

3G LTE Layer2 계층 기술 동향

김강희 | 여건민 | 유병한 | 신석주*

ETRI, 조선대학교*

요약

본고에서는 고품질/고속 멀티미디어 서비스 제공을 목표로 2012년 상용화를 예상하고 있고, 4세대 이동통신 시장의 대표 후보 기술로 거론되고 있는 3GPP LTE 시스템의 Layer2 기술 동향을 알아본다.

I. 서론

차세대 이동통신은 고속 무선 전송, 끊김 없는 연동(Seamless inter-working)을 통한 유비쿼터스 서비스 실현, 다양한 킬러 어플리케이션의 수용 등을 목표로 학계, 연구소, 산업체, 표준 단체에서 지속적으로 연구되어 왔다. 특히, 제한된 무선 자원의 효율 극대화 및 고속 무선 전송을 위해 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 직교 주파수 분할 변조) 방식을 선호하고 있으며, MIMO (Multiple Input Multiple Output) 등과 같은 다중 안테나 기술도 적용하고 있다.

단말과 기지국 사이의 무선접속을 주로 관장하는 차세대 이동통신의 Layer2 기술에서의 주요 목표는 프로토콜의 단순화 및 시스템 성능 향상이라는 전제를 바탕으로 하고 있다. 이는 차세대 이동통신 시스템이 요구하는 최소 지연을 갖는 적응형 고속 전송 시스템을 구현하기 위함이다.

이러한 기술적 특징들을 기반으로, 세계 통신 업계는 2008년부터 시작될 4세대 이동통신(4G)의 표준화가 결정되면

2012년 경에는 4G 이동통신 서비스 상용화가 가능해질 것으로 보고 있다. 현재 4G 이동통신의 후보 기술로는 유럽의 대다수 통신사업자가 참여하고 있는 3GPP Long Term Evolution (LTE)가 가장 유력하며, 삼성전자가 주도하는 와이브로 에볼루션 (WiBro Evolution), 퀄컴 (Qualcomm)이 주도하는 3GPP2 Ultra Mobile Broadband (UMB) 등도 후보 기술로 거론되고 있다.[1]

본고에서는 2004년 말에 3G LTE Plan을 시작으로 2008년 3월 현재까지 세부 규격화 작업이 진행되고 있는 3G LTE의 Layer2 기술동향을 살펴 본다. II장에서는 3G LTE 시스템의 요구사항에 대해 언급하고, III장에서는 Layer2 계층의 구조 변화와 MAC 계층의 주요 기능에 대해서 살펴 본다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 3G LTE 요구사항

고속 전송률, 낮은 시간지연 특성, 패킷에 최적화된 무선 접속 기술 등의 키워드로 대표되는 3G LTE 시스템은 시스템 요구사항으로 다음과 같은 목표를 규정하고 개발되었다. [2]

1. 유연한 전송 대역폭

시스템은 최대 20 MHz의 대역폭 (bandwidth:BW)을 지원해야 하고, 2.5/5/10/20의 scalable BW를 지원해야 한다.

2. PS-Domain 기반 서비스 지원

3G LTE 시스템은 패킷 서비스 도메인 (PS-domain)에서 제공되는 서비스만 제공한다. 현재 Rel.6 포함하여 이전 규격에서 제공해오던 서킷 서비스 도메인 (CS-Domain)은 LTE PS-Domain 에서 기존 서비스 품질 (QoS) 동일 또는 이상 수준으로 제공되어야 한다.

3. 최대 전송 속도

하향링크 최대 100 Mbps (5 bps/Hz), 상향링크 최대 50 Mbps(2.5 bps/Hz)의 전송속도와 스펙트럼 효율을 만족 해야 한다.

4. C-Plane Latency와 Capacity

Control Plane (C-Plane) latency에 관해서 LTE는 두 가지 천이시간 요구사항을 가진다. 첫째는, 단말이 power-on상태에서 공통 제어 신호를 수신하여 camped-state에 있을 때, 임의 접근 (RA)을 시도하여 패킷을 지속적으로 송수신 할 수 있는 활성 상태로 천이하는 시간이 100 ms 이하여야 한다. 둘째는, power saving 상태의 일종인 dormant state에서 active state로의 천이시간이 50 ms 이하로 제한된다. 또한, LTE 시스템은 용량적으로 5 MHz BW에서 200명 이상의 active user equipment (UE)를 수용할 수 있어야 하고, 그 이상의 BW에서 400명 이상의 UE를 수용해야 한다.

5. U-Plane Latency

User plane (U-Plane) latency는 UE또는 radio access network (RAN)의 IP 계층에 있는 패킷이 무선자원 할당을 받은 후, 무선채널을 통해서 상대방에 전송되는데 걸리는 시간을 의미하며, 자원할당이 바로 이루어진 시점에서 5 ms 이내의 시간 제약을 가진다. 이는 IP 패킷 통신에서 흔하게 나타나는TCP/IP acknowledgement (ACK) 패킷 등 매우 짧은 IP패킷 전송의 최대 지연을 제한하여, PS-Domain에 기반한 서비스를 원활히 제공할 수 있다.

6. 사용자 처리율 (per Hz)

하향링크에서5% C.D.F. 사용자가 Rel. 6 HSDPA대비 단위 Hz당2~3배의 사용자 처리율을 가지며, 3~4배의 평균 사용자 처리율을 가지는 것을 목표로 한다. 상향링크에서는 5%

C.D.F. 사용자가 단위 Hz당Rel. 6 Enhanced Uplink대비 2~3배의 사용자 처리율을 가지며, 2~3배의 평균 사용자 처리율을 가지는 것을 목표로 한다.

