



LTE 단말 모뎀 기술 및 동향

김정호 (삼성전자)

I. 서론

세계 이동통신시장 점유율 80% 이상을 차지하는 비동기 이동통신방식은 그 동안 GSM으로부터 시작하여 EDGE, WCDMA, HSDPA, HSUPA를 거쳐서 광범위하게 확장되고 있다. 그러나 최근 다양한 Contents 보급에 비례해서 급격하게 늘어나는 소비자들의 광대역 서비스에 대한 요구사항과 보다 높은 주파수효율을 필요로 하는 사업자들의 요구사항에 따라서 광대역을 기반으로 하는 비동기방식 이동통신 차기 규격인 3GPP LTE (3rd Generation Partnership Project - Long Term Evolution)가 이동통신 업계에서 큰 관심분야로 부상하고 있다.

3GPP LTE 표준규격은 현재도 표준기구에서 진행 중이며 2009년 1분기를 목표로 상위계층 규격제정이 진행 중이다. 이와 더불어 이동통신 업계에서는 최근 LTE 상용화를 보다 빠르고 안정되게 성공시키고자 NGMN (Next Generation Mobile Networks) 및 LSTI (LTE/SAE Trial Initiative - Long Term Evolution/System Architecture Evolution Trial Initiative) 등의 단체활동을 통하여 사업자들이 요구하는 시스템

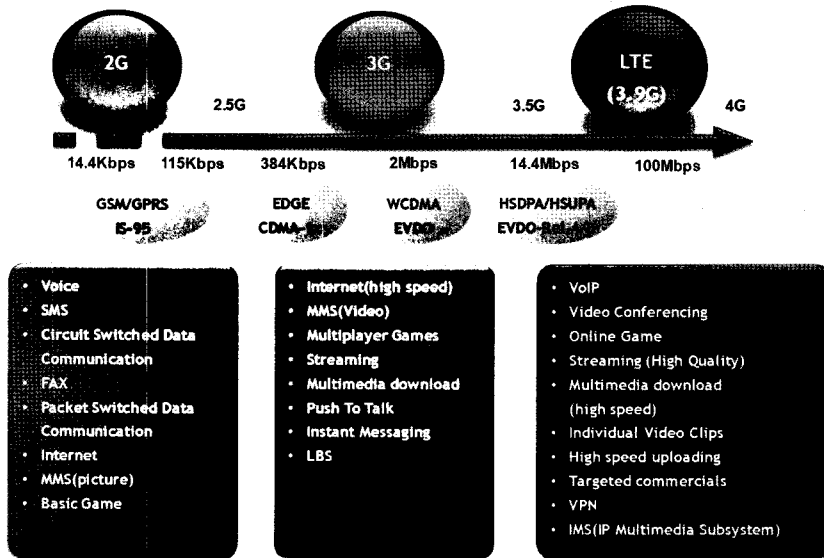
및 단말의 사양을 조기에 확정하고 또한 LTE 상용화를 위한 시범서비스를 여러 사업자와 제조업체들이 연합하여 추진하는 활동을 진행 중이다. 이는 과거 WCDMA 상용화 당시 상용시스템 안정화 지연의 원인이 되었던 중점분야들을 사전에 파악하여 해결하고자 하는 사업자들과 제조사들의 공감대로부터 시작되었다.

본 논문에서는 이러한 LTE 관련된 규격진행 현황 및 산업체의 주요 동향, 특히 LTE 유관단체들이 추진하는 주요 활동을 파악하고, LTE 요소 기술 및 모뎀기술에 초점을 맞추어 기술하고자 한다.

II. LTE 표준현황 및 업계동향

1. 3GPP LTE 주요 기능

LTE 서비스는 20MHz 대역폭을 기준으로 최소 요구사항으로 하향 데이터 속도 100Mbps 이상이 요구되며 실제 구현된 시스템을 기반으로 2x2 MIMO를 사용하는 경우 약 140Mbps 이상을 지원 가능한 것으로 여러 업체들에 의해서 입증된



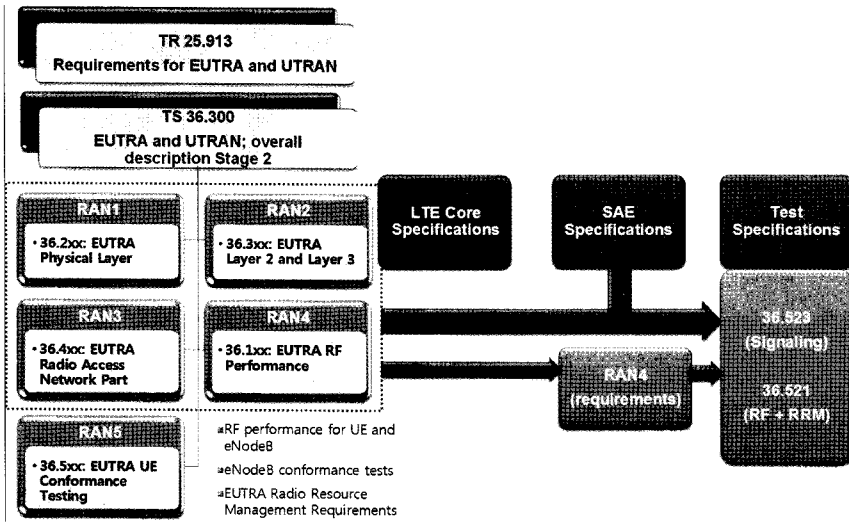
(그림 1) 이동통신 시스템의 진화 단계

바 있다. 상향 링크의 경우도 50Mbps 이상의 최대 데이터 속도를 제공하고 있다. 셀 용량 측면에서도 사업자들은 최소 200명에서 400명의 동시 사용자를 고려하고 있으며, 주파수 사용효율을 기존 HSDPA (2x2 MIMO 기준) 대비 3~4배 이상의 개선을 요구하고 있다. 특히 시스템 대역폭에 있어서 LTE는 매우 유연한 요구사항을 가지며 GSM 대역폭 지원을 위한 1.4MHz부터 UMTS-extend 대역 지원을 위한 20MHz 대역폭까지 다양한 주파수 대역폭을 지원한다. 특히 LTE가 추구하는 중요한 기능으로 LTE 망과 단말 사이의 Latency를 줄이고자 기존 WCDMA와 달리 망 구조를 2 단계의 Flat 구조로 변형하고 TTI (Transmission Time Interval)도 1msec로 단축하는 등 다양한 노력을 하였다. 물론 사업자들도 LTE Latency 요구사항을 최대 10msec 이하로 요구하고 있다. 물리채널 성능개선을 위해 Closed Loop MIMO를 채택하였으며 Pre-

coding 기법이 적용되었다.

