

LTE 하향 링크의 물리 계층 주요 요소 기술 소개

윤영우 | 노동욱 | 서동연 | 이정훈 | 김은선

LG 전자

요약

LTE는 2004년 11월 study item으로 시작되어 2008년 7월 현재 표준 작업의 막바지 단계에 있다.

본 기고에서는 LTE의 물리 계층 표준 중, 하향 링크 표준의 주요 특징과 요소 기술들에 대하여 FDD (Frequency Division Duplex)를 위해 정의되어 있는 FS1 (Frame Structure type 1) 위주로 설명한다.

I. 서론

HSPDA와 HSUPA를 이용한 본격적인 패킷 통신 서비스의 상업화를 목전에 두고 있던 2004년경, IEEE를 중심으로 하여 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 등의 보다 진화된 패킷 통신 기술들을 근간으로 한 WiMAX라고 불리는 기술에 대한 표준화 작업이 진행되면서 그간 HSDPA/HSUPA의 장점이었던 이동성과 더불어 보다 높은 데이터 속도와 패킷 처리율을 지원할 수 있을 것으로 예견되었다. 이에 따라 3GPP에서 제정된 규격을 근간으로 서비스를 제공하고 있던 사업자들 사이에서 통신 시장에 대한 주도권 유지에 대한 요구가 높아졌으며 이러한 배경 하에 2004년 11월 통신 사업자와 제조업체들이 참여한 가운데 캐나다 토론토에서 3GPP UTRAN Long Term Evolution Workshop이 개최되면서 본격적인 LTE 표준화에 대한 논의가 시작되었다. 이후,

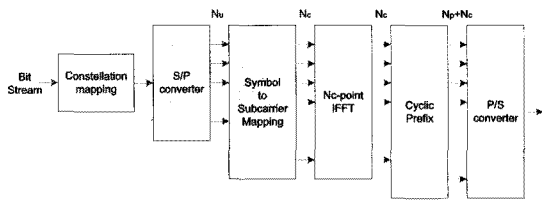
약 1년 반 동안의 study item 기간을 거쳐 LTE의 요소 기술들에 대한 feasibility study를 완료했으며, 그 후 본격적인 work item 기간을 통하여 LTE 표준의 초기 버전들이 2007년 9월부터 승인되기 시작했다. 2008년 7월 현재의 시점에서 보았을 때에, 각 계층 별로 표준의 완성도에 약간의 차이가 있거나 물리 계층 표준의 경우, 초기 승인 이후 3번의 주요 개정 과정을 거쳐 현재는 타 계층에 비해 매우 높은 완성도를 보이고 있다. [1][2][3][4]

본 기고에서는 LTE 물리 계층 표준 중, 하향 링크 표준의 주요 특징과 요소 기술들에 대하여 FDD (Frequency Division Duplex)를 위해 정의되어 있는 FS1 (Frame Structure type 1) 위주로 설명하고자 한다. II장에서는 LTE 하향 링크의 기본 numerology와 하향 링크 채널들, 그리고 하향 링크에 관련된 여러 가지 물리 계층 절차들에 대하여 개괄적으로 기술한다. III장에서는 LTE의 각 하향 링크 채널들에 대하여 보다 상세하게 기술한다. 이어 IV장에서는 여러 가지 물리 계층 절차들에 대하여 상술하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. LTE 하향 링크 개괄

2.1 기본 numerology [1]

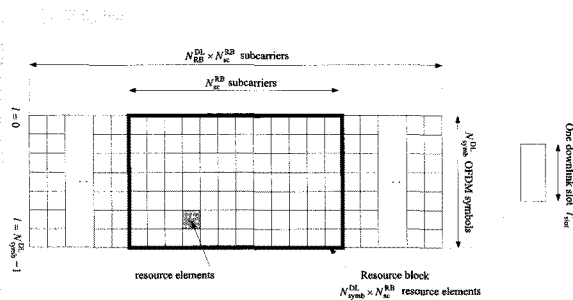
우선 LTE 하향 링크의 다중 접속 방식으로는 (그림 1)에 나타난 바와 같이 CP (cyclic prefix: 주기적 전치 부호)를 사용하는 일반적인 OFDM 방식에 기반하고 있다.