7. 스펙트럼 효율 (bits/sec/Hz/site)

하향링크에서 2개의 eNodeB Tx 안테나와 2개의 UE Rx 안테나를 이용하여Rel. 6 HSDPA대비 3~4배의 스펙트럼 효율을, 상향링크에서 1개의 UE Tx 안테나와 2개의 eNodeB Rx 안테나를 이용하여 2~3배의 스펙트럼 효율을 목표로 한다.

8. 이동성

3G LTE에서는 UE의 이동속도에 따라서 다음과 같은 서비스 제공을 목표로 한다.

0~15 km/h	Optimized, full performance	Service quality and Handover on quality shall be better or equal to GERAN CE Domain/Rel.6.
15~120 km/h	High performance	
120~350 km/h	Supported at least equal quality of Rel. 6	
Upto 500 km/h	Supported depending on frequency band	

9. 셀 커버리지

3G LTE 에서는 3단계의 셀 커버리지 반경에 따라 서비스 제공 목표치를 세분화 하였다.

~5 km	LTE User throughput, Spectrum efficiency, Mobility should be met
5~30 km	Throughput and spectrum efficiency are slightly degraded, Mobility should be met
30~100 km	Should not be precluded in the specification

III. MAC 계층 기술 동향

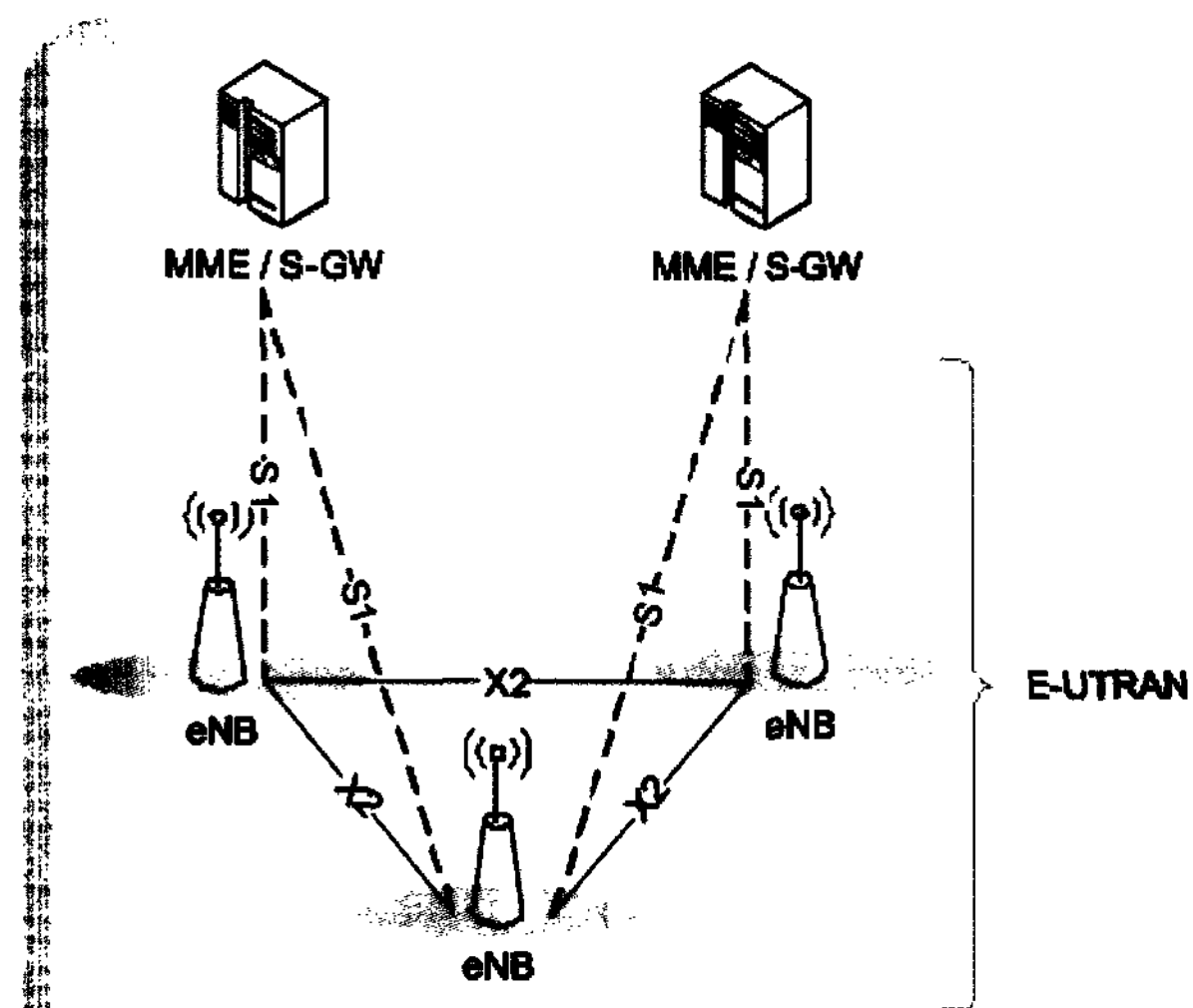
Rel. 6를 포함하는 기존 3GPP 시스템과는 달리 3G LTE 시스템의 Radio Resource Control (RRC) 기능은 eNodeB로 이동하게 되었다. 이는 과거 NodeB상위의 Radio Network Controller (RNC)에 위치하여 다중 셀(Cell)을 관장하며 Radio control의 중심역할을 하던 기능의 대부분이 무선자

원과 가장 밀접한 하위 시스템으로 이동하여 프로토콜과 네트워크의 구조를 간략하게 만든 것이다. 간소화된 네트워크 구조와 변경된 프로토콜 스택은 최소 지연을 갖는 적응형 고속 전송 시스템을 구현하는데 필수적이었지만, 네트워크 구조의 변경으로 인한 이동성/인증/기존망 호환성 등을 고려한 표준화 작업이 필요하였다.