2. 3GPP LTE 표준 현황

3GPP LTE RAN1 (Radio Access Network 1) 물리채널 규격은 2008년 9월 기준으로 모든 기능들이 완성이 되었으며 최종규격 Release 이전에 세부검토를 통한 CR (Change Request)이 활발히 진행 중이다. 그러나 MAC 계층을 포함한 RAN2 상위계층 규격은 현재도 진행 중이며 표준 기구의 일정에 따르면 2009년 3월말에 ASN.1 (Abstract Syntax Notation #1) Release를 포함하여 RRC (Radio Resource Control) 관련 규격이 완료될 예정이다. 특히 RRC 규격은 당초 LTE 규격작업 당시에 계획한 일정 대비 많이 지연된 상태이며 이를 조기에 완성하고자 활발한 활동이 진행 중이다. 단말의 요구사항과 관련된 RAN4 및 RAN5의 규격은 2008년 말에 승인이 되



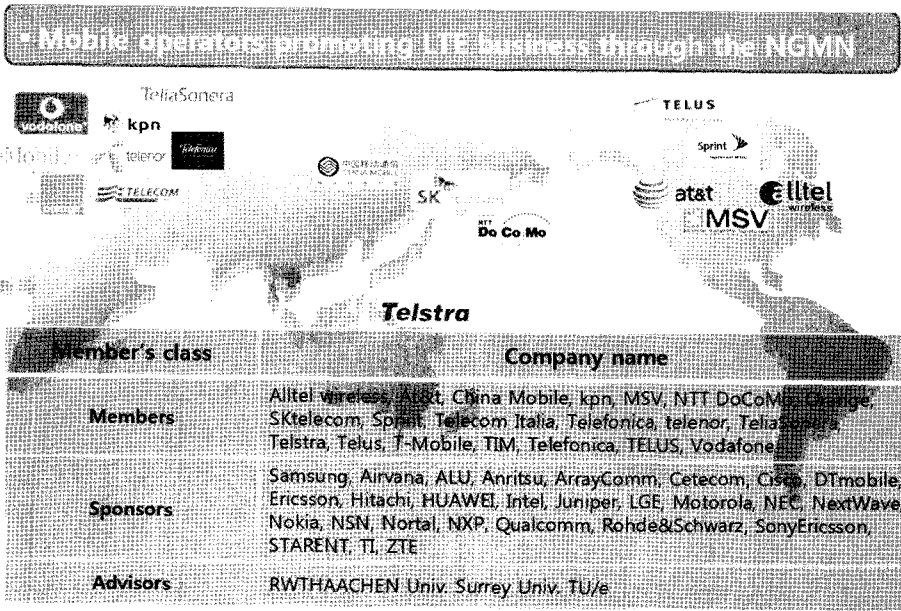
〈그림 2〉 3GPP LTE 표준기구 및 규격 구성

어 2009년도 초에 규격이 배포될 것으로 예상하였지만 현재 상황으로는 다소 지연될 것으로 보인다. RAN4에서는 최근 단말 및 기지국의 RF 요구사항에 대해서 광범위한 논의가 진행 중이며 2010년 LTE 상용화를 추진하는 사업자들을 통해서 단말의 RF 주요 요구사항, 핵심 기능사항 및 성능사항이 우선적으로 완성되고 있다.

3. LTE 업체 동향

NGMN은 2008년 초에 Project Group을 통해서 단말요구사항을 배포하였다. 이 문서는 이동통신 사업자들의 요구사항을 모두 포함하고 제조업체들의 의견을 수렴하여 완성된 것으로 향후 LTE 상용화를 위한 가이드 라인으로 고려되고 있다. NGMN은 발족 당시에 LTE를 포함 WiMAX, UMB 등의 다양한 광대역 이동통신 방식을 고려하였으나 2008년 상반기 총회를 통해서 2009년에는 LTE 시범망을 통한 LTE Feasibility 검증에

우선순위를 두어 집중하기로 정하고 기능/성능 인증 및 분석관련 분과활동이 활발히 진행 중이다. LSTI도 LTE IOT (Interoperability Test) 및 Trial을 위한 Activity Group을 진행 중이며 2008년도에 PoC (Proof of Concept) 보고서를 통해서 LTE가 2x2 MIMO 적용 시에 하향 140Mbps 제공이 가능하며 Latency도 10msec 이내로 달성이 가능함을 보였다. 특히 2009년도에는 IOT 및 Trial을 목표로 활발한 Activity Group 활동이 진행 중이다. LSTI는 LTE Trial관련 세부업무 분과들로 구성된 Activity Group과 이를 총괄운영하고 LSTI 관련 주요안건을 결정하는 의사결정기구인 Steering Board로 구성된다. 삼성전자는 국내에서 유일하게 LSTI Steering Board에 참여하고 있으며 노키아와 더불어 단말업체 대표로 활발히 활동 중이다. 이러한 NGMN 및 LSTI 등의 단체활동에는 국내의 삼성전자를 포함하여 전 세계의 이동통신 인프라 업체, 단말업체, 장비업체, 사업자 및 대학 연구소 등이 참여하고 있다. 2009

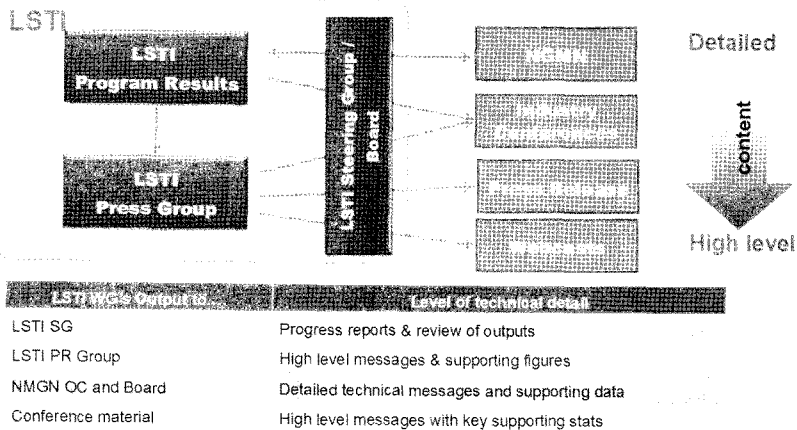


〈그림 3〉 NGMN 기구 회원구성 및 참여 업체현황

년 말에는 LTE 상용화 관련 다양한 검증결과들이 이들 단체를 통해서 공개될 것으로 예상된다.

주요 이동통신 업체는 2010년 LTE 상용화를 위해서 2009년 LTE Trial 및 시범 서비스를 추진 중이다. 이미 언론을 통해서 보도된 바와 같이 미국 Verizon Wireless를 포함 주요사업자와 일본

NTTDoCoMo 및 유럽의 주요 사업자들이 2010년 LTE 상용화를 추진 중이다. 특히 LTE는 기존 데이터 서비스망과 호환성을 강조하여 3GPP Legacy Systems인 GSM, EGPRS, WCDMA, HSPA 망과의 Inter-RAT 지원은 물론 3GPP2의 EV-DO와 호환성도 고려되고 있다. 이는 다양한 이동통신 사업자



〈그림 4〉 LSTI 및 NGMN의 협력 구조

가 기존에 보유한 이동통신 서비스 규격에 크게 구애 받음 없이 LTE 사업이 가능하다는 점으로 다양한 사업자들이 채택을 고려하는 기본 배경이 되고 있다.