(그림 1) OFDMA 블록도

CP 구간의 길이는 기본 CP (normal CP)의 경우 $4.7\mu s$ 의 값을 가지고 확장 CP(extended CP)의 경우에는 $16.7\mu s$ 의 값을 가지는 것으로 정의되어 있다. CP의 선택은 일반적인 경우에는 기본 CP를 사용하게 되고, 커버리지가 매우 커서 긴 시간 지연이 발생하는 시스템 혹은 MBSFN (Multicast/Broadcast over Single Frequency Network)에서는 확장 CP를 사용하게 된다.

주파수 축에서의 부반송파 (sub-carrier)간의 간격은 일반적인 경우에는 15kHz로 정의되며, dedicated MBMS carrier에서 확장 CP를 사용하는 경우에 한정하여 7.5kHz의 부반송파 간격이 지원된다. OFDMA 전송을 위한 주파수 자원 할당은 RB (resource block)라고 불리는 기본 단위에 의하여 정의된다. (그림 2)에서와 같이 하나의 RB는 시간 상으로 $T_{slot} = 0.5ms$, 주파수 축으로는 N_{SC}^{RB} 개의 부반송파 구간에 의하여 정의되는 자원 요소 (RE: resource element)들의 집합으로 정의된다. 15kHz 부반송파 간격을 사용할 경우, N_{SC}^{RB} 는 CP의 길이에 상관없이 12개로 정의되며, 하나의 RB 안에 들어가는 OFDM 심볼의 개수인 N_{symb}^{DL} 은 기본 CP의 경우 7개 그리고 확장 CP를 사용하는 경우 6개가 된다. 7.5kHz 부반송파 간격의 경우에는 N_{SC}^{RB} 는 24개로 정의되며, N_{symb}^{DL} 은 3개



(그림 2) RB (resource block)의 정의

가 된다. RB는 0.5ms의 슬롯 단위로 정의되어 있으나 실제로 스케줄링 과정은 시간 영역에서 1ms를 차지하는 한 쌍의 RB 단위로 이루어지며 이러한 스케줄링의 기본 단위를 부프레임 (sub-frame)이라고 정의한다.

LTE 물리 계층에서는 최소 6RB부터 최대 110RB까지의 시스템 대역폭을 지원하도록 기술되어 있다. 6RB의 경우 128 point FFT를 통하여 OFDM 신호가 생성되고 110RB의 경우 2048 point FFT에 의해 OFDM 신호가 생성된다.

2.2 LTE 하향 링크 채널 구조 [1][5]

LTE 하향 링크의 물리 계층에는 다수 개의 물리 채널과 시그널이 존재한다. 일부 채널들은 상위 계층으로부터의 트랜스포트 (transport) 채널을 전송하기 위한 통로 역할로 존재하게 되고, 다른 일부 채널들은 타 채널들을 수신할 수 있도록 도와주는 역할 혹은 상향 링크의 HARQ 과정을 지원하는 역할을 하게 된다.

- Synchronization Signals (SS): PSS (primary synchronization signal)과 SSS (secondary synchronization signal)로 구성되며 UE가 초기 셀 탐색 과정에서 특정 셀에 대한 수신 시점을 획득할 수 있도록 하고 또한 현재 탐색된 셀의 셀 식별자 (cell-ID)를 검출할 수 있도록 하는 역할을 한다
- Physical broadcast channel (PBCH): UE가 시스템에 접속하여 셀 탐색 과정을 마친 후에 최초로 검출하게 되는 채널로서, 다른 물리 계층 채널들을 수신하기 위하여 반드시 필요한 기본적인 시스템 정보들인 MIB (Master Information Block)를 전송하게 되는 트랜스포트 채널인 BCH가 매핑되는 물리 계층 채널이다.
- Physical downlink control channel (PDCCH): 하향 링크의 자원 할당에 대한 정보와 HARQ 과정에 대한 정보를 UE에게 전송하는 역할과 함께 상향 링크의 스케줄링 허가 (grant) 신호를 전송하는 역할을 한다
- Physical control format indicator channel (PCFICH): 매 부프레임마다 전송되는 채널로서, PDCCH 전송에 사용되는 OFDM 심볼의 개수를 나타내는 CFI (Control Format Indicator)를 알려주는 역할을 한다.
- Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH): 상향 링크 HARQ에 대응하여 ACK/NACK 신호를 전송하는

채널이다.

