진 singular value들로 구성된 대각행렬,  $U^{(k)}$ 와  $V^{(k)}$ 는 각각,  $N_{rx} \times N$ ,  $N_{tx} \times N$ 의 크기를 가지는 직교 행렬이다. 행렬  $\Sigma^{(k)}$ 의 대각선에 위치한 singular value들이 크기의 내림 차순으로 정렬되어 있다고 하면  $N_k \leq N$ 인 경우에 해당하는 최적의 beamforming 행렬은  $Q^{(k)} = [V^{(k)}]_{N_{ss}}$ 로 주어진다.



(그림 2) 공간 확산 기법 (공간 신호열의 개수가 2개, 사용하는 안테나의 개수가 3개인 경우)

전자인 직교 공간 확산 기법의 경우 채널 상태 정보 (CSI: Channel State Information)를 송신기 측에서 갖고 있지 않아도 적용이 가능하나 후자의 경우에는 데이터 전에 참여하는 수신기 측에서 송신기 측에 CSI를 feedback하여 주어야 하는 closed-loop 방식이다. 정확한 동작을 위해서는 송신기에서 수신기 방향의 채널 상태를 수신기가 추정하여 채널 응답 행렬을 부 반송파별로 모두 feedback하여야 하나 송, 수신 모두 CSMA/CA 방식으로 접속하는 802.11 MAC protocol 하에서는 일정한 상수 값을 제외하면 송, 수신 측 양방향의 채널이 서로 동일한 주파수 대역을 점유하므로 reciprocity 정리가 성립한다고 가정할 수 있다. 따라서 수신

2) TGN Sync 제안서<sup>[13]</sup>에서는 직교 확산 기법은 Basic TX Beamforming, 송신기 beamforming은 Advanced TX Beamforming이라는 용어로 지칭된다.

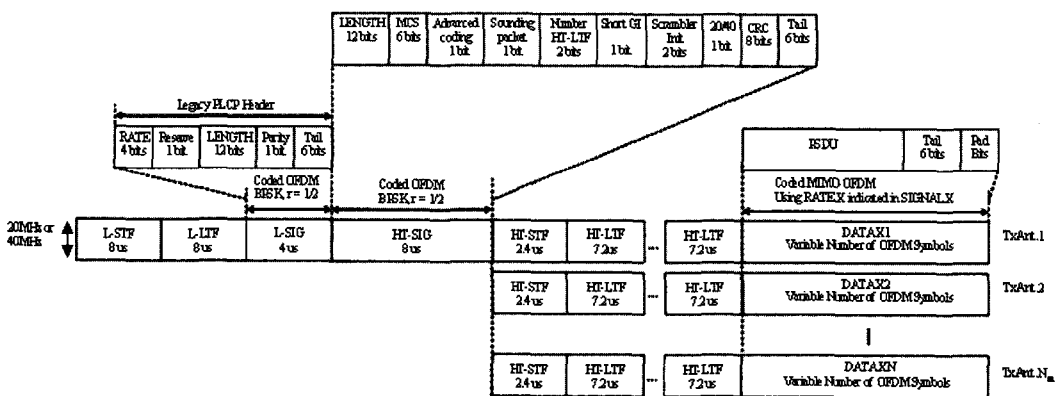
기는 부 반송파 별 채널 응답 행렬을 모두 feedback하지 않고 sounding packet이라고 불리는 특정한 형태의 packet을 송신 측의 요청에 따라 전송하여 송신기가 전송에 사용되는 채널의 상태를 reciprocity 정리를 사용하여 추정할 수 있도록 한다. 이 때 reciprocity 정리를 사용하여 추정한 채널의 값은 단말기의 송, 수신 path의 응답 특성의 차이로 인해 각 부 반송파 별로 상수 값만큼의 오차를 나타나게 되는데 calibration 과정을 통해서 매우 정확하게 이 값들을 계산하여 보상하여 줄 수 있다.

이 외에도 직교 확산 기법은 필수 표준 사양에 포함된 direct mapping을 기반으로 한 SDM 기법과 동일한 MCS (Modulation-Coding Scheme) 집합을 사용하는 반면 송신기 beamforming 기법을 위해서는 확장된 MCS 집합 (Extended MCS set)이 별도로 정의되어 있다. Extended MCS 집합은 최고 256QAM까지 eigenmode의 상태에 따라 사

용하게 되며 각 신호열 별로 동일한 채널 부호화율을 가지나 서로 다른 신호 변조를 갖는 MCS의 조합들로 구성되어 있다.