본 장에서는 3GPP technical standard (TS) 36-series에 기반하여 LTE 시스템의 네트워크 구조, 프로토콜 구조, L2 관련 주요 이슈 등을 살펴본다.[3-5]

1. Overall Architecture

Evoloved UTRAN (E-UTRAN) 다수의 eNodeB로 구성된다. eNodeB들은 X2 인터페이스를 가지고 연결되어 있으며, S1 인터페이스를 이용해서 Evolved Packet Core (EPC)에 연결되어 있다. (그림 1)에 나타난 바와 같이 Mobility Management Entity (MME)와 Serving Gateway (S-GW)가 EPC에 포함된다.

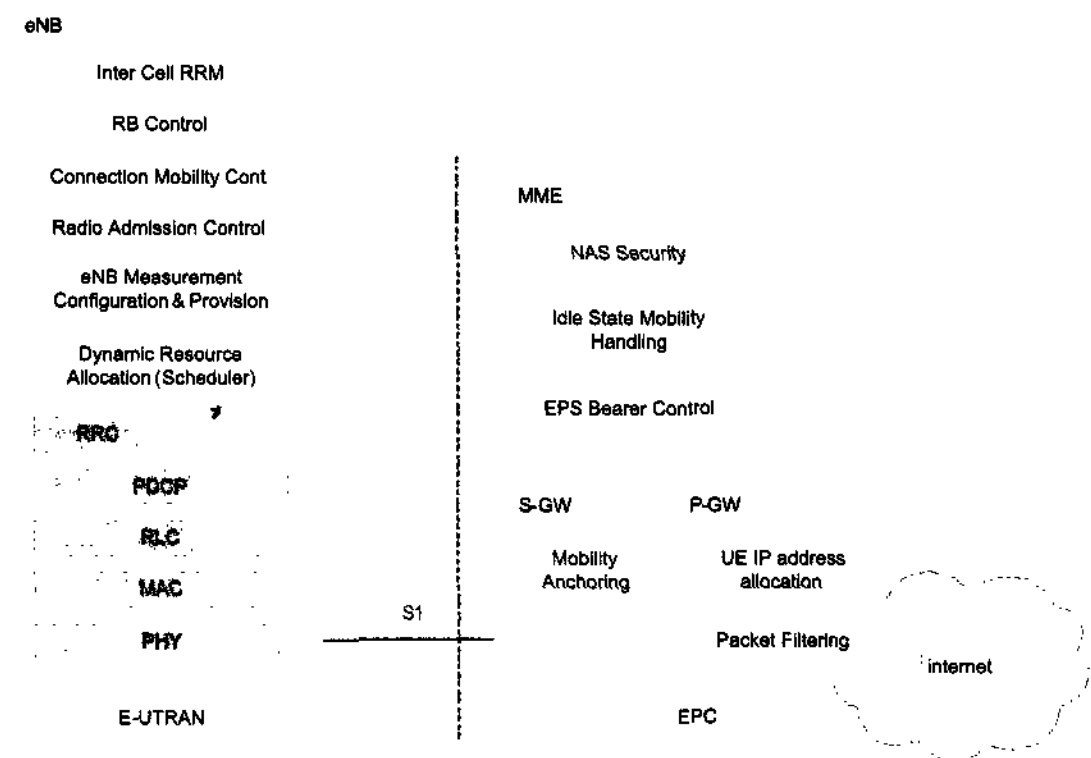


(그림 1) Overall Architecture

2. E-UTRAN과 EPC 사이의 기능적 분할

(그림 2)에서는 E-UTRAN과 EPC의 기능 구분을 도시하였다. 그림에서 음영박스로 표시된 RRC/PDCP/RLC/MAC/PHY는 protocol stack을 의미하고, 일반박스로 처리된 부분은 개념적인 기능을 의미한다. 그림에서 보이는 바와 같이 기존 RRC의 대표적인 기능이 eNodeB에 포함되어 있으

며, 핸드오버에 대한 triggering도 eNodeB에서 일어나게 된다.