- Physical downlink shared channel (PDSCH): 실제 하향 링크 사용자 데이터를 전송하기 위한 트랜스포트 채널인 DL-SCH와 페이징 정보를 전송하기 위한 트랜스포트 채널인 PCH가 매핑되는 물리 계층 채널이다. 또한 MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) 정보도 PDSCH에 매핑 가능하며 동적 방송 정보인 SI (system information) 값들도 RRC 메시지 형태로 DL-SCH를 통해 전송되므로 이 트랜스포트 채널은 전체 셀 영역까지 도달될 수 있는 능력이 요구되기도 한다.
- Reference signal (RS): 셀-특정(cell-specific) RS와 UE-특정 (UE-specific) RS로 크게 나눌 수 있다. 셀-특정 RS는 UE가 하향 링크의 채널들을 수신할 때 동기(coherent) 검출을 할 수 있도록 하는 채널 추정과정에서 사용되며, 또한 동적 링크 적응 기법을 가능하게 하기 위하여 UE가 eNB에 보고하는 CQI(channel quality information)를 생성하기 위한 기준 채널이 된다.

2.3 LTE 하향링크 물리 계층 절차 [3]

LTE 하향링크의 물리계층과 관련된 여러 가지 절차들이 있다. 여기에서는 하향링크 물리 계층 관련 절차들에 대하여 개괄적으로 서술한다.

- 셀 탐색 (cell search): UE가 전원을 켜 후 가장 먼저 수행하게 되는 절차인 초기 셀 탐색 (initial cell search)과 핸드오фф 등의 목적을 위하여 수행되는 인접 셀 탐색 (neighbor cell search) 등으로 크게 나눌 수 있다. 기본적으로 셀 탐색 과정은 SS를 이용하여 이루어지며, 셀 탐색 과정을 통하여 특정 셀에 대한 시간 및 주파수 동기의 획득, 그리고 특정 셀의 셀 식별자를 획득하게 된다. 셀 탐색 과정이 끝나게 되면 UE는 특정 셀의 PBCH를 읽을 수 있는 준비를 마치게 된다.
- 하향 링크 자원 할당 절차: OFDMA에서의 라디오 자원 할당은 시간 영역과 주파수 영역에서의 RB 스케줄링에 의하여 이루어진다. 하향 링크의 자원에 대한 할당은 크게 동적 자원 할당과 반정적 자원 할당으로 나뉘어진다. 동적 자원 할당이라는 것은 특정 UE에게 할당하는 자원을 부프레임 별로 동적으로 바꿀 수 있는 자원 할당 방식을 의미하고 반정적 자원 할당 방식은 UE에게 할당

하는 자원을 장시간 동안 사용하게 하는 방식을 의미한다. 또한 UE에게 주파수 자원을 할당할 적에, 주파수 영역의 선택성(selectivity)을 고려하여, 특정한 좋은 주파수 영역으로 구역화된(localized) 자원 할당을 하는 구역 할당(localized allocation) 방식과, 자원 할당 시에 보다 넓은 주파수 영역으로 할당 자원을 분포시켜서 주파수 영역에서의 다이버시티(diversity) 이득을 얻을 수 있는 분산 할당(distributed allocation) 방식이 존재한다.

- 하향 링크 전송 모드: LTE 물리 계층에서는 하향 링크의 PDSCH를 전송하기 위한 여러 가지 다양한 전송 모드를 정의하고 있다. 이러한 전송 모드는 eNB에 탑재된 전송 안테나의 개수, 그리고 PDSCH를 수신하게 될 UE의 송신 안테나의 개수, 그리고 PDSCH를 수신하게 되는 UE와 eNB 사이의 무선 링크 채널의 상태 등에 따라 달라지게 되며, 이러한 정보들을 기반으로 하여 eNB의 최종 선택에 따라 결정된다. <표 1>에는 LTE 하향 링크에서 정의되어 있는 7가지 전송 모드와 이 전송 모드를 알려주기 위한 하향 링크 제어 정보 포맷(DCI format)을 나타내었다.