한 가지 주목할 점은 액세스 포인트 (AP: Access Point)가 아닌 단말기의 경우 송신할 때 beamforming을 이용한 전송은 직접 수행하지 않더라도 다른 단말로부터 beamforming되어서 전송된 신호는 수신할 수 있는 scenario (RX-only mode)의 지원이 가능하도록 설계되었다는 것이다. 이를 위해서 RX-only 단말기는 타 단말기 (주로 AP)의 요청에 따라 적절한 format의 sounding packet을 보내어 줄 수 있는 기능만을 추가하면 되며 송신 신호의 검출은 beamforming되지 않은 신호와 동일한 방법으로 수행할 수 있다.<sup>3)</sup>

TGn Sync 제안서에 나타난 PPDU (PHY layer Protocol Data Unit)의 형태를 살펴보면 그림 3에 나타난 바와 같이 크게 802.11 a/g에서 사용하는 'Legacy' 프리앰블, 다중



〈그림 3〉 TGn Sync 제안의 PLCP 구조

3) RX-only 단말은 송신기의 beamforming 행렬과 antenna-to-antenna 채널이 곱해진 'composite channel'을 추정할 수 있도록 설계되었으며 이 때 비교적 간단하면서도 최적의 Maximum Likelihood (ML) 신호 검출 기법에 비해 성능 열화가 적은 최소 자승 오차 (MMSE: Minimum Mean Squared Error) 수신기가 ML 수신기와 일치하게 된다.



안테나 채널 추정 등의 새로운 신호 처리를 지원하는 'HT' 프리앰블, 그리고 payload로 나누어 질 수 있다. Legacy 프리앰블은 TGn 표준 모뎀이 802.11 a/g 계열의 기존 표준 모뎀과 상호 연동 가능하도록 항상 PPDU 선두에 삽입되며 HT 프리앰블은 각 반송파별 MIMO 채널의 추정 (HT-LTF: HT Long Training Field), legacy 프리앰블 구간에서 추정된 AGC gain의 정확한 재보정 (HT-STF: HT Short Training Field), 각종 HT 관련 정보를 PHY 계층을 통해 수신기 측에 전달하는 역할 (HT-SIG: HT Signal Field) 등을 수행한다.

선택 표준 사양에서 또 다른 중요한 항목 중 하나는 40MHz 대역의 사용이다. TGn Sync 그룹이 최초 결성되었을 때는 40MHz의 사용을 필수 표준 사양에 포함시킴으로써 같은 양 만큼의 데이터 전송률 증가를 얻기 위해 사용하는 안테나 및 RF 회로의 개수를 증가시키는 방법보다 상대적으로 낮은 가격에 구현이 가능하도록 하였으나 후방 호환성 및 국제적 전파 규정의 불일치성에 따른 위험 부담 등 여러 가지 요인을 고려하여 40MHz 대역 사용을 선택 사양으로 전환하였다. 하지만 여전히 효율적인 관리를 통해 20/40MHz 사용자간의 채널 공유를 보장하는 기법들을 제안하고 있다.

## 2. WWiSE 그룹의 물리계층

WWiSE 제안서에 나타난 중요한 design principle 중의 한 가지는 802.11 a/g PHY를 기반으로 하되 다중 안테나 사용을 통한 기능 및 설계상의 변경을 최소화하는데 주안점

을 두었다는 것이다.<sup>[3]</sup> 그런 관점에서 보았을 때 필수 표준 사양 측면에 있어서 TGn Sync와의 뚜렷하게 드러나는 차이점은 거의 미미하다고 할 수 있다. WWiSE 제안서도 TGn Sync와 마찬가지로 기본적인 20MHz 채널에서 2개의 공간 신호열 까지를 SDM 기법을 통해 필수 표준 사양으로 제공하는 것은 동일하다. TGn Sync 제안과의 차이는 사용하는 부 반송파의 개수인데 WWiSE 그룹에서는 20MHz 대역폭의 경우 모두 52개의 데이터 부 반송파에 2개의 pilot, 40MHz 대역폭의 경우 모두 104개의 데이터 부 반송파에 4개의 pilot이 사용된다.<sup>[4]</sup> 이렇게 정의되는 WWiSE 제안서의 필수 표준 사양 데이터 전송 속도는 표 1에 나타난 바와 같다.