III. LTE 요소기술 및 주요 기능

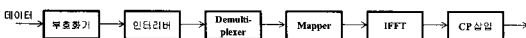
1. LTE 단말 모뎀 요소기술

LTE 시스템 규격은 이전 이동통신 시스템 규격과 달리 하향채널과 상향채널이 각각 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)와 SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) 방식으로 서로 상이한 전송 및 다중전송방식을 채택하였다.

가. OFDM 기술

LTE 시스템의 하향링크는 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 기술을 사용하여 설계되었다. OFDM은 데이터를 여러 개의 작은 대역폭을 갖는 주파수로 나누어 보내는 전송기술로 등화기(Equalizer)와 같이 복잡한 신호처리 없이 수신기를 구현할 수 있다는 장점이 있다. <그림 5>에 OFDM 송신기의 간략한 블록도를 보인다.

데이터가 채널 부호화기에 의해 부호화되고, 부호화된 비트들은 인터리버(interleaver)에서 인터리빙된다. 인터리버의 출력은 demultiplexier에



(그림 5) OFDM 송신기의 블록도

서 여러 개의 부반송파로 나누어 보내지게 된다. LTE 시스템에서 각 부반송파는 15KHz의 대역폭을 갖는다. LTE 시스템은 1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz의 다양한 시스템 대역폭을 지원하는데, 각각의 시스템 대역폭에 대해 72, 180, 300, 600, 900, 1200개의 부반송파로 구성된 OFDM 신호를 생성한다. 각각의 부반송파로 분산된 인터리빙된 비트들은 매퍼(mapper)에서 변조방식의 성상도(Constellation)의 한 점으로 매핑된다. LTE 시스템은 QPSK, 16-QAM, 64-QAM의 QAM 계열의 변조방식을 사용한다. 변조방식의 성상도에 매핑된 신호들은 각각의 부반송파가 곱하여져 시간축의 신호로 변환된다. 이 때 시간축의 신호로 변화에 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)가 사용된다. 여러 부반송파의 신호가 더해진 후, 이 신호에 주기적 전치신호(cyclic prefix)가 더해진다. 주기적 전치신호는 시간축의 한 심볼구간 마지막 일부분을 해당 심볼의 앞부분에 복사하여 전송함으로써 다중 경로 등에 의한 영향이 적어진다. 주기적 전치신호가 더해진 신호는 무선채널로 전송이 된다.

OFDM 수신기에서는 전송된 신호의 역순으로 신호처리를 수행하게 된다. 수신된 신호에서 주기적 전치신호가 제거된 후, 시간 축의 신호는 주파수 축의 신호로 변환된다. 이 변환에 DFT (Discrete Fourier Transform)를 사용하여 그 구현 복잡도를 대폭 감소시킬 수 있다. DFT를 통해 주파수 축으로 변환된 신호에서 각 부반송파의 신호성분을 추출할 수 있다. 각 부반송파로 전송된 신호는 디매퍼(demapper)에서 각 비트에 대한 신뢰도를 바탕으로 soft metric을 계산하며, 계산된 soft metric은 디인터리버를 거쳐 복호기로 전송된다.

이와 같은 OFDM신호는 다중경로 채널에서

등화기 없이도 수신기를 구현할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 주파수 선택적 채널에서 채널상태가 좋은 부반송파들에 데이터를 전송하여 통신링크의 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있어 차세대 이동통신시스템에 널리 사용되고 있다.

나. LTE 하향링크

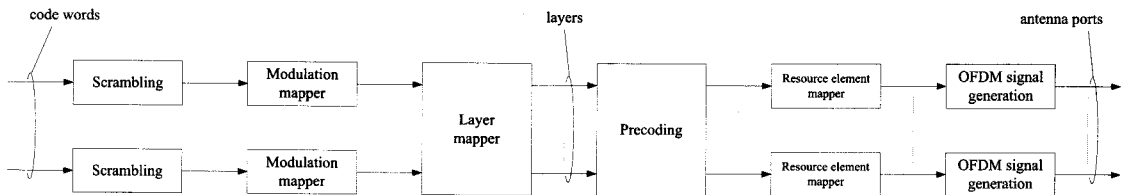
LTE 시스템의 하향링크의 물리계층을 간단히 설명하고자 한다. LTE 하향링크의 물리계층은 1ms의 subframe 단위로 스케줄링 된다. 하향링크는 다수개의 물리채널과 물리신호로 구성된다.

A. 물리신호

- Synchronization Signal (SS): Primary SS와 Secondary SS가 존재하며, 이 신호들은 단말기가 초기 동기 시, 프레임의 경계와 셀 ID를 확인할 수 있도록 하는 기능을 한다.
- Reference signal (RS): 단말기가 하향링크 채널들을 수신할 때, 동기(Coherent) 복조할 수 있도록 하는 기능을 하며, 크게 셀 특정 RS와 UE 특정 RS로 나눌 수 있다. 셀 특정 RS는 동일 셀에 있는 모든 단말기가 수신할 수 있는 RS이며, UE 특정 RS는 특정 UE만이 수신할 수 있는 RS이다.

B. 물리채널

- Physical Broadcasting channel (PBCH): 단말기가 셀 탐색과정을 마친 후, 처음으로 수신하는 채널로 시스템에 반드시 필요한 MIB (Master Information Block)을 포함한다.
- Physical Downlink Control Channel (PDCCH): 하향링크 및 상향링크에 대한 자원 할당 및 스케줄링 정보를 전송하는 채널이다.
- Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH): 매 서브프레임마다 전송되는 채널로, PDCCH에 사용되는 OFDM 심볼의 개수를 알려주는 역할을 한다.
- Physical HARQ Indicator Channel (PHICH): 상향링크의 HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) 동작에 필요한 ACK/NACK 신호를 하향링크로 전송하는 채널이다.
- Physical Downlink Shared Channel (PDSCH): 실제 하향링크로 사용자의 데이터가 전송되는 채널이다. 사용자 데이터를 전송하기 위한 트랜스포트 채널인 DL-SCH (Downlink Shared Channel)가 매핑될 수 있을 뿐 아니라, 페이지 정보를 전송하는 트랜스포트 채널인 PCH (Paging Channel), 동적 방송 정보 (Dynamic Broadcast Channel) 등의 정보도 전송하는 역할을 한다.



〈그림 6〉 물리 채널 처리 과정

하향 링크에서 기저대역의 신호 생성과정은 <그림 6>와 같다^[3]. 부호화 스트림은 한 개 또는 두 개가 될 수 있는데 각각 수직 부호화(Vertical Encoding)와 수평 부호화(Horizontal Encoding)로 불린다. 이 부호화 스트림은 레이어 매퍼(Layer Mapper)에서 적절한 계층(Layer)로 병렬화된 후 프리코딩(Precoding)을 거쳐 각 안테나의 OFDM 심볼들을 구성하게 된다.

다. LTE MIMO 기술

LTE에 사용되는 하향링크 전송모드는 다음과 같은 7가지 모드로 구성되어 있는데 MIMO 기술 측면에서는 크게 전송 다이버시티 (Transmit Diversity)와 공간 다중화(spatial multiplexing) 방식으로 분류할 수 있다^[4].