<표 1> LTE 하향 링크의 다양한 전송 모드

Transmission Mode	DCI Format
1) single antenna port 0	1, 1A
2) Transmit diversity	1, 1A
3) Open-loop spatial multiplexing	2
4) Closed-loop spatial multiplexing	2
5) Multi user MIMO	미정
6) Closed-loop rank 1 precoding	1B
7) single antenna port 5 : Dedicated RS	1, 1A

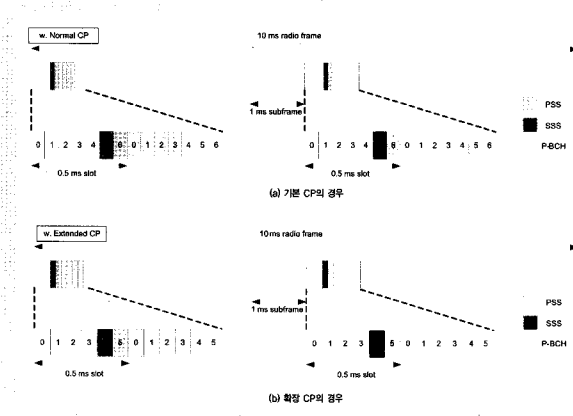
III. LTE 하향 링크 물리 계층 채널

3.1 SS (Synchronization Signal) [1]

SS는 PSS와 SSS로 구성되며, 셀 탐색을 수행할 때 사용되는 신호이다.

(그림 3(a))와 (b)는 각각 기본 CP와 확장 CP를 사용하는 시스템의 경우 SS의 전송을 위한 프레임 구조를 도시한 것이다. SS는 inter-RAT measurement의 용이함을 위해 GSM

프레임 길이인 4.6ms를 고려하여 부프레임 0번과 부프레임 5번의 두 번째 슬롯에서 각각 전송되고, 해당 라디오 프레임에 대한 경계는 SSS를 통해 검출 가능하다. PSS는 해당 슬롯의 맨 마지막 OFDM 심볼에서 전송되고, SSS는 PSS 바로 앞 OFDM 심볼에서 전송된다. SS는 3개의 PSS와 168개의 SSS의 조합을 통해 총 504개의 물리계층 셀 식별자(physical cell ID)를 전송할 수가 있다. 또한, SS 및 PBCH는 시스템 대역폭 내의 가운데 6RB 내에서 전송되어, 전송 대역폭에 관계없이 UE가 검출 혹은 복호할 수 있도록 한다.



(그림 3) SS 전송을 위한 프레임 구조

SS의 전송 다이버시티 방식은 단일 안테나 포트 (single antenna port)만을 사용하고, 표준에서는 따로 정의하지 않는다. 즉, 단일 안테나 전송 혹은 UE에 투명한(transparent) 전송 방식 (예를 들어 PVS, TSTD, CDD) 을 사용할 수가 있다.

3.1.1 PSS 부호

길이 63의 ZC (Zadoff-Chu) 시퀀스를 주파수 영역에서 정의하여 PSS의 시퀀스로 사용한다. ZC 시퀀스는 식 (1)에 의해 정의되며, DC 부반송파에 해당되는 시퀀스 요소 (element), $n=31$ 은 천공 (puncturing)한다. 식 (1)에서 $N_{zc}=63$ 이다.

$$d_u(n) = e^{-j\frac{\pi n n(n+1)}{N_{zc}}} \quad (1)$$

가운데 부분의 6RB (=72 부반송파) 중 9개의 남은 부반송파는 항상 0의 값으로 전송하며, 동기 수행을 위한 필터 설계에 용이함을 가져다 준다. 총 3개의 PSS를 정의하기 위해

식 (1)에서 $u=25, 29$, 그리고 34의 값을 사용한다. 이 때, 29와 34는 켈레대칭(conjugate symmetry) 관계를 가지고 있어서, 2개의 상관 (correlation)을 동시에 수행할 수가 있다. 여기서, 켈레대칭은 다음 식 (2)의 관계를 의미하며 이 특성을 이용하여 $u=29$ 와 34에 대한 원샷 상관기 (one-shot correlator)의 구현이 가능하며, 전체적인 연산량을 약 33.3% 감소시킬 수 있다.

$$d_u(n) = (-1)^n (d_{N_{zc}-u}(n))^*, \text{ when } N_{zc} \text{ is even number.}$$