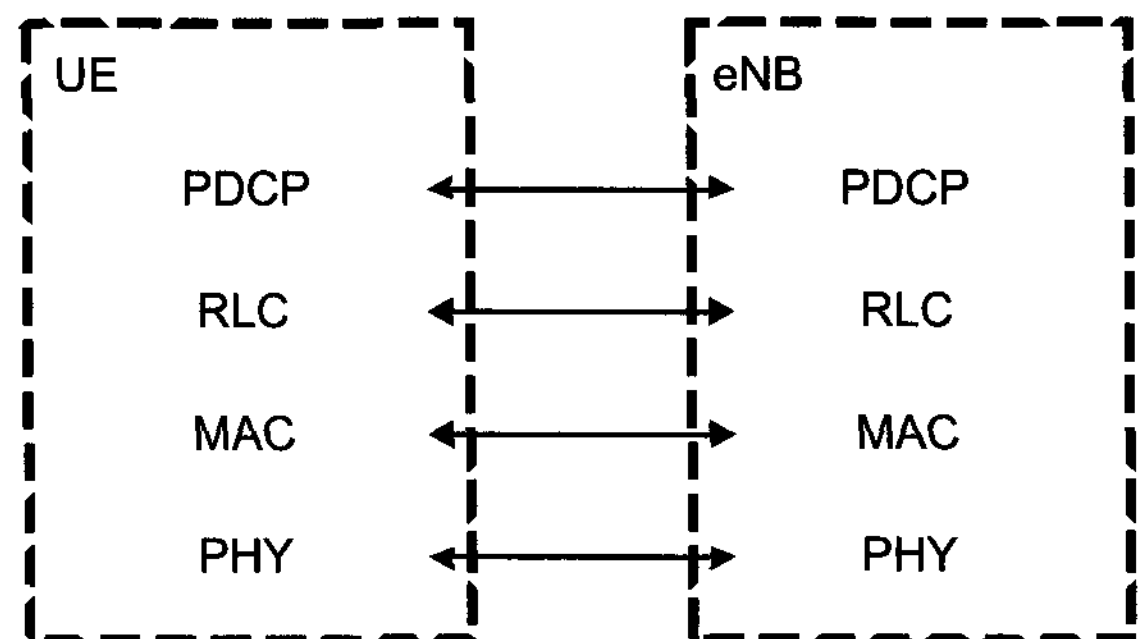


(그림 2) Functional Split

3. 무선 프로토콜 구조

A. U-Plane

3GPP에서 U-Plane, 혹은 사용자 플레인인 사용자들의 데이터가 전송되는데 관여된 경로 또는 평면을 의미하며, 주로 사용자 서비스에 관여된 측면으로 이해하면 된다. 아래 (그림 3)에서와 같이 PDCP, RLC, MAC, PHY 등의 각각의 프로토콜 계층으로 세분화되며, UE와 eNB 간 프로토콜 별로 매핑 된다. U-Plane 에서 프로토콜들은 헤더 압축, ARQ/HARQ 재전송, 패킷 전송에 관련된 스케줄링, 암호화 등의 기능을 담당하게 된다. 이들 프로토콜 스택은 eNodeB에서 종단 (Termination)된다.

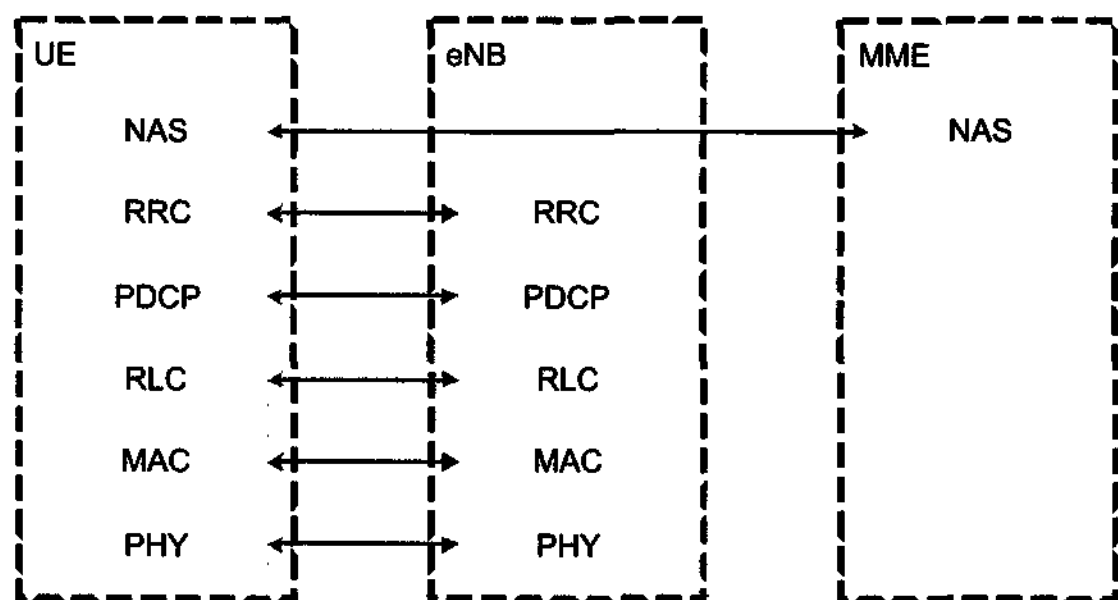


(그림 3) U-Plane Protocol Stack

B. C-Plane

C-Plane, 혹은 제어 플레인인 LTE 유무선 네트워크가 운용되는 데 필요한 제어 정보에 관련된 평면으로써, 사용자가 random access(RA)로 초기 접속하여 무선 자원을 할당 받아 해당 서비스를 제공 받을 수 있는데 까지 필요한 절차나 정보, handover시에 target cell에서 서비스 개시 전에 이뤄져야 하는 제어정보 등의 전달이 C-Plane의 주요 기능이다. (그림 4)는 C-Plane에서의 프로토콜 스택을 보여준다.

U-Plane의 프로토콜들에 RRC, NAS 프로토콜이 추가된 형태가 된다. RRC는 broadcast/Paging/RRC connection management/RB control/ Mobility functions/UE measurement reporting and control 등을 담당한다. MME에서 중단되는Non-Access Stratum (NAS)기능은 EPS bearer management/Authentication/EMM-IDLE mobility handling/Paging origination in EMM-IDLE/security control 등을 담당한다.