- M1. Single-antenna port; port 0
- M2. Transmit diversity
- M3. Open-loop spatial multiplexing
- M4. Closed-loop spatial multiplexing
- M5. Multi-user MIMO
- M6. Closed-loop Rank=1 precoding
- M7. Single-antenna port; port 5

M1은 단일 전송 안테나를 사용하는 SIMO 방식을 의미한다. M2는 Alamouti 방식^[5]과 같은 SFBC (Space Frequency Block Code) 전송을 의미한다. M3에서는 송신기가 지시하는 채널 랭크(rank)가 2인 경우, large delay CDD (Cyclic Delay Diversity)를 결합한 공간 다중화 방식을 사용할 수 있다. 그러나 송신기가 랭크 1을 지시할 경우 M1과 같은 전송 다이버시티 방식이 사용된다. 이와 같이 M3의 두 가지 전송모드는 RI

(Rank Indicator)에 의해 결정된다. M4와 M5, M6는 폐루프(Closed Loop) 방식으로써 단말은 기지국에게 채널 랭크 정보와 코드북의 프리코딩 행렬 인덱스(PMI: Precoding Matrix Index)를 피드백(Feedback) 한다. M4와 M6는 단일 사용자에 관한 것으로서 랭크가 각각 2와 1인 경우로 구분된다. M5는 다중 사용자 모드이다. M7은 beamforming을 방식을 의미하며 사용자별 전용 파일럿(Dedicated Pilot)을 전송하는 모드이다.

A. 전송 다이버시티 MIMO 기술

전송 다이버시티 모드에서는 수직 부호화 방식으로서 단일 코드워드만 사용하고 이것은 2 또는 4 레이어로 매핑 된다. 즉, 코드워드 스트림은 2 또는 4 레이어로 병렬화되어 프리코딩 블록에 입력되며 프리코딩을 거쳐 각각 2 안테나 또는 4 안테나의 OFDM 심볼을 구성하게 된다. 예를 들어 2 안테나인 경우, 2 레이어의 복소 입력 X_0 와 X_1 이 <표 1>과 같이 매핑되는데, 행렬의 행은 각 안테나 입력을 의미하고 열은 OFDM 심볼의 부분송파에 대응된다. 4 안테나의 경우 X_0 와 X_2 은 안테나 0와 안테나 2을 사용하고 X_1 와 X_3 은 안테나 1과 3을 사용한다. 따라서 각각의 서브행렬은 2 안테나의 행렬과 동일한 방식이 된다.

<표 1> 전송 다이버시티의 프리코딩 행렬

2 안테나	4 안테나
$\begin{bmatrix} X_0 & X_1 \\ -X_1^* & X_0^* \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} X_0 & X_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X_2 & X_3 \\ -X_1^* & X_0^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -X_3^* & X_2^* \end{bmatrix}$

B. 공간 다중화 MIMO 기술

LTE에서는 최대 2개의 코드워드가 동시에 전송될 수 있다. 한 개 또는 두 개의 코드워드는 L 개의 레이어로 매핑된다. i 번째 시간에 프리코더 (precoder)에 입력되는 $L \times 1$ 레이어 입력 벡터를 $x(i)$ 라 하고, $W(i)$ 를 i 번째 시간에 $M \times L$ 프리코딩 행렬이라고 정의할 때, 프리코딩된 $M \times 1$ 출력 벡터 $y(i)$ 는 $y(i) = W(i)x(i)$ 으로 표현할 수 있다.

베루프 공간 다중화 방식에서 프리코딩 행렬은 미리 정해진 코드북으로부터 단말에 의해서 선택되어 인덱스 형태로 기지국에 전송된다. 예를 들어 단말에서 추정된 채널값을 H 라 했을 때 SVD를 수행하면 $H = UAV^H$ 와 같이 표현될 수 있다⁶⁾. 여기서 U 와 V 는 unitary 행렬으로써 $U^H U = I$ 와 $V^H V = I$ 를 만족한다. 다음 단말은 V 를 양자화하여 코드북에서 프리코딩 행렬 W 를 선택한다. 이 과정은 V 와 제일 가까운 코드북의 코드를 선택하는 것과 유사하다. 따라서 코드북의 설계에 있어서 unitary 조건과 코드북의 코드들간의(또는 프리코딩 행렬들간의) 최소거리를 늘리는 것이 중요하다⁷⁾. LTE에서 사용되는 코드북은 DFT기반의 unitary 코드북으로서 앞서 설명한 unitary 조건을 만족한다.

한편, 기지국에서 프리코딩을 거친 신호 y 가 채널을 통과한 후 단말에서 수신 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$Hy + n = HWx + n \approx UAx + n$$

이 수식에서 n 은 열잡음을 나타내며, 마지막 근사화 과정은 $W \approx V$ 과 $V^H V = I$ 인 성질을 이용한 것이다. UA 는 상위 삼각 행렬이므로 결과적으로 단말은 각 레이어에 관한 독립된 채널을 얻을 수 있어 레이어 정보를 수신하기 용이하게 된다.

베루프 공간 다중화 방식에서는 CDD와 프리코딩을 적용하는데 프리코딩 행렬은 단말의 피드백 없이 미리 정해진 방식으로 프리코딩 행렬을 선택한다. CDD는 다음 수식과 같이 $L \times 1$ 레이어 벡터에 $L \times L$ 대각행렬 $D(i)$ 와 U 를 곱한다.

$$y(i) = W(i)D(i)Ux(i)$$

예를 들어 $L=2$ 인 경우 $D(i) = [1 \ 0; 0 \ e^{-j\theta}]$ 이고 $u = 1/\sqrt{2}[1 \ 1; 1 \ e^{-j\theta}]$ 이다. 이같이 CDD는 다중 경로 신호를 표현하기 위한 모델로서 상수 행렬 U 는 각 계층의 성분을 섞어 주는 역할을 하며 D 는 각 계층에 대한 큰 시간 지연 (large delay)을 표현하기 위한 것이다.

라. LTE 상향링크

LTE 하향링크는 OFDM 기술을 기반으로 설계된 반면, 상향링크는 SC-FDMA (Single Carrier FDMA) 기술을 기반으로 설계되었다. SC-FDMA는 상향링크의 전송신호를 단일반송파의 특성을 유지하게 하여 전송신호의 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)를 낮추어 전송할 수 있게 하는 전송방식이다⁸⁾.

LTE 상향링크도 하향링크와 마찬가지로 물리 신호와 물리채널로 구성된다.

A. 물리신호

- Reference Signal (RS): LTE 상향링크는 복조 RS와 Sounding RS가 있다. 복조 RS는 PUSCH와 PUCCH의 복조를 위한 채널추정에 사용된다. Sounding RS는 단말기가 기지국으로 전송하는 상향링크의 채널정보를 추정하기 위해 단말기가 전송하는 신호이다.

B. 물리채널

- Physical Uplink Control Channel (PUCCH): 상향링크의 제어정보를 전송하기 위한 채널이다. LTE 상향링크의 단일 반송파 특성을 위해 시스템 대역의 양쪽 끝에 위치한다. PUSCH가 전송되는 시간 동안에는 PUCCH가 전송되지 않고 PUSCH에 제어 정보가 전송된다.
- Physical Uplink Shared Channel (PUSCH): 상향링크의 데이터를 전송하기 위한 채널이다. PUSCH는 하향링크의 PDCCH를 통해 스케줄링 된다.
- Physical Random Access Channel (PRACH): 단말기가 기지국에 접근하기 위해 사용하는 물리 채널이다. PRACH는 6RB의 대역으로 전송되며 사용되는 대역폭은 1.25MHz이다.

