3G LTE 물리계층/MAC 계층 기술 동향

Overview of 3G LTE L1/L2 Standardization Works

차세대 이동통신 특집

김일균 (I.G. Kim) 이동패킷전송연구팀 선임연구원
김재흥 (J.H. Kim) 광대역무선MAC연구팀 선임연구원
김영훈 (Y.H. Kim) 이동패킷전송연구팀 팀장
유병한 (B.H. Ryu) 광대역무선MAC연구팀 팀장
박형준 (H.J. Park) 초고속단말모뎀연구팀 팀장
방승찬 (S.C. Bang) 무선전송기술연구그룹 그룹장

목 차

이동통신 시스템은 점차 고품질 및 고속의 멀티미디어 서비스를 제공하는 방향으로 가고 있다. 3GPP에서는 기존의 WCDMA 기반의 3세대 이동통신 시스템의 기술적 한계를 극복하기 위해 2004년 말에 3rd Generation Long Term Evolution(3G LTE) Plan을 발표하고, 2006년 6월까지 Technical Report 규격을 작성완료하고 2007년 6월까지 Technical Standard 작성완료를 목표로 2005년 초부터 규격 작업을 수행하고 있다. 본 고에서는 3G LTE 물리계층 및 MAC 계층의 기술 표준화 동향을 살펴본다.

I. 머리말

3GPP는 IMT-2000 관련 이동통신분야 국제 표준화 기구로서 유럽을 중심으로 한국, 미국, 일본, 중국 등 세계 각국의 이동통신 관련 회사들이 참여하여 이동통신 국제 표준을 제정하는 단체로서 1999년도에 WCDMA 기반의 3세대 이통통신 규격을 제정하였고 이후 HSDPA/HSUPA를 포함한 Release 6 규격을 완료하였다. HSDPA/HSUPA 규격은 WCDMA 규격을 한 단계 업그레이드한 규격으로서 최대 데이터 전송속도가 14.4Mbps(uncoded)이다. 한편 3GPP 일각에서는 DS-CDMA 기반의 무선전송 기술은 소프트 핸드오버를 고려하는 음성위주의 저속 데이터 전송방식으로서는 매우 효율적인 무선전송 방식이지만 다경로 페이딩 환경에서 고속의 데이터를 전송하는 데에는 부적합하다라는 의견이 제시되어 왔다. 결국 2002년부터 2004년까지 OFDM 기반의 전송방식을 3GPP에서 별개의 아이템으로 study가 진행되고 OFDM 방식과 CDMA 방식의 성능을 비교하는 TR이 작성되었다. 2004년 12월 캐나다 토론토에서 3GPP 관련 전세계의 업체들이 모여서 2일간 세미나를 했는데 그때 논의 내용은 3G LTE에 관한 내용이었다. 결국 그 회의에서 한 단계 진보한 무선전송 기술을 3GPP 내에서 새로 작성하자고 의견수렴이 되었고 이후 하향링크에서 최대 100Mbps, 상향링크에서 최대 50Mbps의 데이터 전송속도를 20MHz 대역폭 내에서 제공하자라고 하는 내용을 주 요구사항으로 하는 Requirement 규격[1]이 3GPP RAN 정규회의에서 작성되었고 규격화 일정도 정해졌다. 현재 3GPP RAN의 각 WG에서는 2006년 6월까지 TR 규격을 작성완료하고 2007년 6월까지 TS 작성완료를 목표로 규격 작업이 수행중이다. 본 고에서는 WG1 및 WG2에서 각각 다루어지고 있는 물리계층 기술 동향 및 MAC 계층 기술 동향에 대하여 살펴본다. 현재 WG1에서 Study Item의 결과로 작성중인 물리계층 규격은 TR25.814[2]로서 하향링크와 상향링크의 물리계층의 가능한 여러 가지 기술들을 포함하고 있고 WG2에서 작성중인 MAC 계층 규격은 TR25.813으로서 무선 인터페이스 프로토콜 관련 기술들에 대해 언급하고 있다. 향후 Work Item Phase에서는 Study Item Phase에서 작성된 TR 문서에 포함된 여러 가지 기술들을 기반으로 TS 문서가 작성될 것이다. 따라서 Study Item Phase에서 일단 TR 규격에 각 회사가 보유하고 있는 기술들을 반영하는 것이 중요하다.

본 논문의 II장에서는 Requirement 규격[1]에 기반한 3G LTE Requirement에 대해 언급하고 3G LTE 물리계층 표준과 MAC 계층 표준으로 나누어 III장에서는 TR25.814[2]에 언급되어 있는 물리계층 표준 기술들의 동향에 대해서 언급하고 IV장에서는 TR25.813[3]에 제시되어 있는 MAC 계층 표준 기술들의 동향에 대해 언급한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 3G LTE 요구사항

1) Supporting Services Provided from the PS-Domain

3G LTE은 PS-domain에서 제공받는 서비스에만 초점을 맞춘다. 현재 Release 6 이하의 3GPP 규격에서 제공되는 circuit domain 서비스는 evolved PS domain에서 기존과 동일하거나 보다 나은 QoS, backhaul 그리고 radio 효율로 제공되어야 한다.

2) 최대 전송속도

3G LTE는 하향링크의 경우 100Mbps, 상향링크의 경우 50Mbps를 제공하여야 한다.

3) Cell Edge Bit Rate

• 하향링크

5% CDF 포인트에서의 user throughput은 단일 Tx 및 Rx 안테나 환경에서 주파수 영역 등화기를 사용하는 Release 6 HSDPA 보다 3~4배 정도가 되어야 한다.

• 상향링크

5% CDF 포인트에서의 user throughput은 단일 Tx 및 Rx 안테나 환경의 HSUPA에 비해 2~4배가 되어야 한다. Average user throughput은 2~3배가 되어야 한다.

4) Spectrum Efficiency

Spectrum efficiency는 Release 6 대비 2~4배가 되어야 한다.