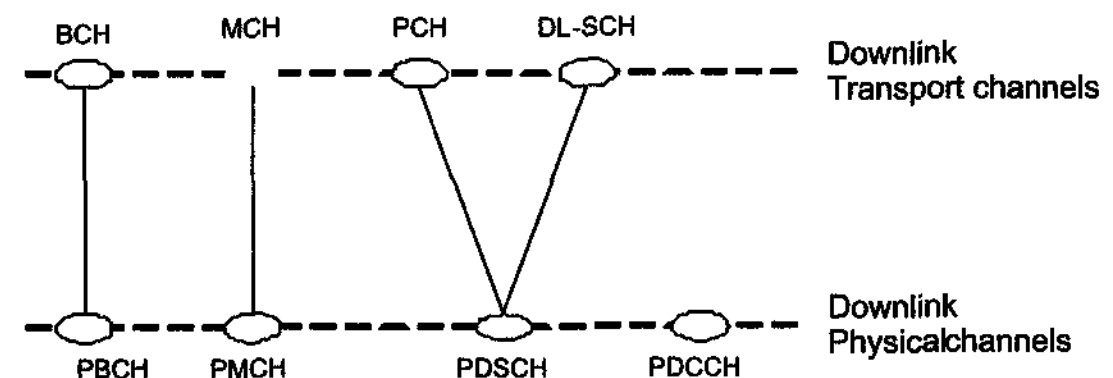
(그림 4) C-Plane Protocol Stack

4. 트랜스포트 채널

3GPP 규격에서 트랜스포트 채널 (transport channel)은 물리계층(PHY)과 접속제어 계층 (MAC) 사이에 정보 흐름 채널이며, 각 명칭은 무선 채널 구간을 포함하여 정보의 특징과 전송 특징에 의해서 이름 붙여진다. Transport channel은 상위계층의 논리채널 (logical channel)과 매핑(mapping) 관계를 가지고 있으며, 하위계층의 물리채널 (physical channel)과 매핑된다. (그림 5)는 하향링크에서의 트랜스포트 채널과 물리채널의 매핑관계를 보여주고 있으며, (그림 6)은 상향링크에서의 매핑관계를 보여준다. 각 트랜스포트 채널의 이름과 대략적인 기능은 다음과 같다.

A. 하향링크 채널

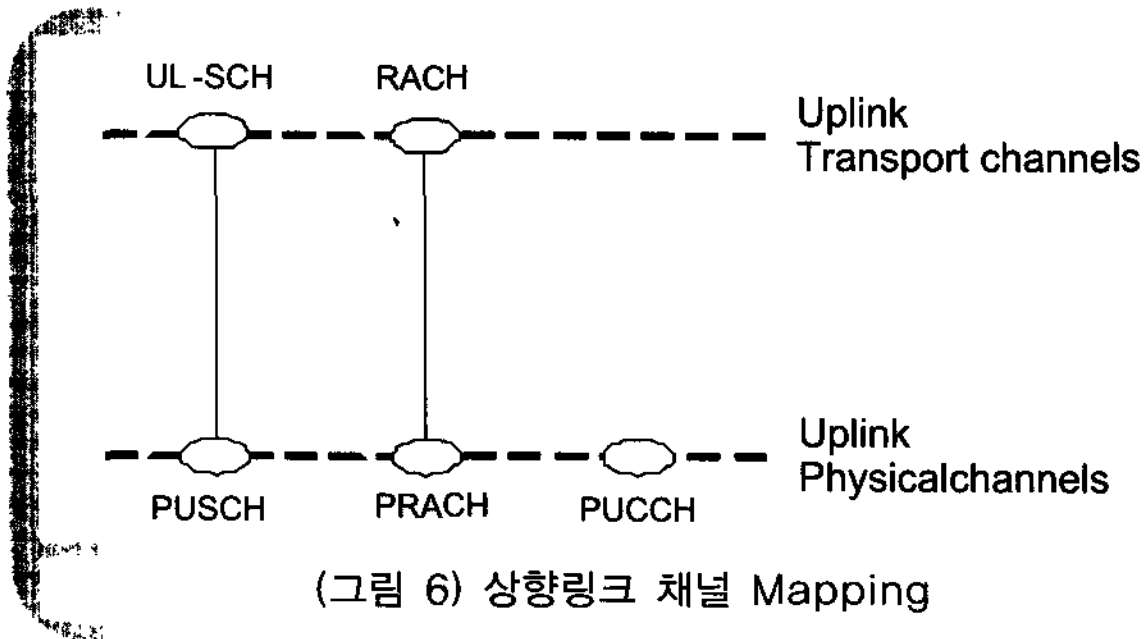
- BCH: Broadcast Channel은 셀 전체에 전송되는 특정 기지국정보, 파일럿 정보, 다양한 셀 제어 정보 등을 셀 내의 모든 UE에게 브로드캐스팅하는 채널이며, 미리 정의된 포맷에 따라서 전송한다.
- DL-SCH: Downlink Shared Channel (DL-SCH)은 HARQ, 적응 코딩 및 변조, 동적 및 반 고정적인 자원할당이 지원되며 전력 소모를 줄이기 위한 Discontinuous Reception (DRX) 방식으로 동작 가능해야 한다. 실제 서비스 관련된 데이터가 전송되는 채널이다.
- PCH: Paging Channel은 DRX 주기를 반영하여 셀 전체에 전송 될 수 있어야 하고, 무선 자원은 동적으로 할당 가능하다. PCH는 물리채널 중 PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)에 매핑된다.
- MCH: Multicast Channel은 Multimedia Broadcast and Multicast System (MBMS)이 제공하는 서비스에 사용되는 채널로써, 반 고정식의 자원 할당이 가능하고 셀 전체에 전송 가능하여야 한다.



(그림 5) 하향링크 채널 Mapping

B. 상향링크 채널

- UL-SCH: Uplink Shared Channel(UL-SCH)은 셀 전체에 전송가능하며, DL-SCH와 기본적으로 같은 특성을 갖는다. 상향링크 특성상 전송 파워 제어도 필요하다.
- RACH: Random Access Channel (RACH)은 충돌 가능성이 있는 랜덤 접속 채널로써, 제한된 양의 정보만을 전송할 수 있다. 실제로는 물리계층 접속 preamble 정보 또는 수 bits 수준의 정보량을 다룰 수 있으며, 개루프 파워제어 (Open Loop Power Control)도 적용 가능하다.