2. 경쟁 표준규격 비교 (HSPA+, IEEE 802.16)

HSPA+와 LTE는 3GPP 표준화 기구에서 비동기식 이동통신 표준으로 새롭게 제정한 것으로서 각각 CDMA와 OFDM 기술을 바탕으로 한다. LTE는 FDD와 TDD를 모두 지원하며, 이동통신 사업자의 선택에 따라 상용시스템이 정해질 것이다. IEEE 802.16e (Mobile WiMAX)도 역시 OFDM을 바탕으로 한 표준이지만 LTE와 다르게 기본적으로 TDD Duplexing만 지원하고 있다. 그러나 2009년도에 새로 제정될 표준인 802.16m에서는 FDD Duplexing까지 지원을 할 예정이다.

CDMA를 바탕으로 한 HSPA+와 OFDM를 바탕으로 한 LTE 및 Mobile WiMAX를 기술적인 면에서 비교하기 위해서는 각 표준의 동작 환경

상 (대역폭, 사용주파수, 수신기에 적용된 기술)의 차이가 동등한 조건으로 고려되어야 한다. OFDM은 전송하고자 하는 정보를 낮은 Symbol rate로 전송하므로, 이동통신 환경에서 직면하는 Multipath에 의한 심볼간 간섭 Interference (Inter-symbol Interference: ISI)에 강한 특성이 있고, CDMA에 비해 ISI를 감소시키는 기술의 필요성이 적어 수신기 구조를 간단하게 만들 수 있다. 이런 장점은 고속 데이터 전송을 위해 대역폭을 높일수록 더 크게 나타난다. 다만, HSPA로 대표되는 CDMA 이동통신 시스템에서도 Equalizer나 ISI canceller와 같은 다양한 수신 성능 향상 기술을 연구해 왔고 상용화된 시스템 및 단말기에서 적용이 되고 있으므로 표준상의 우열을 단순히 비교하기는 쉽지 않다.

가. Peak Data Throughput

HSPA+ R7 (Release 7)은 CDMA 기술을 채택하여 Downlink 및 Uplink 각각 5MHz BW에서 최대 Downlink 28Mbps, Uplink 11.5Mbps를 전송하고, R8 (Release 8)에서는 Downlink 에서 64QAM 2x2 MIMO를 사용해서 42Mbps까지 전송하도록 진화하고 있으며, Throughput과 spectral efficiency를 증가시키기 위해 64QAM 및 2x2 MIMO, Turbo Decoder, HARQ, AMC (Adaptive Modulation and Coding) 기술을 기본으로 채택했다.

LTE는 802.16e와 동일하게 OFDM을 채택하고 동시에 최대 Downlink 및 Uplink 각각 20MHz 대역폭의 FDD를 근간으로 하고 있으므로, 최대 Data Throughput 관점에서는 당연히 이점을 가지고 있다. IEEE 802.16e의 최대 Data Throughput에서의 열세는 차기 표준인 IEEE

802.16m에서 대역폭을 확장하고, 4x4 MIMO를 채택함으로써 만회될 것으로 예상된다.

아래 <표 2>은 Peak Data Throughput 관점에서 각 표준을 비교한 것이다.

<표 2> LTE, HSPA+, IEEE 802.16 Data Throughput 비교

	Downlink Peak Data Throughput	Uplink Peak Data Throughput
HSPA+ (R7) (5MHz BW, 2x2 MIMO, DL 16QAM, UL 16QAM)	28Mbps	11.5Mbps
HSPA+ (R8) (10MHz BW, 2x2 MIMO, DL 64QAM, UL 16QAM)	42Mbps	11.5Mbps
LTE 2x2 MIMO (20MHz BW)	173Mbps	58Mbps
LTE 4x4 MIMO (20MHz BW)	326Mbps	86Mbps
802.16e mWiMax (10MHz TDD, DL/UL=3, 1x2 SIMO)	23Mbps	4Mbps
802.16e mWiMax Wave 2 (10MHz TDD, DL/UL=3, 2x2 MIMO)	46Mbps	4Mbps

나. Spectral Efficiency

각 표준의 기술적인 우위를 동등한 조건에서 비교하기 위해서는 사용하는 대역폭과 주파수 상의 차이를 정규화하는 것이 필요한데, 이를 위해 통상 사용되는 단위 주파수 당 Cell capacity 인 Spectral efficiency (bps/Hz/sector) 관점에서 세 표준을 비교해보자.

HSPA+의 Spectral Efficiency는 MMSE Equalizer과 Receiver Diversity를 지원하는 Type 3 수신기 대비 약 2배의 향상을 보인다. Successive IC (Interference Cancellation) 및 2x2 MIMO를 채택할 경우 더욱 늘어나서, IEEE 802.16e Wave 2와 거의 대등한 수준이다.

IEEE 802.16e는 LTE 이전에 OFDM를 바탕으로 만들어진 규격이며, 근본적으로 HSPA+대비 spectral efficiency 차이가 크지 않고, 다만 OFDM 기술의 장점으로서 대역폭의 증가에 따른 수신

기의 복잡도 증가율이 낮은 장점이 있다.

LTE는 기존 표준 대비 넓어진 대역폭으로 인해 OFDM의 장점 및 2x2 MIMO, 4x4 MIMO를 적용해 Spectral Efficiency 향상을 기대하고 있다.

모든 표준이 Spectral Efficiency를 높이기 위해 64QAM 및 2x2 MIMO, Turbo Decoder, HARQ, AMCS 등을 채택하고 있다.

HSPA+ 및 LTE는 기존의 3GPP 표준 대비 몇 가지 기술적인 개선을 통해 Spectral Efficiency를 높이고자 했는데, 대표적으로 Closed-loop MIMO, Successive IC, Incremental Redundancy HARQ 등이 있다. 또한, IEEE802.16e의 경우, OFDM이 주는 여러 가지 이점에도 불구하고, Cell 당 사용자가 많은 환경에서 MAC layer scheduling의 효율이 떨어지고 Power Control을 MAC Signaling을 통해 수행함으로써 생기는 Loss 및 3GPP 표준에 비해 상대적으로 Uplink control overhead가 많은 단점으로 인해 HSPA+와 유사한 수준의 Spectral Efficiency를 보이며, 향후 802.16m에서는 이를 고려한 개선이 있을 것으로 기대된다.

다. Latency

Data Throughput 못지 않게 중요한 성능 요소는 Data의 Round trip time (RTT)으로 측정되는 Latency이다. HSPA+는 최소 25ms, 최대 50ms의 Latency를 목표로 하고 있고, LTE에서는 더 적은 최소 5ms까지의 성능을 목표로 한다.