5) Possibility for a Radio-Access Network Latency

무선 액세스 네트워크의 round trip time(*user-plane UE - RNC* (또는 *corresponding node above Node B*) - *UE*)는 10msec 이하(possibility)가 되도록 한다.

6) Scaleable Bandwidth

기본적으로 5, 10, 20MHz는 default이고 15MHz도 가능해야 한다. 1.25MHz 및 2.5MHz도 고려해야 한다.

7) Enhanced MBMS

3G LTE 시스템은 enhanced MBMS를 제공해야 한다. Enhanced MBMS의 spectrum efficiency는 Release 6의 x배가 되어야 한다. (TR에서 x를 정확히 명시하지는 않았음)

8) 이동국 속도

시스템은 저속 이동국 속도에 최적화되어야 한다. 하지만 고속 이동국도 지원해야 한다. 음성 서비스의 경우 300km/h에서도 기존의 3G 시스템과 동일한 품질을 만족해야 한다.

9) 주파수 대역

3G LTE 시스템은 paired 및 unpaired 모두에서 동작 가능하여야 한다.

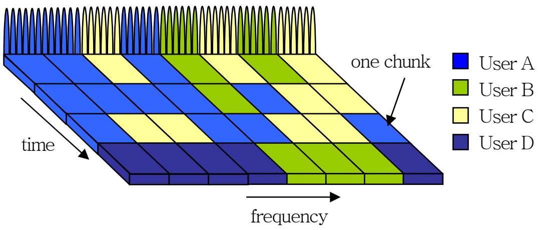
Ⅲ. 물리계층 기술 동향

1. 다중접속 기술

3G LTE 물리계층[2]에서 고려되고 있는 다중접속(multiple access) 기술은 하향링크와 상향링크가 서로 다른 기술을 고려하고 있다. 하향링크의 경우 OFDM 기술을 주 논의 대상으로 하고 있고 상향링크의 경우는 단말기 전력 증폭기의 PAPR을 최소로 하기 위해 DFT Spread OFDM(DFT-S-OFDM) 기술을 논의 대상으로 고려하고 있다.

가. 하향링크 다중접속 기술

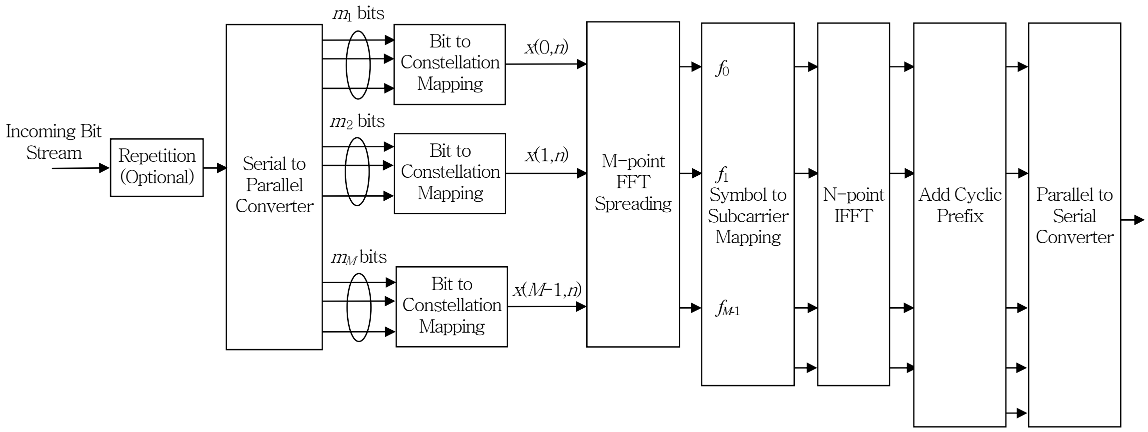
하향링크의 다중접속 기술은 이미 IEEE 802 계열에서 많이 사용하는 OFDMA 기술이 주 working assumption이다. 저속 이동국의 경우 하나의 resource block(25 subcarriers × 7 OFDM symbols) 단위로 주파수 스케줄링 개념을 도입하는 user diversity 기반의 멀티플렉싱을 도입한다. 고속 이동국의 경우에는 user diversity 대신 주파수 다이버시티를 얻는 방식을 도입한다. (그림 1)은 resource 블록의 예를 나타낸다.



(그림 1) Resource Block

나. 상향링크 다중접속 기술

상향링크의 다중접속 기술은 이동국의 PAPR을 줄이기 위해 DFT-S-OFDM 기술을 주 working assumption으로 채택하고 있다. (그림 2)는 DFT-S-OFDM 송신기 개념도를 나타낸다.



(그림 2) DFT-S-OFDM

2. 셀 탐색 기술

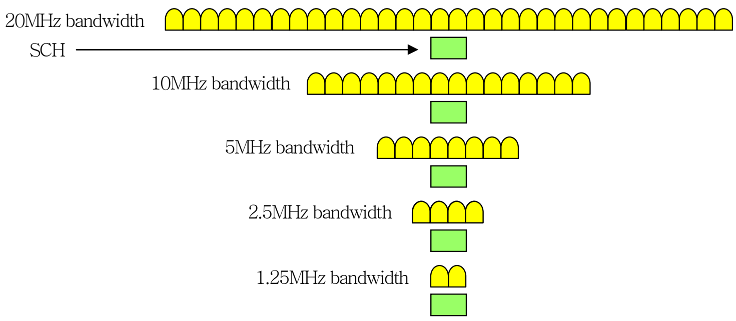
이동통신 시스템에 있어서 셀 탐색 기술은 이동국의 Mobility Management, 즉 핸드오버와 밀접한 관련이 있어서 매우 중요하다. 크게 초기 셀 탐색과 핸드오버를 위한 인접 셀 탐색으로 나뉠 수 있다. 셀 탐색과 관련되는 하향링크의 채널 구조는 동기채널(SCH) 및 BCH 그리고 파일럿 채널이 관련된다. 이 중에서 주로 동기채널의 구조가 가장 큰 관련이 있는데 현재 3GPP에서는 ETRI를 포함하여 많은 회사들이 각자 셀 탐색을 효율적으로 하기 위한 동기채널 구조를 제안하고 있다. ETRI에서도 3G LTE 셀 탐색 방식을 제안하고 있는 상태이다. 현재 표준화 진행중이고 현재 작성중인 TR은 ETRI의 방식을 포함하여 여러 회사의 방식이 수용되어 있으며 향후 이중 가장 좋은 방식이 최후 TS에서 선택될 것이다.