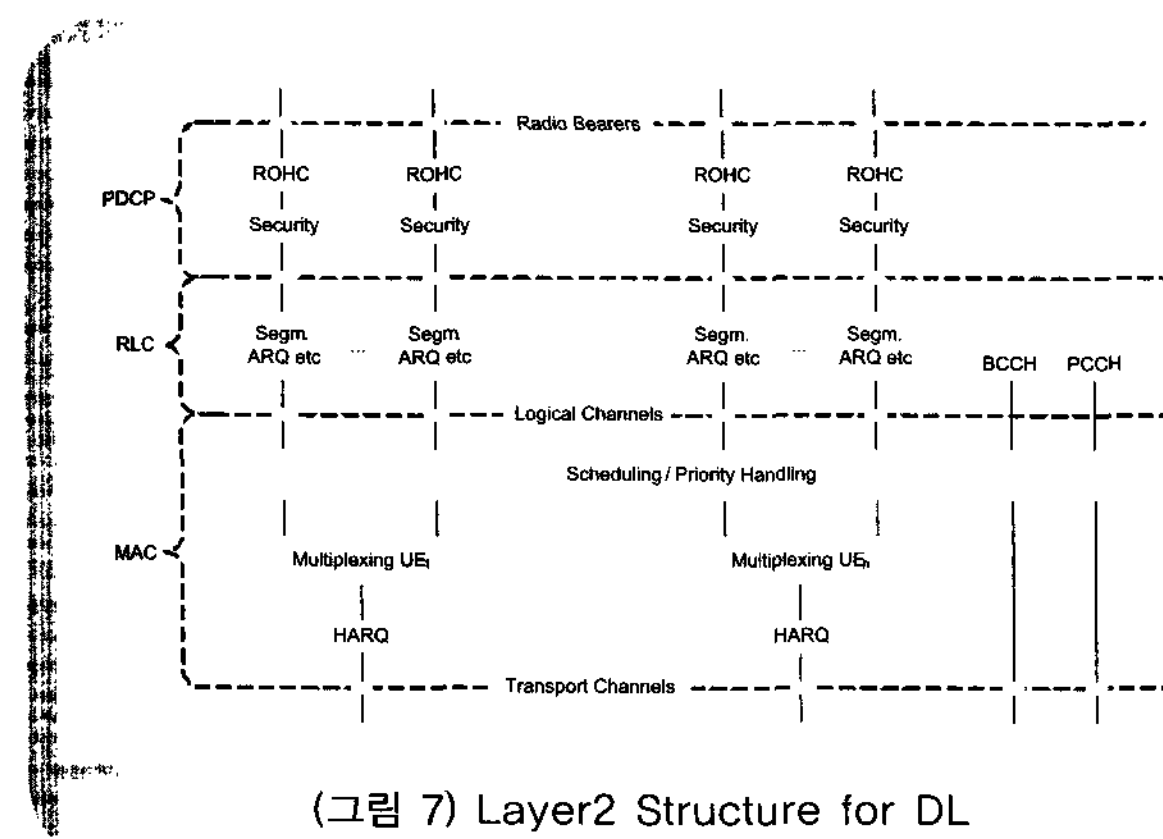


(그림 6) 상향링크 채널 Mapping

5. Layer 2 (L2) Overall Structure

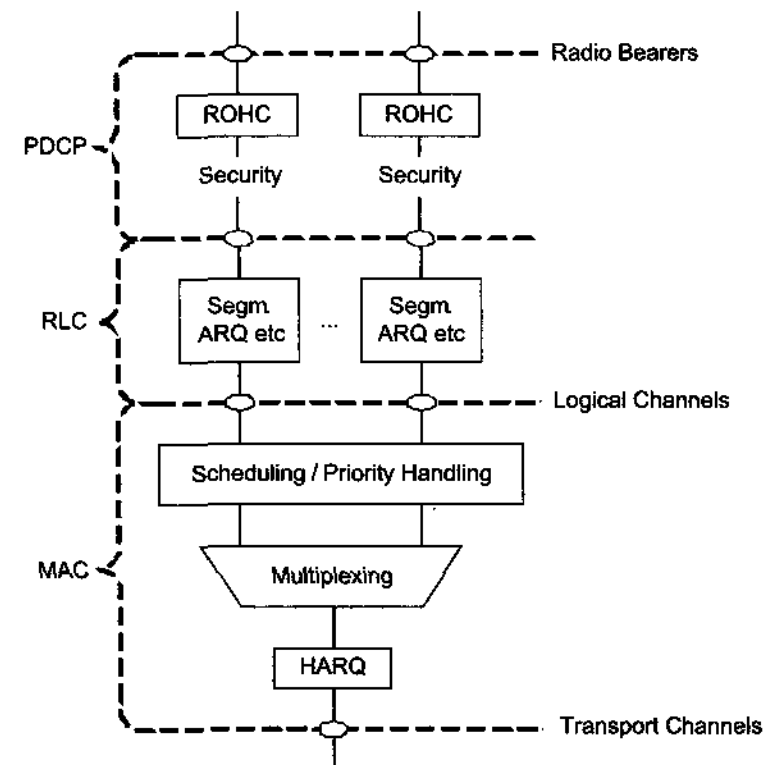
앞서 살펴 보았듯이 LTE Layer2는 PDCP, RLC, MAC의 세 가지 부계층으로 구성된다. PDCP는 RFC3095인 ROHC를 통해서 IP header의 무선 구간 전송을 위해서 압축하게 된다[6]. RLC는 automatic repeat request (ARQ) 기능을 이용하여 상위 재전송 기능을 담당하며, 재전송 기능 특성에 따라서 Acknowledged Mode (AM)과 Unacknowledged Mode (UM)으로 구분된다. 또한, RLC는 스케줄러에 요청에 의해서 가변/적응형 길이의 패킷 분할(segmentation)을 지원한다. 수신측에서는 전송된 RLC PDU들을 재조립(re-segmentation)하여 순서에 맞게 상위로 전달(In-sequence delivery)하는 기능을 담당한다. MAC 계층에서는 복수의 Radio Bearer를 통해서 전달된 RLC 분할된 데이터들이 멀티플렉싱(multiplexing) 되게 되며, HARQ에 의해서 하위계층 재전송 기능을 가지게 된다. 하향링크의 경우에 만 동시에 복수 개의 트랜스포트 채널을 가질 수 있다.