음성 서비스 관점에서 HSPA+는 WCDMA와 마찬가지로 CSV (Circuit Switched Voice)와 PSD (Packet Switched Data) 및 VoIP를 모두 제공할 수 있는 장점이 있다. 반면에 LTE 및 802.16e/m는 VoIP를 통해서 Voice service를 제

공하는 것을 목표로 하고 있으며, VoIP 서비스 제공을 위한 Network 관점에서의 여러 가지 문제를 모두 해결하기 전까지는 기존의 CSV (Circuit Switched Voice)와 Dual mode가 필요할 것이다.

IV. LTE 모델 구조

1. LTE 모델 구조

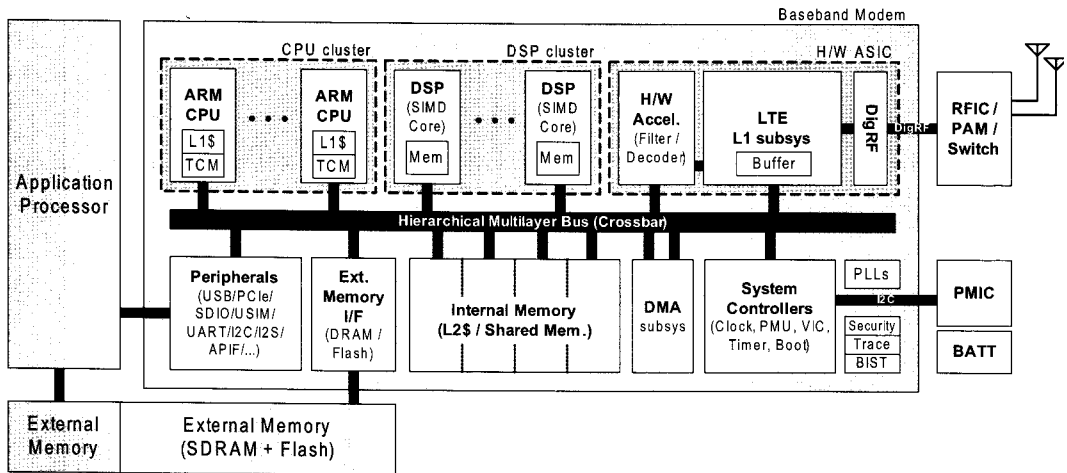
LTE 시스템 규격은 이전 통신 시스템 규격보다 구현 복잡도가 크게 증가하였으며, 사업자 입장에서 GSM, EGPRS, WCDMA, HSPA 와 같은 Legacy 시스템을 포함한 단말을 요구하는 경우가 많아서 그 구현 복잡도나 요구 성능 및 기능이 현재의 휴대 단말용 통신 모델의 수배에 이른다.

<그림 7>은 일반적인 LTE 단말의 Baseband Modem 구조이다. Physical Layer, MAC, Layer 2~3 Protocol Stack 의 각종 Modem Task들은

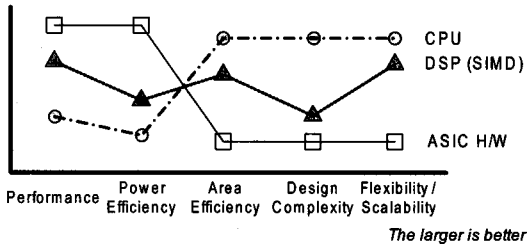
가장 최적화된 Processing Element (PE) - CPU, DSP, ASIC H/W - 로 Mapping이 된다. 이 PE는 각 구현 방식에 따라 성능, 전력 및 면적 특성이 매우 다양한데 일반적으로는 <그림 8>와 같이 비교할 수 있다.

CPU는 Programmability가 매우 뛰어나지만 Signal Processing을 위한 성능이나 소비전력 면에서 비효율적이다. 따라서 Protocol Stack과 같은 Control-oriented and Interrupt-based Task들은 대부분 CPU cluster에 Mapping 된다. 목표로 하는 Data Rate과 Protocol Stack의 Workload에 따라 1개 이상의 CPU Core가 필요할 수 있다. 일반적으로 Single Core의 경우 ARM9, ARM11 또는 Cortex-R4가 사용되며, Multiprocessor의 경우 ARM11 MPCore가 사용된다.

Data Processing Task의 경우 대부분 Vector Type의 Signal Processing이므로 CPU 보다는 DSP 또는 ASIC H/W로 처리하는 것이 성능과 전력 면에서 효율적이다. 최근 Modem용 DSP의



<그림 7> 고성능 Baseband Modem 구조



〈그림 8〉 Processing Element 별 특성 비교

경우 내부에 다수의 SIMD (Single-Instruction-Multiple-Data) Unit을 내장하여 Vector Data의 MAC (Multiply and Accumulation) 연산을 한번에 처리할 수 있는 기능을 지원하고 있다⁹⁾. 또한 DSP는 ASIC H/W보다 Scalability, Flexibility가 뛰어나기 때문에 향후 시스템 규격의 변경이나 확장에 대하여 능동적으로 대처할 수 있으며, 기능 추가에 따른 면적 증가가 적기 때문에 칩 면적을 줄일 수 있다.

최근 Multistandard 단말에 대한 요구가 늘면서 Software Defined Radio(SDR) 개념의 Baseband Modem Chip들이 Base-station 응용뿐 아니라 Mobile 단말에까지 영역이 확장되고 있다. 그 동안 상용화의 걸림돌이었던 DSP의 전력 효율과 성능이 점차 개선되면서 2010년에는 SDR 상용 단말의 출시가 예상 되고, 2015년부터는 시장의 주류가 될 것으로 예상된다.

2. ESL 기반의 SoC 구조 분석

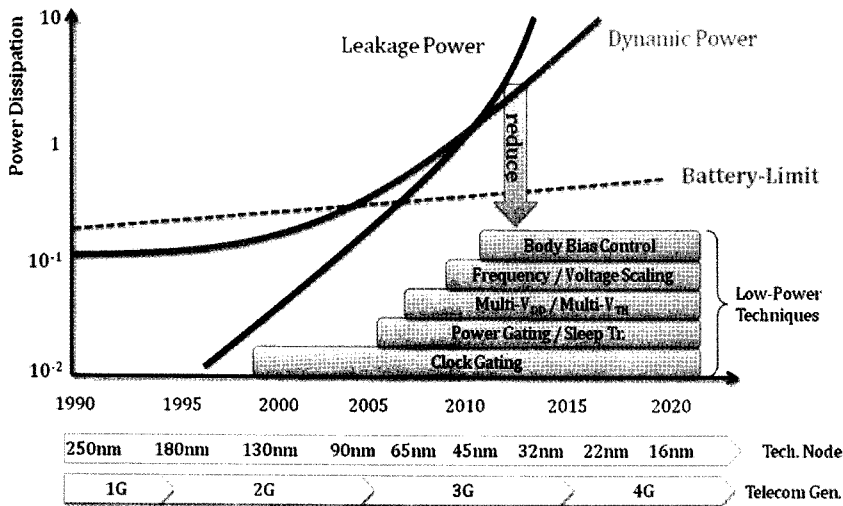
단말 모뎀의 구조를 결정하는 데에 있어서 가장 중요한 요소 중 하나는 각 Modem Task의 특성을 파악하여 Performance, Power, Area (PPA) 관점에서 최적의 Processing Element로 Mapping하

고 앞뒤로 연결된 Task와 Synchronize하는 일이다. 어떠한 Task라 하더라도 이를 CPU, DSP와 같이 S/W로 구현하거나 ASIC 또는 H/W Accelerator로 구현할 수 있다. 하지만 그 구현방식에 따라 시스템에 미치는 영향은 매우 다르다. SDR 기술의 발전으로 점차적으로 S/W-oriented 구조로 옮겨가면서 ASIC으로 Mapping되었던 Task들이 CPU나 DSP로 많은 부분 이동하게 될 것이다. 이처럼 다양한 Partitioning 방식에 따라서 전체 시스템의 성능과 전력효율 및 요구면적이 가변 한다. 따라서 System Architect는 Multi-dimensional 관점에서 Task를 Mapping하고 이를 정량적으로 Evaluation 할 수 있는 방법론을 가지고 있어야 한다.