가. Scalability를 고려한 동기채널 구조

3G LTE 기지국 시스템은 앞 절에서도 언급했듯이 시스템 대역폭이 1.25MHz에서 20MHz까지 다양하게 제공된다. 즉 이동국이 지원하는 최소 대역폭이 10MHz이지만 상황에 따라서 1.25MHz 대역폭만 제공하는 기지국에 접속하거나 혹은 5MHz, 10MHz, 20MHz 기지국에 접속할 수 있어야 한다. 이 경우 모든 경우에 대해 셀 탐색이 가능하게 하기 위해서 동기채널의 대역폭은 (그림 3)에서 알 수 있듯이 시스템 대역폭에 상관없이 1.25MHz로 고정되어야 처음에 이동국에 전원이 인가되었을 때 시스템 대역폭에 관계 없이 시스템 동기를 획득할 수 있게 된다.

나. 프레임내 SCH 심볼 수

TR25.814에서는 프레임내 가능한 SCH 심볼 수



(그림 3) Scalability를 고려한 주파수 영역 SCH 구조

를 1개 혹은 여러 개를 두는 것을 명시하고 있다. 정확한 개수는 향후 TS 규격화 시 결정되겠지만 프레임내 SCH의 개수를 정하는 데 있어서 가장 중요한 요소는 Inter-RAT measurement의 가능성이다. 즉, 초기 3G LTE 네트워크 투자 비용을 줄이기 위해 3G-LTE 단말기는 GSM 혹은 WCDMA와의 듀얼모드로 동작할 가능성이 매우 높다. 이 경우 GSM to 3G LTE(혹은 WCDMA to 3G LTE)로의 핸드오버를 지원해야 하는데 이 경우 GSM과 통신하는 이동국이 잠시 주파수를 바꿔 3G LTE를 탐색할 수 있는 시간은 최대 4.6msec 정도에 지나지 않는다. 이 경우 10msec 프레임 당 동기채널이 1개 밖에 없을 경우 3G LTE 방식의 셀을 탐색할 수 없는 경우도 생길 수 있다. 따라서 Inter-RAT 핸드오버를 지원하려면 적어도 프레임 당 동기채널의 개수가 3개 이상이어야 한다.

3. MIMO

현재 3GPP LTE는 셀 위치에 2 Tx 안테나 UE에 2개의 Rx 안테나를 baseline으로 정하였고 최대 4개의 Tx/Rx 안테나를 고려하고 있다. 아래는 현재 3GPP LTE에서 논의되고 있는 하향링크 MIMO 기법에 대해 기술한다.

L1/L2 제어채널의 경우 후보 기술로 거론되고 있는 open-loop Tx 다이버시티 기법은 SFBC, CDD, Combined SFBC/CDD 이다. 이 중에서 Combined SFBC/CDD는 ETRI에서 제안한 기술로 4개의 Tx 안테나를 사용하는 경우에 적용할 수 있다. 이 밖에 SCH, BCH, PICH, PCH 채널에 대해서 STBC, SFBC, TSTD, FSTD, CDD가 후보기술로 올라와 있다. 데이터 채널의 경우 STBC, SFBC, TSTD, FSTDF, CDD 등이 거론되고 있으나 최종적으로 한 개의 Tx 다이버시티 기법을 택할 것으로 보인다.

Unicast를 위한 closed-loop MIMO 기법은 향후 다음과 같은 높은 수준 원칙을 따르는 MIMO 기법들에 대해 성능과 복잡도를 평가하여 결정하게 된다.

- 한 개의 자원블록에 대해 한 개의 부호어를 형성하여 전송하는 기법, 또는 한 개의 자원블록에 대해 최대 4개의 부호어를 전송하는 기법
- Codebook을 사용하는 precoding 방식: FDD의 경우 unitary precoding만을 고려
- Precoding 기법을 사용한 SDMA(또는 다수사용자 MIMO)
- 채널환경에 따른 전송 스트림 개수의 적응적 운영(rank adaptation)
- Node B가 다수사용자 MIMO와 단일사용자 MIMO 모드의 사용을 결정

현재 제안되고 있는 closed-loop MIMO 기법은 크게 단일사용자 MIMO와 다수사용자 MIMO 기법으로 나뉜다. 이 중 삼성의 PU2RC와 ETRI의 S-PUSRC는 precoding 기반 다수 사용자 MIMO 기법으로 공간적 영역에서 다수 사용자 다이버시티를 얻을 수 있어서 시스템의 전체적인 스루풋을 높일 수 있다. Qualcomm의 MIMO 기법은 피드백 오버헤드를 줄이기 위해 고안된 가상 안테나 permutation 기법을 특징으로 한다. 또한 다수 사용자 MIMO의 경우만 precoding을 사용하되 피드백 및 시그널링 오버헤드를 이유로 다수 사용자 MIMO를 제한적으로 운영하는 것을 선호하고 있다. Intel은 단일부호어 전송방식에 채널의 SVD를 통해 얻은 precoding 매트릭스를 양자화하여 이를 UE가 피드백하는 기법을 제안하고 있다.