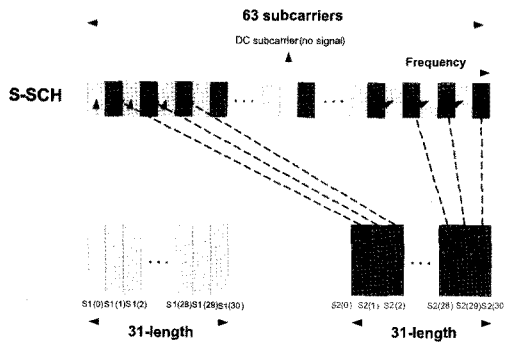
$$d_u(n) = (d_{N_{zc}-u}(n))^*, \text{ when } N_{zc} \text{ is odd number.} \quad (2)$$

3.1.2 SSS 부호

SSS를 위해 사용되는 시퀀스는 길이 31의 두 개 m-시퀀스를 인터리빙된 조합을 하고 두 개의 시퀀스를 조합하여 168 셀 그룹 식별자 (cell group ID)를 전송한다. SSS의 시퀀스에서 m-시퀀스는 주파수 선택적 환경에서 강건하고, 고속 하다마드 변환 (Fast Hadamard Transform)을 이용한 고속 m-시퀀스 변환으로 연산량을 줄일 수가 있다. 또한, 두 개의 짧은 부호 (short code)로 SSS를 구성하는 것은 단말의 연산량을 줄이기 위해 제안되었다.

(그림 4)는 논리 영역에서의 두 개의 시퀀스가 물리 영역에서 인터리빙되어 매핑되는 것을 보여주는 그림이다. SSS부호 생성을 위해 사용되는 두 개의 m-시퀀스를 각각 S1, S2라고 정의할 때, 부프레임 0의 SSS가 (S1, S2) 두 조합으로 셀 그룹 식별자를 전송한다면, 부프레임 5의 SSS는 (S2, S1)으로 교환(swapping)하여 전송함으로써, 10ms 프레임 경계를 구분할 수 있게 된다. 이 때, 사용되는 SSS 부호는 x^5+x^2+1 의 생성다항식을 사용하며, 서로 다른 순환 천이 (circular shift)를 통해 총 31개의 부호를 생성할 수가 있다.

수신 성능을 향상시키기 위하여, PSS 기반 (PSS-based)의 서로 다른 두 개의 시퀀스를 정의하여, SSS에 스크램블링 하되 S1과 S2에 서로 다른 시퀀스로 스크램블링 한다. 그 후, S1 기반 (S1-based)의 스크램블링 부호를 정의하여, S2에 스크램블링을 수행한다. 이 때, SSS의 부호는 5ms 단위로 교환되지만 PSS 기반의 스크램블링 부호는 교환되지 않는다. PSS 기반의 스크램블링 부호는 x^5+x^3+1 의 생성 다항식으로부터 생성된 m-시퀀스에서 PSS 인덱스에 따라 6개의 순환 천이 버전으로 정의하고, S1 기반의 스크램블링 부호는



(그림 4) SSS 부호 생성 방식

$x^5+x^4+x^2+x^1+1$ 의 다항식으로부터 생성된 m-시퀀스에서 S1의 인덱스에 따라 8개의 순환 전이 버전으로 정의한다.

3.2 PBCH [1][2]

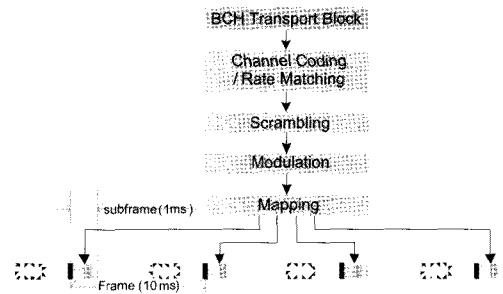
PBCH로 전송되는 정보는 서비스를 받는 모든 UE들이 알아야 하는 시스템 및 셀에 관련된 중요한 정보들이 전송된다. 이러한 정보는 셀의 가장자리에 있는 UE들에게까지 정확하게 전송이 되어야 하므로, BCH 정보는 낮은 변조 및 부호율을 이용하여 전송된다. 현재 LTE 시스템에서 BCH 신호는 BPSK와 1/3 tail biting 컨볼루션 부호로 변조 및 부호화되어 전송된다.

또한, PBCH는 전송 대역에 관계 없이 모든 UE가 수신할 수 있어야 하므로, 시스템 대역폭 내의 중앙에 위치한 6RB에만 전송된다. 즉, PBCH는 정해진 전송 대역을 이용하여, 40ms의 시간 구간 동안 4개의 부프레임에 걸쳐서 전송된다. BCH가 전송되는 정확한 부프레임 및 심볼 위치는 앞의 (그림 3)에 도시되어 있다.