이러한 H/W, S/W Partitioning 단계에서의 구조 분석 및 Evaluation을 위한 방법은 크게 Analytic Analysis, High-level Simulation, RTL simulation 그리고 H/W Emulation 등으로 나뉠 수 있다. 뒤로 갈수록 Abstraction Level이 낮아지고 Cycle Accurate하여 정확한 분석이 가능하나 그 Evaluation Setup을 위한 준비작업이나 구현 방식이 복잡해져 Project 일정에 맞추기 매우 어렵다. 따라서 System Architect는 주로 Analytic Analysis나 High-level Simulation 방식을 택하게 된다.

ARM사의 SoC Designer¹라는 Electronic System Level (ESL) Simulation Tool은 현재 ARM-based SoC의 High-level Simulation에 가장 널리 사용되고 있다. Prototype H/W 구조를 모두 ESL 수준의 System-C Model로 제작하고, ARM CPU 위에 실제로 Target OS와 S/W를 올려서 빠른 속도로 Simulation이 가능하다.

1. 최근 Carbon Design Systems로 이관되었음



<그림 9> 전력 증가 추세^[10]

이러한 방식을 통하여 시스템에서 요구하는 각종 Memory 요구사항 (Cache, TCM, Internal Memory 등)과 CPU, Bus, External Memory Interface 등의 성능 요구사항을 미리 예측할 수 있다. 하지만 Cycle Accurate한 ESL Model을 제작하고 이를 검증하는 것은 RTL 설계만큼의 시간과 노력을 요구한다. 따라서 System Architect는 자주 사용되는 IP들은 미리 Cycle Accurate Model을 제작하여 Platform을 갖추어 놓고, H/W Accelerator와 같이 System 규격에 따라 변경이 되는 IP들은 Cycle Approximate Model로 빠르게 제작하여 Early Design Stage에서 Decision Making에 사용할 수 있어야 한다.

3. 저전력 설계

LTE 통신 규격은 현재 통신 시스템보다 수배에서 수십 배의 Data Rate을 요구함에 따라 단말 모

템에서 처리되어야 하는 데이터의 양과 전력 소비량도 그와 비례하여 꾸준히 증가하고 있다. 또한 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 기술의 도입으로 다수개의 Antenna, Power Amplifier 및 Transceiver가 사용됨으로써, 그 전력 소비가 배가되고 있다. 또한 휴대기기의 경박단소화 추세로 인하여, 칩에서 발생하는 열을 외부로 방출하기 위한 공간이 거의 사라지게 되어 단말 칩의 저전력 설계가 절실히 요구된다.

<그림 9>은 Mobile 기기에서 소모되는 전력량을 반도체 공정 Node 및 통신 세대의 발전에 따라, Dynamic 전력과 Leakage 전력을 구분하여 나타낸 것이다. 배터리 용량은 크게 늘리지 못하지만, 필요로 하는 Dynamic 전력과 불필요하게 소모되는 Leakage 전력이 빠른 추세로 증가하고 있다. 따라서 이를 감소시키기 위한 여러 가지 저전력 기술들이 제안되고 적극적으로 상용 칩들에 적용되고 있다.

<표 3>은 직간접적으로 적용 가능한 저전력

〈표 3〉 구현 수준별 저전력 기술 ^{[11] [12]}

Device	Circuit/Logic	Architecture	System/Runtime
<ul style="list-style-type: none"> • Tr/Interconnect Sizing • VTCMOS • Multi-Vt • Multi-Tox • SOI • High-K • Metal Gate • Dual Gate • FinFET/3D Tr 	<ul style="list-style-type: none"> • MTCMOS • Clock Gating • Multi-VDD • State Assignment • Don't Care Opt. • Path Balancing • Encoding • Retiming • Pre-computation • Tr Reordering 	<ul style="list-style-type: none"> • Low-Power Memory • Parallelism & Pipelining • GALS • Power Aware H/W and S/W partitioning • Buffer Size Opt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptive Voltage Scaling • Body Bias Control • DVFS • Instruction-Level Opt. • Control-Data Flow Transformation • Approximate signal processing • DRX/DTX

기술들을 SoC의 각 구현 수준에 따라 분류한 것이다. 대부분의 기술들은 시스템의 성능과 칩 면적, 소프트웨어 개발 등에 영향을 미치기 때문에, 그 전력감소 효과와 이로 인한 System Overhead를 정확히 파악하여 적용해야 한다. 최신의 Technology node 공정을 사용하게 될 경우, Dynamic 전력은 상당히 감소시킬 수 있으나, Leakage 전력이 크게 증가하여 많은 문제가 되고 있으며, 이를 위한 Device 및 Circuit 수준의 다양한 저전력 기술들이 제안되고 있다^[11].

Device 및 Circuit 수준의 저전력 기술들은 현재 공정 기술 및 EDA Tool의 발달로 많은 효과를 거두고 있다. 하지만 Architecture 및 System 수준에서의 저전력 설계 방법이 전체 시스템에 미치는 효과가 더 크다. Architecture-level의 저전력 방법으로는, 외부 메모리 Access의 횟수를 줄이기 위해 필요한 만큼의 Internal Memory를 내장하고 있으며, Cache Hit Rate을 높이고 TCM의 효율적인 활용을 위한 Code & Data Relocation 방법들이 일반적으로 사용된다.

이와 같이 Mobile SoC 설계의 모든 단계에서 저전력 설계가 이루어져야 하며, 표준, Protocol 및 Architecture 설계에서부터 시작되는 Top-down 방식의 저전력 설계가 절실히 요구된다.

4. RFIC 디지털 인터페이스

휴대폰, PDA, 노트북 같은 모바일 기기에 멀티밴드, 멀티모드의 무선 접속 기능이 추가됨에 따라 더 높은 레벨의 RF 집적에 대한 요구가 꾸준히 증가하고 있다.