4. 채널멀티플렉싱

EUTRA 하향링크 시스템에서는 저속으로 움직이는 UE들에게는 주파수 스케줄링 이득을 얻기 위해서 연속하는 부반송파 군을 할당하여 지역 전송하고 고속으로 움직이는 UE들에게는 주파수 다이버시티 이득을 얻기 위해서 연속하지 않는 부반송파 군을 할당하여 분산 전송하게 된다. 주어진 자원에서 지역 전송과 분산 전송을 수행해야 하므로 이를 효과적으로 할당하는 멀티플렉싱 기술에 대한 논의가 3GPP LTE TR25.814 표준[2]에서 진행중에 있다. TR25.814에 이러한 기술을 정의하기 위해 물

리채널의 PRB 외에 트랜스포트채널의 VRB를 정의하였으며 할당방식에 따라 LVRB와 DVRB로 나뉜다. 그러나 정확한 VRB와 PRB 간 매핑룰과 멀티플렉싱 방식은 정해지지 않았다. 따라서, 본 절에서는 지금까지 다수 업체 또는 기관에 의해 제안된 매핑룰과 멀티플렉싱 방식을 정리하고 성능과 시그널링 오버헤드 관점에서 비교하도록 한다.

가. 시간분배 멀티플렉싱

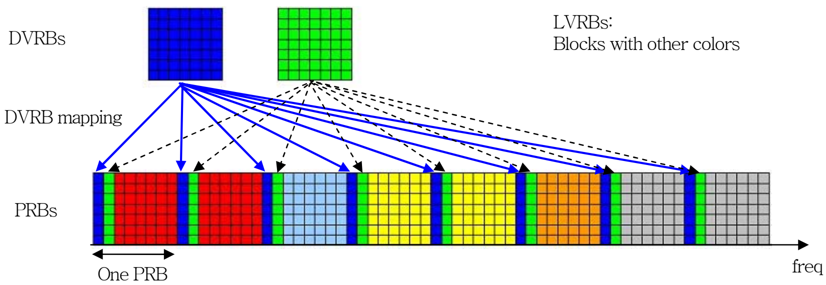
하나의 서브프레임 내에서는 지역할당전송과 분산할당전송 방식 중 하나의 할당방식만을 적용하고 시간적인 스케줄링을 통해서 서브프레임별로 서로 다른 할당방식을 적용하는 멀티플렉싱 방식으로 다수 업체들이 비슷한 견해를 가지고 있다. 특히, 삼성의 경우, 고속으로 움직이는 UE들이 많을 경우 이러한 방식을 적용하자는 안을 제시하고 있다.

나. 주파수분배 멀티플렉싱

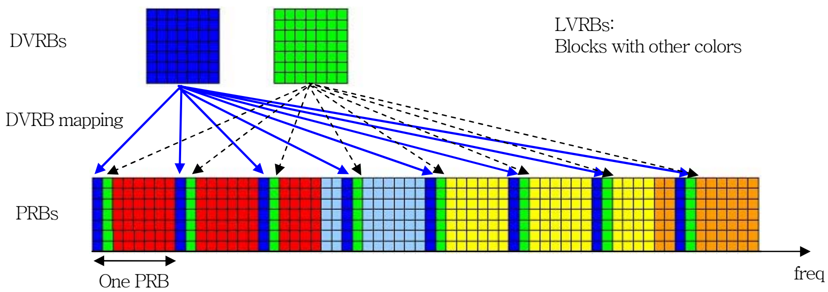
하나의 서브프레임 내에서 지역할당전송 방식과 분산할당전송 방식을 모두 적용하고 서브프레임별 또는 서브프레임 군별로 주파수 스케줄링을 수행하는 멀티플렉싱 방식으로 업체들 간 이견이 존재한다. 다음과 같이 크게 세 가지 방식으로 분류할 수 있다. 첫번째 방식은 (그림 4)와 같이 DVRB 매핑을 위해 지역전송할당의 PRB들에 DVRB 자원을 puncturing하는 방법이다. 따라서, DVRB 할당을 위해 별도의 PRB 자원을 예약하지 않아도 되지만, 지역할당전송 UE들은 DVRB 할당 정보를 알고 있어야 한다. 현재 이러한 방식은 주로 삼성과 퀄컴이 제안하고 있다.

두번째 방식은 (그림 5)와 같이 DVRB 매핑룰은 첫번째 방식과 동일하지만, LPRB에 할당된 DVRB 자원만큼 해당 LVRB 매핑 자원을 보상해주기 위해 지역할당의 PRB들이 늘려지는 방법이다. 이 방법도 첫번째 방식과 마찬가지로 지역할당전송 UE들은 DVRB 할당 정보를 알고 있어야 한다. 현재 이러한 방식은 주로 퀄컴과 LGE가 제안하고 있다.

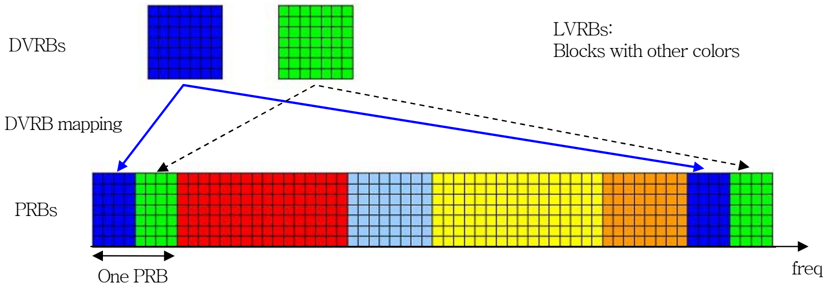
세번째 방식은 (그림 6)과 같이 DVRB 자원 매핑을 위한 PRB들이 LVRB 자원 매핑을 위한 PRB들



(그림 4) 첫번째 주파수분배 멀티플렉싱 방식의 한 예



(그림 5) 두번째 주파수분배 멀티플렉싱 방식의 한 예



(그림 6) 세번째 주파수분배 멀티플렉싱 방식의 한 예

과 별도로 있는 멀티플렉싱 방법이다. DVRB 매핑 룰은 DVRB를 위한 PRB 수와 주파수영역 상 위치에 근거하여 재구성된다. 따라서, DVRB UE들은 DVRB PRB 수와 위치를 알고 있어야 한다. 현재 이러한 방식은 주로 Motorola, NTT DoCoMo, Ericsson, Siemens, Philips가 제안하고 있다.