PBCH의 전송 프로세스는 (그림 5)를 보면 쉽게 알 수 있다. BCH 트랜스포트 블록은 채널 부호화를 거친 후 레이트 매칭(Rate Matching)이 이루어 지는데, 이 때 네 개의 부프레임에 전송될 비트 수를 고려하여 레이트 매칭 (사실상 반복)이 이루어진다. 그 후 셀 식별자에 따른 스크램블링이 이루어지고, 변조 된 후 4개의 부프레임에 나누어져 매핑 된다. BCH 트랜스포트 블록이 부호화를 거쳐 레이트 매칭된 후 4개로 나누어 전송되므로, 이 4개의 블록 각각은 그 자체로 복호가 가능한(self-decodable) 특성을 갖는다. PBCH가 전송되는 40ms 타이밍은 스크램블링 코드를 이용하여 블라인

드 검출(blind detection)된다.

PBCH는 eNB의 송신 안테나 개수에 따라 다른 전송 다이버시티 방식을 사용하여 전송된다. 안테나가 2개인 경우 SFBC (Space Frequency Block Code) 방식으로 전송되고, 안테나가 4개인 경우 SFBC + FSTD (Frequency Switching Transmit Diversity) 방식으로 전송된다. 즉, PBCH 수신을 위해서는 eNB의 송신 안테나의 개수를 반드시 알아야 하며, LTE에서는 이를 위해 암시적인(implicit) 시그널 방식을 사용한다. 즉, BCH 트랜스포트 블록에 CRC가 추가된 후 안테나 개수에 따라 다른 신호가 마스크(mask)되는데, 이를 이용하여 UE는 eNB의 송신 안테나 개수를 블라인드 검출할 수 있다.



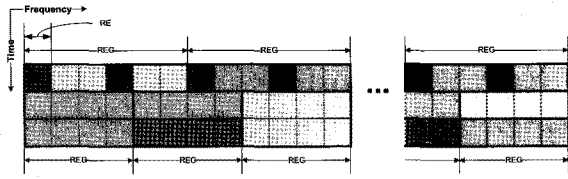
(그림 5) BCH 부호화 및 매핑 구조

3.3 PDCCH [1][2][3]

PDCCH는 하향링크와 상향링크 데이터 전송에 관련된 여러 제어 신호를 전송하며, 매 부프레임에서 PCFICH를 통해 전송된 정보에 의해 몇 개의 OFDM 심볼을 통해서 전송되는 지가 결정된다. 10RB이하의 시스템에서는 PDCCH 전송에 사용되는 OFDM 심볼의 개수가 2~4이며, 10RB보다 큰 시스템에서는 1~3개의 OFDM 심볼을 사용해서 전송된다. PDCCH 포맷은 몇 개의 CCE(Control Channel Element)를 사용하느냐에 따라 다음 (표 2)와 같이 나뉘어 진다.

(표 2) PDCCH 포맷

PDCCH format	Number of CCes	Number of resource-element groups	Number of PDCCH bits
0	1	9	72
1	2	18	144
2	4	36	288
3	8	72	576



(그림 6) REG (Resource Element Group)의 예

CCE는 9개의 REG (Resource Element Group)로 구성되어 있으며, 하나의 REG는 RS가 전송되는 RE를 제외한 인접한 4개의 RE로 구성되며, PDCCH, PHICH, PCFICH 채널 등이 매핑 되는 기본 단위가 된다.

PDCCH는 상향/하향 링크 데이터 전송과 관련된 제어 정보인 DCI (Downlink Control Information)을 전송하는데 이때 전송되는 여러 DCI 포맷과 각 DCI 포맷이 나타내는 정보는 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> DCI 포맷

DCI Format	Usage
0	UL-SCH assignments
1	DL-SCH assignments for SIMO operation and TxD operation
1A	DL-SCH assignments for SIMO operation and TxD operation
1B	closed-loop single-rank transmission
1C	paging, RACH response and dynamic BCCH scheduling
2	DL-SCH assignments for MIMO operation
2A	open-loop spatial multiplexing mode
3	TPC commands for PUCCH and PUSCH with 2-bit power adjustments
3A	TPC commands for PUCCH and PUSCH with single bit power adjustments

이러한 PDCCH는 tail-biting 컨볼루션 부호를 사용하고, QPSK 변조 기법을 사용하는데, PDCCH 포맷에 따라 각기 다른 부호화율이 적용된다.