단일 모드의 경우에는 자체 RF와 베이스밴드 회로를 하나의 SoC로 구현하는데 현재의 기술 방식으로도 충분하다. 또한 65nm CMOS, 수동 소자 집적 기술 및 RF System-in-Package (SiP) 기술을 통해 집적도를 높일 수 있게 되면서 칩 크기와 전력 소비가 줄었다. 그러나 무선 통신의 멀티모드 필요성이 증가하면서 위 방법으로는 더 이상의 효과를 기대하기 어렵다. 멀티모드를 대응하기 위한 회로 설계 기술이 주요 이슈로 떠오르고 있으며, 많은 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한 RF와 모뎀 간의 인터페이스 정의에 대하여 RFIC 및 모뎀 업체들이 인터페이스에 대해 표준을 정의하고 실제 제품에 반영하고 있다. 이것이 디지털 인터페이스(DigRF)이다.

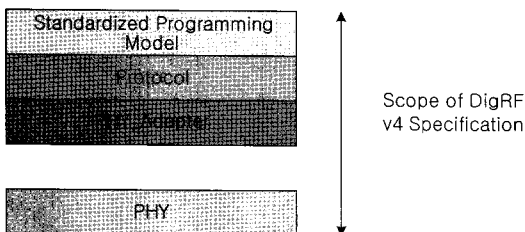
DigRF를 채용함으로써 보다 적은 핀 개수, 낮은 전력 소모 및 규격화된 인터페이스 사용으로 인해 기존 아날로그 인터페이스를 대체할 것으로 기대된다. 또 부가적인 이득으로 베이스밴드

모뎀 칩으로부터 ADC/DAC를 제거할 수 있어 미세 디지털 공정 구현에 유리하다

모바일 산업 프로세서인터페이스 연합(Mobile Industry Processor Interface, MIPI)은 표준 하드웨어 및 소프트웨어 디지털 직렬 인터페이스에 대한 사양을 제정, 공식 발표를 하였다. 디지털 인터페이스 (DigRF) 표준화 작업에 참가한 업체는 Agere, Infineon, Motorola, Philips, Renesas, RF Micro Devices, Silicon Lab, Sony 등이 있으며 현재 2G를 위한 V1.12, 2G & 3G를 위한 V3.07, V3.09 이 표준화 되어 상용 제품이 출시되어 있으며, MIMO를 지원하는 mWiMax, LTE 등을 위한 V4에 대한 표준화 작업이 진행 중이다.

현재 V4.0 표준화 작업은 v0.7까지 표준화가 진행되었으며, 2008년부터 실제 Silicon으로 구현을 시작하고 있어 M-PHY의 Silicon 구현 표준이 완료될 2010년 정도에는 상용 수준의 제품이 개발될 것으로 기대되며, 2010년 이후 상용화가 예상되는 LTE용 RF interface의 주류를 이룰 가능성이 높아 보인다.

DigRF v4.0은 고속 시리얼 인터페이스를 지원하기 위해 또 다른 MIPI 표준인 M-PHY를 기반으로 하여 데이터 전송 및 Signaling 등을 정의하며 <그림 10>와 같은 구성을 가진다.



<그림 10> DigRF V4.0 Specification 정의

DigRF V4.0에서는 단순한 Data 전송뿐만이 아닌, 다음과 같은 기능을 수행하도록 되어 있다.

- Power saving mode control
- Multiplexing/Demultiplexing control and data
- Multiple error detection schemes
- ARQ scheme (NACK only)
- Various operation scenario support

또 여러 가지 통신표준 (mWiMAX, 2.5G, LTE 등)을 지원하기 위해 Bandwidth와 Diversity 여부에 따라 Scalable한 구조를 가지도록 되어 있다. 일례로, LTE와 같이 빠른 전송 속도를 가지는 시스템에서는 RX Diversity를 지원하기 위해 M-PHY를 3개까지 지원한다. (2RX + 1TX)

결론적으로 다양한 통신 표준 및 RF Bandwidth, 고속 데이터 통신을 위해 RF IC 와 Baseband Modem IC 사이의 Interface를 Digital로 변경하기 위한 DigRF 표준화가 활발히 진행되고 있으며, 기존 Analog Interface에 비해 Compatibility 및 편수, 전력 소모 면에서 많은 장점을 가지고 있어 수년 내에 업계의 표준으로 자리잡을 것으로 예상된다.

V. 결론

3GPP LTE는 IP 기반의 새로운 시스템으로 광대역 서비스 제공을 목표로 하며, 특히 2010년 초기 상용화를 위해 표준단체는 물론 이동통신 산업체가 NGMN 및 LSTI 등의 단체 활동을 통해 LTE를 다양한 각도에서 검증하고 상용화할 예정이다. 이를 통해 과거 WCDMA 상용화 때와는 달리 초기 LTE 상용화는 단기간에 성공적으로 이루어 질 것으로 예상된다. 특히 기술적인 측

면에서 LTE는 이전 이동통신 규격과 달리 Pre-coding을 사용하는 Closed Loop 방식의 MIMO 등 새로운 기술들을 채택하여 하향 140Mbps를 제공하는 규격으로 단말모뎀은 이를 지원하기 위한 다양한 신기술들을 개발하고 구현해야 하며 특히 고속의 데이터 처리를 위한 SoC 구조설계 및 고속 클록 사용에 따른 전력소모증가를 줄일 수 있는 방안이 상용화의 가장 중요한 요소기술로 평가된다.

=====**참고문헌**=====

[1] 3GPP RAN1 TS36.211, June, 2008.
 [2] NGMN White Paper V3.0, Dec., 2006.
 [3] NGMN Terminal Requirement V3.0, Jan., 2008.
 [4] 3GPP TS 36.213 V8.4.0 (2008-09)
 [5] Alamouti, S.M., "A simple transmit diversity technique for wireless communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
 [6] I. E. Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels," AT & T Bell Labs Tech. Memo., 1995
 [7] B.M. Hochwald, T.L. Marzetta, T.J. Richardson, W. Sweldens, and R. Urbanke, "Systematic design of unitary space-time constellations," IEEE trans. Inform. Theory, vol. 46, pp.1962-1973, Sept. 2000.
 [8] Hyung G. Myung and David J. Goodman, Single Carrier FDMA, John Wiley and Sons, 2008.
 [9] U. Ramacher, "Software-Defined Radio

Prospects for Multistandard Mobile Platforms," IEEE Computer, vol 40, Issue 10, pp.62 - 69, Oct. 2007
 [10] 김경호, "모바일 기기에서의 디지털 융합기술," 대한전자공학회지 제35권 제 2 호 pp. 41-49, 2008년
 [11] D. Sylvester, et al., "Computer-Aided Design for Low-Power Robust Computing in Nanoscale CMOS," The Proc. of IEEE, vol. 95, No. 3, pp 507 ~ 529, Mar. 2007
 [12] Nam-Sung Woo, "SoC for Mobile Solution," Keynote in IEEE ISOCC 2007.
 [13] Mipi DigRF V4.0 Specification : Draft Version 0.70.00 Revision 0.01 - December 19, 2008
 [14] Mipi DigRF all members presentation Lisbon 2008 080912.pdf

저자소개



김 경 호

1984년 2월 연세대학교 전자공학 학사
 1987년 2월 KAIST 전기전자공학 석사
 1991년 2월 KAIST 전기전자공학 박사
 2006년 1월 IEEE Senior Member
 현재 삼성전자 통신연구소 상무
 주관심분야 : 이동통신용 모뎀칩, 단말 무선 부품