5. 랜덤액세스

랜덤액세스는 기지국과 연결되어 있지 않은 이동국이 기지국에 자원을 요구할 때 쓰인다. 랜덤액세스는 두 가지로 나뉘는데 이동국이 기지국이 보내는 동기채널(SCH)을 통해 하향링크 동기는 맞추고 있으나 round trip delay에 의한 상향링크 동기를 못 맞추고 있어, 자원요구와 상향링크 동기획득을 동시에 해야 하는 비동기 랜덤액세스(non-synchronized random access)와 상향링크 동기는 획득한 상태에서 자원만을 요구하는 동기 랜덤액세스(synchronized random access)가 있다. 두 경우 모두 어떤 이동국이 어떤 순간에 자원을 요구해올지 알 수 없는 상황이므로 경쟁체제(contention based)로 운용된다. 현재 주로 비동기 랜덤액세스를 다루고 있고 그 중에 주요 이슈가 되고 있는 것들은 다음과 같다.

첫째는 랜덤액세스 신호를 데이터 신호와 어떻게 멀티플렉싱 할 것인가이다. 현재 모토롤라는 꾸준히 코드 축 분할(CDM)을 주장하고 있고, 지난 회의에 시뮬레이션 결과를 가져와 데이터에 주는 간섭이 크지 않음을 보였다. 실제로, 비동기 랜덤액세스의 경우 타이밍 동기를 정확히 잡기 위해 대역폭이 커야 하고(현재 1.25MHz를 기본으로 하고 있음) 또 30 km의 셀까지 커버하기 위해서는 시간축에서도 넓은 범위(현재 1 부프레임을 기본으로 수 부프레임까지 가능)를 가져야 한다. 이것을 시간/주파수 축에서 직교자원으로 예약해 놓을 경우 부담이 커진다. 이에 비해 CDM으로 할 경우 간섭은 있지만 자원에 주는 부담은 적다. 하지만, 많은 회사들이 기본적으로 시간축 및 주파수 축 분할(TDM/FDM)을 선호하기 때문에 이번 회의에서 동의된 결론은 CDM의 여지는 남겨두되, 앞으로 power control이나 sequence design을 정할 때 TDM/FDM을 기본으로 한다는 것이다.

두번째는 power control scheme 이다. CDM을 할 경우 interference가 중요한 문제이므로 모토롤라는 WCDMA에서 했던 것과 같이 power ramping 이라는 기술(ACK를 받을 때까지 점차 신호세기를 키워가는 기술)을 가지고 나왔다. 한편 많은 회사에서 이야기했었고, 이번 회의에는 지멘스가 TP로 내놓은 open loop power control(하향 레퍼런스 신호와 기지국이 보내주는 전력정보를 가지고 초기 신

● 용 어 해 설 ●

<u>CDM(Code Division Multiplexing):</u> 여러 채널들을 서로 다른 코드를 사용하여 구분하는 방법. 일반적으로 IS-95 혹은 cdma2000 또는 WCDMA에서 사용되는 CDM 기술은 time domain에서 직접 시퀀스 대역확산과 결합되어 사용되는 기술인데 반해 3G-LTE에서 언급되는 CDM 기술은 OFDM 기술과 결합된 CDM 기술을 의미한다. 즉 주파수 영역의 코드 시퀀스에 의해 채널을 구분하는 방법을 의미한다.

호세기를 정하는 기술)의 두 기술의 선택이 주요 문제가 되었다. 결국 초기 신호세기는 open loop power control로 정하기로 하고, power ramping을 하되 zero step size도 가능한 것으로 하기로 동의하였다.

마지막 이슈는 Approach 1, Approach 2라는 랜덤액세스 방식과 관련된 문제로서, Approach 1이란 처음 타이밍동기를 위한 정보와 랜덤 ID를 실은 프리앰블을 보낼 때 데이터자원을 할당 받을 수 있는 UE 채널 및 버퍼정보 등을 함께 보내어 한 번에 데이터자원을 할당 받는 방식을 말하고, Approach 2는 일단 타이밍동기를 위한 정보와 랜덤 ID만을 보낸 후 데이터 자원을 할당 받기 위한 정보를 보낼 수 있는 자원을 할당 받은 뒤 그 자원에 데이터 자원을 할당 받기 위한 정보를 보내어 데이터자원을 할당 받는 과정을 말한다.

6. 파일럿 구조

상향링크와 하향링크에서 기준 신호(reference signal)는 크게 두 가지 목적을 위하여 사용된다. 하나는 채널 특성에 따른 주파수 스케줄링을 위한 것이고, 나머지 하나는 코히어런트 복조를 위한 채널 추정을 위한 것이다.