〈표 1〉 WWiSE 제안 필수 표준 양식의 데이터 전송 속도

PHY rate	Data carriers	Pilots	Code rate	Cyclic prefix, ns	Code	Constellation
54 Mbps	54	2	1/2	800	BCC	16-QAM
81 Mbps	54	2	3/4	800	BCC	16-QAM
108 Mbps	54	2	2/3	800	BCC	64-QAM
121.5 Mbps	54	2	3/4	800	BCC	64-QAM
135 Mbps	54	2	5/6	800	BCC	64-QAM

선택 표준 사양 또한 TGn Sync 제안과 매우 유사하다. 3, 4개의 공간 신호열을 SDM을 통해 제공하며 20MHz 대역폭의 확장 형태인 40MHz 대역폭 사용, 도달 거리 특성을 향상시키기 위한 LDPC 부호의 선택적 사용 등은 개별적인 알고리즘의 차이를 제외하면 동일하다. 다만 송신 측에서 송신 다이버시티를 얻기 위해 Alamouti 부호를 비롯한 시공간 블록 부호 (STBC: Space-Time Block Code)를 사용한다는 점이 차이점이라고 할 수 있다.

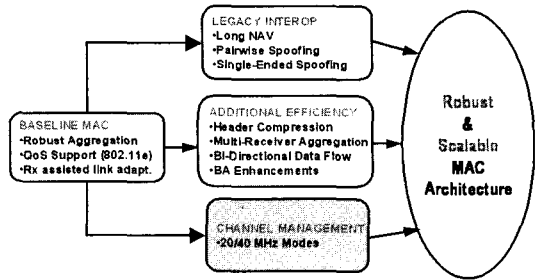
TGn이 표준화 과정에서 baseline으로 정의한 기존의 802.11 core를 되도록 유지하면서도 802.11 표준에 비해 동일하거나 우수한 링크 성능을 달성하여야 한다는 기준 외에 Wwise 그룹이 갖고 있는 또 다른 설계 상의 기준은 하나의 high throughput 표준 기술이 적용 가능한 모든 제품 영역에 골고루 우수한 성능을 제공하여야 한다는 점이다. 상대적으로 다양한 경로를 통해 기술적 접근이 많이 이루어진 가정용 multimedia 기기처럼 중요한 시장 영역임에도 불구하고 필요한 기술적 요구 사항에 대한 토의가 미비하였던 휴대 단말에 대한 고려가 최근 관심을 끌고 있는데 이러한 관점에서 Wwise는 최근 Motorola의 참여를 계기로 가장 최근의 기고문[5]에 휴대 단말의 기능적 요구 사항 보안을 시도하였다. 여기에는 기존의 Wwise 제안에 포함되어 있던 2(1 구조의 STBC 외에 3(1, 4(1의 단일 수신 안테나 모드에 대한 STBC에 대한 제안을 보강하여 휴대 단말에서 필요로 하는 적정한 PHY 데이터 전송 속도라고 판단되는 135Mbps의 안정적 제공을 주장하고 있다. 그 외에도 robust beacon 송신 모드를 추가하여 도달 거리에 대한 휴대 단말기기의 요구 사항을 반영하였다.

#### IV. TGn 의 매체접속제어 기술 분석

##### 1. TGnSync 그룹의 매체접속제어 기술

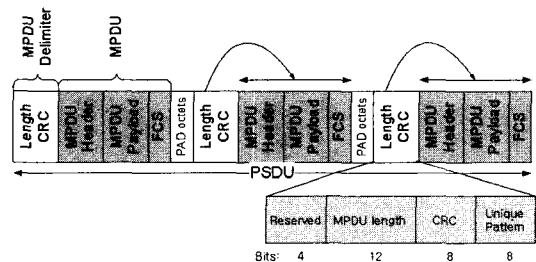
TGnSync 그룹의 MAC은 그림 4과 같이 확장형 구조를 가지고 있다.

TGnSync MAC은 IEEE802.11e QoS 기능을 지원함을 원칙으로 하고 aggregation 기능



〈그림 4〉 TGn Sync 제안서 MAC 개념도

과 Rx assisted link adaptation 기능을 기본으로 하고 있다. Aggregation 기능으로는 MPDU(MAC Protocol Data Unit)들을 하나의 패킷으로 통합하는 A-MPDU(Aggregate-MPDU) 방식과 MSDU(MAC Service Data Unit)들을 하나의 MPDU로 통합하는 A-MSDU(Aggregate-MSDU) 방식을 지원한다. 특히, A-MPDU내의 각 MPDU 앞에 4 옥텟 길이의 MD(MPDU Delimiter)를 둬으로써 임의의 MPDU가 손상되더라도 나머지 MPDU 복구에 영향을 끼치지 못하게 하는 것이 특징이다 (그림 5 참조).



〈그림 5〉 TGn Sync 제안의 A-MPDU 구성

또한 aggregation 패킷을 주고 받는 과정에서 Rx 링크 적응 기법, 자원 요청 및 할당, 연속 패킷 정보 제공 등을 지원하기 위해 IAC(Initiator Aggregation Control)과 RAC(Responder Aggregation Control)의 제

어 프레임들을 새로이 정의하고 있다.