(그림 7)과 (그림 8)은 상하향링크 각각에 대해 Layer2 계층



(그림 7) Layer2 Structure for DL

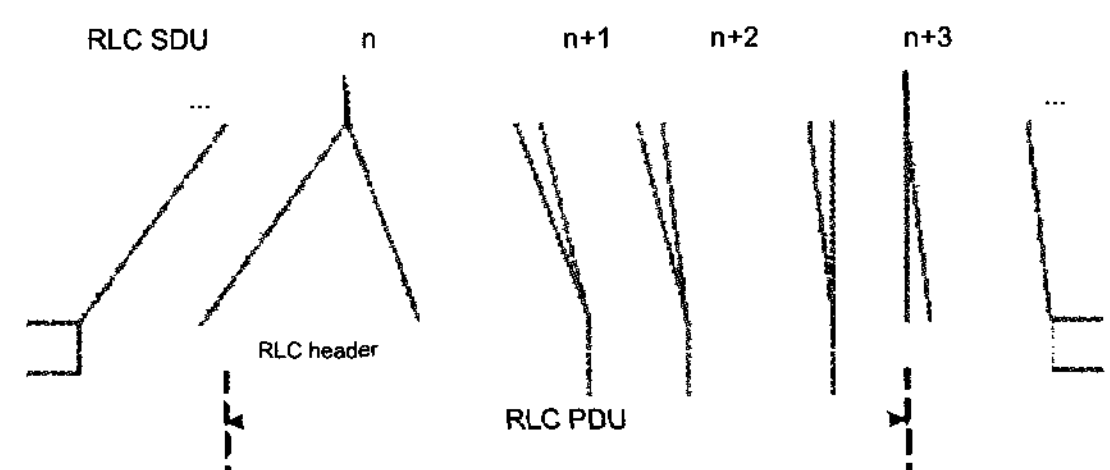
의 각 부계층 사이의 bearer 관계와 data alc control flow의 부계층별 매핑 관계를 도식적으로 보여주고 있다.



(그림 8) Layer2 Structure for UL

6. RLC PDU Structure

RLC PDU (Protocol Data Unit) 구조는 아래의 (그림 9)에 잘 나타나 있다. RLC는 IP header 압축된 다수의 RLC SDU를 연결(Concatenation) 또는 분할을 통해서 하나의 RLC PDU를 구성하게 된다. 하나의 RLC PDU는 기술적으로 스케줄러에 의해서 하나의 Radio Bearer에 할당된 자원할당량에 의해서 결정되게 될 것이다. 그림에서 n, n+1 등은 RLC SDU (Service Data Unit) 의 sequence number (SN)을 의미한다.



(그림 9) RLC PDU Structure

7. ARQ and HARQ

LTE는 ARQ와 HARQ를 모두 지원할 수 있다. 이들 재전송 기능은 재전송 대상이나 방법은 다르지만, 근본적으로 무선 채널 에러에 대한 대처방법으로써 동일한 목표를 가지고 있다. LTE의 시작점에서 논의된 기본 방침의 하나는 물리계층

에 인접하여 재전송 지연이 최소화되는 HARQ를 주로 활용하여, 이들이 지원하는 재전송의 중복 기능을 제거하고 상호협력 (Interaction) 할 수 있는 구조를 만들자는 것이다. 다음은 HARQ, ARQ 기능을 간략히 설명하고 상호협력에 관한 진행사항을 간략히 살펴 본다.

A. HARQ

HARQ는 N개의 프로세스 ID를 가지는 Stop-And-Wait 방식으로 운영된다. HARQ의 재전송 단위는 transport block (TB) 이며, 이는 MAC에서 multiplexing 되어 물리채널로 전송되는 에어 구간의 전송 단위이다. 하향링크에서는 비동기 적응형 (Asynchronous Adaptive) HARQ을 지원하며, 비동기 방식은 동기 방식을 포함하여 정의되어 있다. 재전송이 발생하면, 재전송에 관한 자원할당 정보가 다시 전송되어야 한다. 상향링크에서는, 동기식 (Synchronous) HARQ 방식을 지원한다. 무선 채널상태의 변화없이 재전송이 발생할 경우에 상향링크 전송에 대한 하향 ACK/NAK 정보에 의해서 재전송이 발생하게 되고, 채널 상태가 변하여 적응형 방식으로 자원할당 정보가 바뀔때에는 하향링크 ACK/NAK와 더불어 자원할당 정보가 다시 전송 되어야 한다.

B. ARQ

ARQ 기능은 RLC 부계층 내에 존재하며, 다음과 같은 특성을 가진다. ARQ 재전송 단위는 RLC SDU들의 연결/분할된 결과물인 RLC PDU이다. RLC 재전송의 운용은 기존방식대로 RLC-to-RLC 상태 정보 (Status Reports)를 이용하거나 HARQ/ARQ 상호협력을 통해서 운영할 수 있다.