하향링크는 적응 배열 송신과 같이 특별한 경우를 제외하고는 모든 셀 내의 단말기에게 공통된 기준 신호를 전송한다. 기준 신호의 위치는 한 서브프레임에서 첫번째 OFDM 심벌에 위치하도록 하여 단말기가 제어 채널 복조를 신속하게 처리할 수 있도록 한다. 또한, 단말기의 이동이 고속이거나 채널에서의 시간 지연 확산이 큰 것과 같이 필요한 경우에 선택적으로 서브프레임 내의 5번째 OFDM 심벌에 기준 신호를 위치시킬 수 있도록 하였다. 기준 신호는 주파수 영역에서 6개의 서브캐리어 간격으로 배치되어 있다. 또한, Node B가 다수 개의 송신 안테나를 사용하는 경우에는 각 안테나별로 서로 다른 서브캐리어를 사용함으로써 직교성을 유지하는데 이를 주파수분할다중화방식(FDM)이라고 한다. 하향링크에서는 동일 Node B의 다른 섹터에서 오는 신호도 간섭으로 작용하므로 섹터별 기준 신호가 서로 직교하도록 할 필요가 있다. 이러한 섹터별 기준 신호는 주파수 영역에서 서로 직교하는 코드를 곱함으로써 직교성을 유지한다. 즉, 각 섹터에서 동일한 안테나에 대한 기준 신호는 모두 동일한 서브캐리어를 사용하고 서로 다른 코드를 곱한 형태로 전송된다. 이 때 사용하는 코드는 Hadamard 행렬과 같은 이진 형태의 직교 코드가 아닌 주파수영역에서 선형적으로 위상이 증가 혹은 감소하는 형태의 코드를 사용한다. 이를 코드분할다중화방식(CDM)이라고 하는데 코드는 주파수 영역에서 곱하여 송신하지만 실제 직교성은 시간 영역에서 얻는 것이다. OFDM 셀룰러 시스템에서는 셀 경계에서의 효율적인 채널 추정 방식은 셀 경계에서의 전송률과 직접적인 관련이 있으므로 그 중요성이 높다고 할 수 있다. 그러나 서로 직교하는 기준 신호의 수는 한정되어 있으므로, 기준 신호를 주파수 영역에서 셀마다 서로 다른 스크램블링 코드를 곱함으로써 셀 간 기준 신호는 서로 의사직교(pseudo-orthogonal)하도록 한다.

상향링크는 하향링크와 달리 각 단말기는 독립적인 기준 신호를 송신해야 한다. 기준 신호는 한 서브프레임 내에 두 개의 OFDM 심볼에 배치되어 있다. 하향링크에서는 한 개의 기준 신호가 필수이고 나머지 한 개는 선택인 것에 반하여, 상향링크에서는 두 개 모두 필수인데 이는 서브프레임간 인터폴레이션을 통한 채널 추정이 불가능한 상황이 발생하기 때문이다. 기준 신호가 위치한 OFDM 심볼의 길이를 다른 OFDM 심볼 길이의 1/2로 설정함으로써 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 하였다. 상향링크에서도 하향링크와 마찬가지로 채널에 따른 주파수 스케줄링을 사용하는데 이를 위하여 단말기는 주기적으로 Node B에게 현재 데이터 전송을 위하여 사용하는 대역 외의 주파수 대역에 대하여도 기준 신호를 송신해야 한다. 이와 같은 대역 외 기준 신호를 여러 단말기가 동시에 전송하기 위해서는 다중화 기법이 필요하다. 현재 주파수분할 다중화 기법과 코드분할 다중화 기법이 논의되고 있다. 다중화는 서

로 다른 대역폭을 가지는 단말기들에 대한 다중화와 같은 대역폭을 가지는 단말기들에 대한 다중화로 크게 나눌 수 있다. 전자는 주로 주파수분할다중화가 유력한 기법으로 논의되고 있으며, 후자는 주파수분할다중화와 코드분할다중화 기법이 동시에 논의되고 있다. 상향링크는 최대전력 대 평균전력(PAPR) 특성이 중요하므로 CAZAC 시퀀스가 유력하다.

Ⅳ. MAC 계층 기술 동향

LTE 시스템에서의 특징은 기존 시스템에서 RNC에 위치했던 RRC 기능과 재전송 관련 기능이 eNB(e-Node B)로 한 단계 내려와서 위치하게 된 점이다. 이는 LTE 시스템의 요구사항인 낮은 레이턴시(latency)와 계층간 중복된 기능의 통합 및 재조정을 만족하기 위해서이다. 본 장에서는 3GPP RAN WG2에서 작성중인 TR25.813(V.0.7.2 2006.3.)을 기준으로 하여 표준 기술 동향을 기술한다[3].

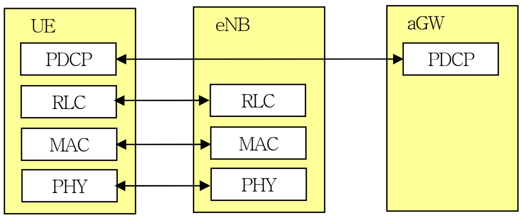
1. Overall Protocol Architecture

E-UTRAN 시스템은 UE들에게 E-UTRA 사용자 평면(user plane)과 제어 평면(control plane) 프로토콜 종단점(termination point)을 제공하는 eNB들로 구성된다. 사용자 평면은 RLC/MAC/PHY로 구성되고, 제어 평면은 RRC를 의미한다. eNB들은 aGW(access GateWay)와 S1 인터페이스로 접속한다. 현재 aGW의 구성에 있어서 사용자 평면과 제어 평면으로 나눌 것인가 또는 함께 구성할 것인가에 대하여는 논의중에 있으며, 아래의 기능은 eNB가 담당하는 기능들이다.

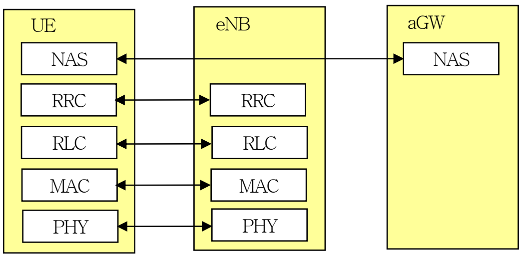
- aGW의 선택
- 페이징 메시지 전송과 스케줄링
- 시스템 정보 방송과 스케줄링
- 상향/하향링크에서의 무선자원의 동적 할당
- eNB 측정의 설정(configuration)과 준비(provision)
- 무선 베어러(radio bearer) 제어
- 어드미션 제어(radio admission control)
- LTE_ACTIVE 상태에서의 이동성 제어

(그림 7)은 E-UTRAN에서 사용자 평면의 프로토콜 스택을 나타낸다. eNB에서 종단되는 RLC/MAC 계층은 스케줄링과 재전송을 담당하며, 헤더 압축을 수행하는 PDCP와 싸이퍼링(ciphering)을 포함한 암호화(security) 계층은 aGW에서 종단된다. 암호화 계층을 별도 두는 방안과 PDCP의 일부 구성하는 방안에 대하여는 현재 논의가 진행중이다.