Aggregation을 통한 자원효율을 극대화 하기 위해, A-MPDU내에 각 MPDU MAC 헤더 필드 중 중복되는 부분을 압축하는 “header compression 방식”과 목적 주소가 상이한 MPDU들을 하나의 A-MPDU내에 aggregation 할 수 있는 “multiple receiver aggregation 방식”, 양 방향 데이터 흐름 제어를 할 수 있는 “bi-directional data flow 방식”, 그리고 암시적 BA(Block Acknowledgement)과 동적인 BA 비트맵 압축 기법을 사용한 “BA enhancement 방식”이 추가로 제안되어 있다.

이러한 제안 방식들은 기존 802.11 장비들과 호환성을 유지해야 하는 데 이를 위해 세 가지 protection 방식들을 정의하고 있다. 그 하나는 Long NAV(Network Allocation Vector)를 사용해서 aggregation 패킷 교환 과정 동안 기존 legacy 단말들이 자원 접근을 불허하는 방식이다. 또 하나는 pairwise spoofing 방식으로서 두 단말이 aggregation 패킷들을 상호 교환하는 동안 legacy 단말들이 Rx mode를 유지하도록 해서 자원 접속 시도를 방지하기 위해 기존 802.11의 물리계층 헤더 내의 패킷 전송율과 길이 정보 필드를 적절히 조정해 주는 방식이다. 그리고 single-ended spoofing 방식은 하나의 단말이 여러 수신 단말들의 전송 시간을 할당 한 후 자신의 패킷과 해당 수신 단말들이 모두 송수신이 완료될 때까지 legacy 단말들을 Rx mode로 유지시켜 자원 접속 시도를 방지하기 위해 기존 802.11의 물리계층 헤더 내의 패킷 전송율과 길이 정보 필드를 적절히 조정해 주는 방식이다.

그 외에도 20MHz 단말과 40Mhz 단말들이

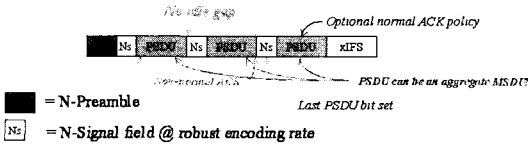
공존할 때 이들간의 동작 모드를 규정하고 있다.

## 2. WWiSE 그룹의 매체접속제어 기술

WWiSE의 MAC 규격은 신속한 규격화 및 제품화, 호환성을 위해 11n의 규격 확장을 최소화하고자 함을 특징으로 하고 있다. 반면 TGnSync 그룹에서는 11n 규격은 다소 복잡도가 증가되더라도 향후 1Gbps까지 자연스럽게 확장될 수 있도록 다양한 기술 시도를 접목할 수 있는 구조를 갖도록 설계되어야 한다는 입장이다. 그러나 두 그룹 모두 기존 802.11e 규격을 기본으로 하는 것은 동일하다.

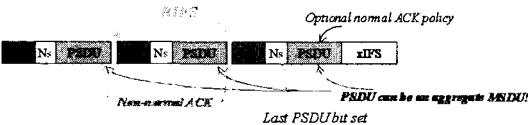
WWiSE MAC은 IEEE802.11e QoS 기능을 지원함을 원칙으로 하고 aggregation 기능과 BA enhancement 기능을 추가 제안하고 있다. Aggregation 기능으로는 MSDU들을 하나의 MPDU로 통합하는 aggregate MSDU 방식과 PSDU(PHY Service Data Unit)들을 연속적으로 전송하는 HTP Burst 방식을 지원한다. 특히, HTP-Burst 방식은 각 PSDU 앞에 전송율과 패킷 길이 정보를 포함하는 시그널 필드를 둬으로써 개별적 PSDU 디코딩을 가능하게 한다. 각 PSDU의 전력 수준 및 PHY 구성방식이 동일한 경우 ZIFS(Zero Inter-Frame Space: 0usec) 간격으로 PSDU들을 연속적으로 전송할 수 있다. 반면 PSDU 간의 전력 수준 또는 PHY 구성방식이 다를 경우, RIFS(Reduced IFS: 2usec) 간격으로 PSDU들을 연속적으로 전송하게 된다. 그림 6은 동일한 전력 수준과 PHY 구성 방식을 갖는 PSDU들을 연속적으로 전송하는 HTP

burst 방식의 예를 보여주고 있다. 각 PSDU는 PHY 헤더로  $N_s$ (= 11n signal field)를 포함하고 선두 PSDU는  $N_p$ (=11n preamble)을 포함한다. 마지막 PSDU는  $N_s$  내에 "Last PSDU bit" 를 1로 설정함으로써 HTP Burst를 종료한다.