C. HARQ/ARQ Interaction

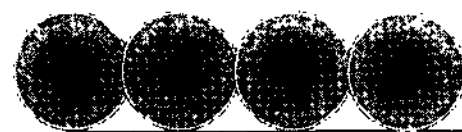
앞서 살펴본 바와 같이 HARQ/ARQ 기능은 재전송의 단위나 방식의 차이가 있을 뿐, 재전송에 의해서 채널의 에러를 상쇄하는 방법이다. HARQ는 동작시에 ACK/NACK 피드백 채널 자체의 에러 발생률이 존재한다. 경우의 수를 모두 분석해보면 HARQ ACK/NACK 채널이 무결할 경우에 ARQ가 필요 없다는 결론에 쉽게 이르게 된다. (물론 재전송 횟수 등에 따라서 다른 결론에 이를 수 있으나 어디까지나 파라미터 운용의 문제이고, 기능의 문제는 없다.) 따라서, LTE에서는 HARQ를 최대한 활용하여 재전송을 해결하고, HARQ

NACK가 ACK로 바뀌는 상황에 해당 상황을 알려서 문제를 해결하는 NACK-ACK Indication 방식을 논의하여 왔다. 현재 규격 전반적으로 세부적인 부분을 논의 하고는 있으나, 본 규격에 관해서 결정된 상황은 없는 상황이다. 참고로 실제 구현 상황을 예를 들자면, ETRI 광대역무선MAC 팀이 2006년 12월에 HARQ/ARQ Interaction에 관한 자체 알고리즘을 구현하여 시뮬레이터 상에서 성능 확인을 마쳤으며, 2008년 1월에 세계최초 상용 LTE시스템을 공개하였을 때에도 해당 알고리즘을 사용하여 핸드오버 시연까지 검증하였다.

IV. 결 론

본고에서는 4G의 대표 후보 기술로 거론되는 3GPP LTE 시스템의 Layer2 기술 동향을 살펴보았다. 패킷 기반의 고속 데이터 통신을 제공하기 위하여 변경된 네트워크 및 프로토콜 구조의 영향으로 Layer2는 하나의 엔티티로 흡수되었으며, 그 효율성을 향상 시킬 수 있는 발판을 마련하였다. 스케줄러에 의한 자원 할당이 RLC에 직접적으로 영향을 미치게 됨으로써 가변/적응형 자원할당을 지원하는 RLC PDU 헤더가 필요하게 되었으며, HARQ/ARQ 상호협력을 통하여 재전송 관련 오버헤드를 줄이고 빠른 피드백의 HARQ 위주로 ARQ 기능을 대폭 축소 시킬 수 있었다.

HARQ/ARQ 상호 협력에 대한 최종 규격 작업이 완료되는 않았으나, 필드 시험에 성공한 ETRI의 사례를 볼 때 그 효율성과 가능성은 검증되었다고 볼 수 있다. 향후, 4G의 기술 요구사항이 구체화 되는 시점에서 필요기술을 보완한다면 현재 규격화된 후보기술 중에서 시장을 선점할 가능성이 가장 높다고 전망된다.



- [1] 장재득, 박형준, 방승찬, "4세대 이동통신 (4G) 후보 기술 동향 분석," 정보통신연구진흥원 주간기술동향 통권 1333호, pp. 11-18.

- [2] 3GPP TR25.913 v7.3.0, "Requirements for Evolved UTRA and Evolved UTRAN," Mar. 2006.
- [3] 3GPP TS36.300 v8.3.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description," Dec. 2007.
- [4] 3GPP TS36.321 v8.0.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Medium Access Control (MAC) protocol specification," Dec. 2007.
- [5] 3GPP TS36.322 v8.0.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Radio Link Control (RLC) protocol specification," Dec. 2007.
- [6] RFC 3095, "Robust Header Compression (ROHC): Framework and four profiles: RTP, UDP, ESP, and uncompressed," Jul. 2001.

약 력



김 강 희

1999년 부산대학교 학사
 2001년 광주과학기술원 석사
 2005년 광주과학기술원 박사
 2005년 ~ 현재 ETRI 이동통신단 선임연구원
 관심분야: 무선통신 Layer2 crosslayer 기술 개발, 무선 통신 시스템 규격 개발 및 기술 분석



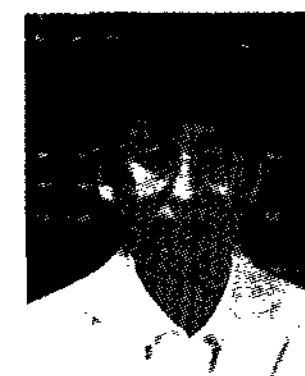
여 건 민

1995년 포항공과대학교 학사
 1997년 포항공과대학교 석사
 2001년 포항공과대학교 박사
 2001년 ~ 현재 ETRI 이동통신단 선임연구원
 관심분야: 큐잉이론, 스케줄링, 이동통신 MAC



유 병 한

1985년 한양대학교 학사
 1988년 서울대학교 석사
 1997년 오사카 대학 박사
 1988년 ~ 현재 ETRI 이동통신단 광대역무선MAC팀 팀장
 관심분야: 유무선 통신 MAC 프로토콜 개발, 트래픽 제어



신 석 주

1997년 한국항공대학교 학사
 1999년 광주과학기술원 석사
 2002년 광주과학기술원 박사
 2002년 일본 CPL 방문연구원
 2002년 ~ 2003년 ETRI 이동통신단
 2003년 ~ 현재 조선대학교 조교수
 관심분야: 유무선통신 MAC 기술, 협력통신시스템 무선 접속 기술, 센서네트워킹 기술