(그림 8)은 제어 평면의 프로토콜 스택을 나타내며, RLC/MAC은 사용자 평면과 동일한 기능을 수행한다. eNB에서 종단되는 RRC는 측정, 무선 베어러 등을 포함하여 RRC 커넥션을 위한 제어 기능을 수행하며, aGW는 SAE 베어러 관리, 인증, 휴지 상태에서의 이동성 및 페이징 트리거, 그리고 사용자 평면에서 aGW-UE 간의 암호화를 제어한다.



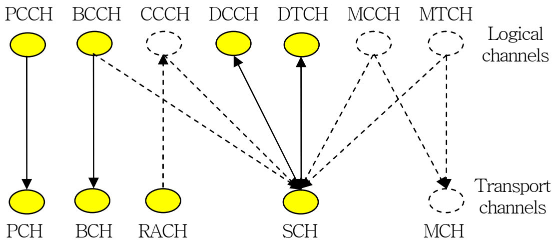
(그림 7) E-UTRAN의 프로토콜 스택(사용자 평면)



(그림 8) E-UTRAN의 프로토콜 스택(제어 평면)

2. 트랜스포트 채널

논리 채널과 트랜스포트 채널의 매핑 관계는 (그림 9)와 같고, 하향링크의 트랜스포트 채널의 종류 및 속성은 다음과 같다.



(그림 9) 논리 채널과 트랜스포트 채널의 매핑 관계

- BCH: 셀 전체에 전송되어야 하며, 미리 정의한 포맷에 따라 고정 전송한다.
- DL-SCH: HARQ, 적응 코딩 및 변조, 동적/준-동적(semi-static) 자원 할당이 가능해야 하고, 저전력 소모 동작을 위한 불연속적인 수신 DRX 기능을 지원해야 한다.
- PCH: DRX 주기에 따라 셀 전체에 전송할 수 있어야 하며, 트래픽 또는 다른 제어 채널들에 동적으로 사용할 수 있는 무선 자원에 매핑된다.
- NCH: UE의 저전력 소모 동작 지원을 위하여 고려중인 트랜스포트 채널이다(FFS).

상향 링크의 트랜스포트 채널의 종류 및 속성은 다음과 같다.

- UL-SCH: HARQ, 적응 코딩 및 변조, 동적/준-동적 자원 할당 기능을 지원해야 한다.
- RACH: 경쟁 기반으로 운용되며, 도입 여부를 논의중에 있다(FFS).

3. MAC 계층 동작 특성

Layer 2는 RLC, MAC, 그리고 PDCP 등의 부계층으로 구성된다. 각각의 부계층들은 SAP을 통하여 인터페이스를 갖게 되며, 하향링크의 경우에는 ROHC를 수행하는 PDCP는 싸이퍼링 기능과 함께 aGW에서 위치한다. LTE 시스템에서 MAC 계층은 TTI 단위로 수행될 스케줄링 기능과 우선순위(priority) 핸들링과 무선 베어러간 멀티플렉싱 등을 수행한다. 현재 동일한 우선순위이며 동일한 QoS를 갖는 무선 베어러간의 멀티플렉싱에 대하여는 논의가 진행중이다. 상향링크는 MIMO가 적용되지 않는 경우에 하나의 TTI에 오직 하나의 트랜스포트 블록이 존재하며, 하향링크에서의 트랜스포트 블록 수는 FFS 항목이다.

4. 프로토콜 상태 관리

초기 LTE 시스템에 대한 논의에서는 AS 영역의 RRC 상태와 NAS 영역의 MM 상태의 단일화를 통한 상태관리의 효율성 제고가 요구되었으나, 이동성 관리와 UE 정보(e.g. UE context, RRC context) 관리 등의 필요로 인하여 RRC 상태의 수를 줄이고 AS와 NAS 영역에서 각각 상태를 관리하는 방안으로 결정되었다.

가. NAS 프로토콜 상태 관리

NAS 프로토콜의 상태는 RRC 엔티티가 존재하지 않는 LTE_DETACHED 상태, 최소한의 UE 정보를 저장하면서 RRC 커넥션이 없는 LTE_IDLE 상태, 그리고 RRC 커넥션을 가지는 LTE_ACTIVE 상태로 구성된다.

나. RRC 상태 관리

eNB의 RRC가 관리하는 상태는 RRC_IDLE과 RRC_CONNECTED로 구성된다. RRC_IDLE 상태에서는 UE는 DRX 주기를 가지고 저전력 소모 동작을 수행하면서, 시스템 정보와 페이징 정보를 수신할 수 있다. 또한, TA 단위로 관리되는 식별자(identifier)를 할당 받는다.

RRC_CONNECTED 상태는 eNB와 UE간의 커넥션이 존재하며, 양방향으로 데이터의 송수신이 가능하다. E_UTRAN은 UE를 위한 컨텍스트 정보를 저장하고, 셀 단위로 UE를 트래킹하여 관리한다. 단말기의 소모 전력을 최소화하기 위하여 RLC/MAC 계층에서 UE의 동작 특성(activity factor)에 따라 상태를 관리한다. 즉, MAC_ACTIVE와 MAC_DORMANT 개념을 도입하여 eNB와 UE간의 데이터 송수신이 이루어지는 MAC_ACTIVE에서 일정

시간 동안 데이터 송수신이 없으면, UE는 DRX/DTX 주기에 따라 스케줄링을 위한 제어 채널을 모니터링하며, 상향링크의 물리계층 동기를 유지하지 않는 MAC_DORMANT 동작을 통하여 단말기의 소모 전력을 최소화하고 무선자원의 활용도를 향상시키기 위한 저전력 소모 동작을 검토중이다.

5. E-UTRAN에서의 식별자

E-UTRAN 시스템에서 NAS 영역과 AS 영역에서 별도의 식별자가 요구되며, 다음과 같은 식별자 도입이 일부 결정되었으며, 일부는 도입 여부에 대한 논의가 진행중이다.