〈그림 6〉 WWiSE 제안서 PPDU 구성 (동일 전력수준 및 PHY 구성을 갖는 PSDU로 구성)

그림 7은 PSDU간의 전력 수준 또는 PHY 구성방식이 다를 경우의 예를 보여주고 있다. 모든 PSDU는  $N_s$ 와  $N_p$ 를 모두 포함하게 되고 RIFS간격을 두고 연속적으로 전송하게 된다.



〈그림 7〉 WWiSE 제안서 PPDU 구성 (상이한 전력수준 또는 PHY 구성을 갖는 PSDU로 구성)

그 외에도 HTP burst 구간에서 BAR(BA Request)에 대한 ACK와 BA에 대한 ACK를 제거함으로써 자원효율을 증가시키는 방법을 사용하고 있다.

### V. 결론 및 향후 전망

차세대 무선통신에 대한 다양한 정의 및 견해 속에서도 꾸준한 실질적인 연구와 표준

화 및 상용화 노력으로 무선랜은 차세대 nomadic 무선 통신 시스템의 대안으로 강력히 부상하고 있다. 그 중 IEEE 802.11n은 무선랜을 차세대 시스템으로 도약하게 하는 견인차 역할을 담당하고 있다. 그 외에도 차세대 시스템으로서의 다양한 응용을 위해 무선랜을 이용한 메쉬망으로의 응용, 3G망과의 연동, 차량-도로변 통신, 고속 핸드오프 등 다양한 기술 표준화 노력이 802.11s, 802.11u, 802.11p, 802.11r 등에서 진행되고 있다.

본 논문에서는 802.11n의 진행 과정과 차세대 nomadic 시스템으로서의 무선랜 기술의 방향을 예측할 수 있도록 TGnSync 및 WWiSE 그룹의 규격 제안서의 기술적인 특징들을 살펴보았다.

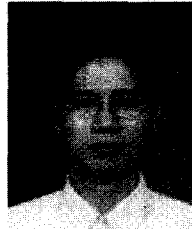
IEEE 802.11n은 2005년 3월 회의에서 1차 confirmation vote를 실시할 것이다. Confirmation vote를 통한 Baseline 확정 시기는 결국 두 그룹간의 병합 작업이 언제 이루어지느냐에 달려 있다고 할 수 있다. 현재로서는 두 그룹간의 규격 제안 기술이 병합되기에 걸림돌이 되는 사항들이 현저히 줄어들었지만 병합 작업의 주도권 확보를 위해 7월 회의 이후에나 baseline 확정이 가능할 것으로 예측된다. 또한 이러한 일정대로라면 2006년 7월 이후에 11n draft 1.0이 승인 완료될 것으로 보이고 본격적인 11n chip 출시 경쟁은 2006년 4사분기부터 시작될 것으로 예상된다. 이러한 기술적 노력이 예상대로 진행된다면 2007년부터는 11n chip을 장착한 A/V용 정보가전제품, 핸드폰, PDA 등의 다양한 제품들이 초고속 무선 영상/음성/데이터 서비스 등 다양한 콘텐츠로 장식

하여 소비자들에게 다가갈 것이다.

### 참고 문헌

- [1] IEEE 802.11/04-0889r2, "TGnSync Proposal Technical Specification."
- [2] IEEE 802.11/04-0888r8, "TGnSync Complete Proposal."
- [3] IEEE 802.11/05-1591r2, "WWiSE IEEE 802.11n Proposal."
- [4] IEEE 802.11/04-886r6, "WWiSE Proposal: High Throughput Extension to the 802.11 Standard."
- [5] IEEE 802.11/05-0150r0, "WWiSE IEEE 802.11n Proposal."

### 저자소개



장 경 훈

1998년 3월 - 1999년 2월 고려대학교 정보통신공동 연구소 연구교수  
 1999년 3월 - 2001년 2월 삼성전자 중앙연구소 책임 연구원  
 2001년 3월 - 현재 삼성종합기술원 디지털 연구소 전문 연구원  
 주관심 분야 매체접속제어 기술, 자원제어관리 기술, 무선랜 기술



이 동 준

2000년 2월 - 2002년 5월 Member of Technical Staff, Aware, Inc.  
 2002년 5월 - 현재 삼성종합기술원 디지털 연구소 전문 연구원  
 주관심 분야 디지털 통신 이론, 무선랜 기술