- NAS 영역에서의 식별자
  - IMSI/IMEI
  - MME를 위한 TMSI: MME가 할당하는 임시 식별자
  - UPE를 위한 TMSI: UPE가 할당하는 임시 식별자(FFS)
- E-UTRAN을 위한 식별자
  - C-RNTI: 하나의 셀에서 유니크한(unique) UE 식별자로 제어 정보 구성에 있어서 복잡도가 문제되지 않는다면 스케줄링을 위한 식별자로 가정한다.

이외에 네트워크 엔티티를 위한 식별자로는 MME ID, eNB ID(또는 cell ID), UPE ID, 그리고 TA ID 등의 식별자 도입에 대한 논의가 진행중에 있다.

6. 재전송 방식

재전송을 위하여는 RLC에서 AM 모드의 에러 정정을 위해 수행하는 ARQ와 MAC의 제어에 따라 물리계층이 수행하는 HARQ 방식에 대한 논의가 진행중이다.

ARQ는 RLC SDU 또는 RLC PDU 단위의 재전송인지가 논의중에 있다. HARQ는 N-SAW 방식을 사용하며, 하향링크는 적응 전송(adaptive transmission)을 통한 비동기(asynchronous) 방식의 재전송을 지원하는 방안이 검토되고 있다. 상향링크는 동기(synchronous) 방식의 재전송을 지원하는 것을 가정하고, 적응 변조 및 부호화를 지원하는 방안은 논의가 진행중이다.

또한, ARQ와 HARQ간의 상호작용(interaction)은 TB 단위로 수행된다는 점 외에는 결정된 사항없이 논의가 진행중이다.

이상에서 언급한 항목들 외에도 스케줄링을 위한 측정 및 시그널링 Inter-RAT, 주파수간 이동성 관리 등에 대하여 논의가 진행중이다.

V. 맺음말

본 고에서는 3GPP에서 진행중인 3G LTE 물리계층 및 MAC 계층의 표준화 동향에 대해 살펴보았다. ETRI의 경우 그 동안 진행해 왔던 HMm 및 Wibro 기술개발력을 토대로 3GPP의 LTE 표준화에 현재 참가하고 있으며 RAN1 및 RAN2에 몇몇 기술들을 제안하고 있다.

현재 3GPP 내에서는 Ericsson과 Qualcomm과 같은 몇몇 회사가 주가 되어 OFDM 기반의 3G LTE 이외에도 HSPA(HSDPA/HSUPA) 방식에 MIMO 기술을 도입하고 이동국 수신단에 간섭제거기능(interference cancellation)과 같은 복잡한 수신기를 사용하여 데이터 전송속도를 높이는 방안, 즉 HSPA의 Evolution에 대해서도 Study를 하자는 주장이 제기되어 2006년 말까지 HSPA Evolution에 대한 Study Item TR을 작성하기로 하였다. 향후

● 용 어 해 설 ●

<u>ARQ(Automatic Repeat Request)</u>: 패킷데이터 전송 시 에러가 났을 경우 에레가 난 패킷데이터를 재전송하도록 하는 방법. 송신단에서는 패킷데이터에 CRC를 첨가하여 송신하고 수신단에서는 수신한 CRC를 이용하여 수신된 패킷에 에러가 발생했는지의 여부를 판단하여 에러가 발생했을 경우 송신단에 NACK 신호를 보내어 재 전송을 요구하며 에러가 없을 경우에는 ACK를 전송함으로써 송신단에서 새로운 패킷데이터를 전송하도록 한다.

OFDM 기반의 3G LTE의 표준화 및 상용화 일정은 상기 HSPA Evolution의 3GPP 내에서의 표준화 가능성에 영향을 받을 것으로 보이며 3GPP의 일각에서는 OFDM 기반의 3G-LTE 방식을 4G 방식의 초기 버전으로 고려하자는 의견도 제시되고 있다. 향후 OFDM 기반의 3G-LTE 방식은 계속 발전을 하여 4G 방식의 유력한 후보 기술이 될 수 있다고 판단한다.

약 어 정 리

AM	Acknowledged Mode
ARQ	Automatic Repeat Request
AS	Access Stratum
BCH	Broad Casting Channel
C-RNTI	Control-Radio Network Temporary Identifier
CDD	Cyclic Delay Diversity
CDM	Code Division Multiplexing
DL-SCH	Downlink Shared Channel
DRX	Discontinuous Reception
DTX	Discontinuous Transmission
DU	Service Data Unit
DVRB	Distributed VRB
FDM	Frequency Division Multiplexing
FFS	For Further Study
FSTD	Frequency Switched Transmit Diversity
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
LPRB	Localized PRB
LVRB	Localized VRB
MAC	Medium Access Control
MM	Mobility Management
MME	Mobility Management Entity
N-SAW	N-process Stop-And-Wait
NAS	Non Access Stratum
NCH	Notification Channel
PCH	Paging Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PRB	Physical Resource Block
RACH	Random Access
RAT	Radio Access Technology
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
ROHC	RObust Header Compression
RRC	Radio Resource Control
RTD	Round Trip Delay
SFBC	Space Frequency Block Code
STBC	Space Time Block Code
SVD	Singular Value Decomposition
TA	Tracking Area
TB	Transport Block
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
TR	Technical Report
TS	Technical Standard
TSTD	Time Switched Transmit Diversity
TTI	Transmission Time Interval
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UPE	User Plane Entity
VRB	Virtual Resource Block

참 고 문 헌

[1] 3GPP TR25.913 v2.1.0, "Requirement for Evolved UTRA and UTRAN," 2006.

[2] 3GPP TR25.814 v1.2.2, "Physical Layer Aspects for Evolved UTRA," Mar. 2006.

[3] 3GPP TR25.813 V0.7.2, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRAN); Radio Interface Protocol Aspects," Mar. 2006.