채널 부호화 및 변조 과정을 거친 PDCCH는 REG단위로 인터리빙 된 후, PCFICH에 의해 정해진 OFDM 심볼에 PCFICH와 PHICH가 전송되는 REG를 제외한 나머지 REG를 통해서 전송된다.

PDCCH 수신에 있어, 각 UE는 자신의 제어 정보의 종류와 제어 정보가 있는 PDCCH의 위치를 알지 못하며, 따라서 수신된 여러 PDCCH에 대해 블라인드 검출을 하게 된다. 이때 UE가 수행하는 블라인드 검출의 횟수를 줄이기 위해 eNB는

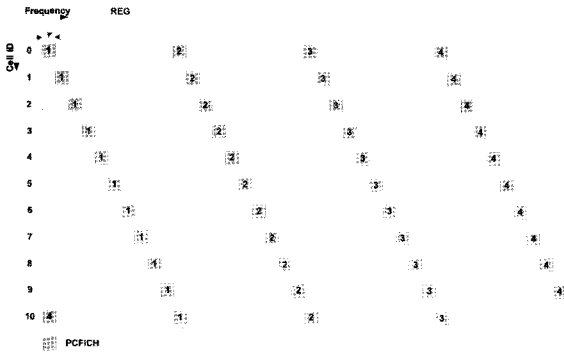
전송하는 제어 정보를 각 UE에 따라 다르게 설정되는 영역 내에 전송하며, 이 영역을 검색영역(search space)이라고 한다. 따라서, 제어 정보를 수신하고자 하는 UE는 검색영역이라고 정의된 특정 영역에 대해서만 PDCCH의 블라인드 검출을 수행함으로써, 블라인드 검출의 횟수를 줄일 수 있다. 이 검색영역에는 모든 UE가 블라인드 검출을 수행하는 공통(common) 검색영역과 해당 UE만 블라인드 검출을 수행하는 UE-특정(UE-specific) 검색영역이 있다. 공통 검색영역은 CCE 0~15이며, UE-특정 검색영역은 각 UE와 PDCCH 포맷에 따라 다르게 결정되므로 각 UE는 각 PDCCH 포맷 별로 자신의 UE-특정 검색영역에서 여러 종류의 DCI에 대해서 블라인드 검출을 수행한다. 이때 수행되는 블라인드 검출의 횟수는 최대 44번으로 제한된다.

3.4 PCFICH [1]

PCFICH는 매 부프레임마다 전송되며, 해당 부프레임을 통해 전송되는 PDCCH가 차지하고 있는 OFDM 심볼의 개수가 몇 개인지를 나타낸다. 이때, 10RB이하의 시스템에서는 CFI 1~3에 따라 2~4개의 OFDM 심볼이 PDCCH 전송을 위해 사용된다는 것을 나타내며, 10RB를 초과하는 시스템에서는 CFI 1~3에 따라 1~3개의 OFDM 심볼이 사용된다는 것을 나타낸다. 이 정보는 2비트의 CFI 정보에 대하여 (32,2) CFI 부호화 표를 사용하여 32 비트로 부호화되며, QPSK 변조 기법을 사용하여, 16개의 QPSK 심볼로 변조된다. 여기서, (32,2) CFI 부호화는 심플렉스 부호 (simplex coding)의 반복을 기반으로 하여 구성되어 있다. 16개의 심볼은 매 부프레임의 첫 번째 OFDM 심볼의 4개의 REG에 매핑되며, 이때 매핑되는 REG는 주파수 다이버시티 이득을 얻기 위해 전체 시스템 주파수 대역에 고르게 퍼지도록 선택되며, 셀 식별자에 따라 서로 다른 REG가 선택된다. (그림 7)은 20RB 시스템에서 셀 식별자에 따른 PCFICH가 전송되는 REG를 나타낸 예이다.

3.5 PHICH [1][2][3]

PHICH는 UE의 상향링크 데이터 전송에 대한 수신 여부를 각 UE에게 하향링크로 알려주는 역할을 하며, ACK은 '0'을, NACK은 '1'을 전송하게 된다. 각 ACK/NACK 신호를 PHICH를 통해 전송하는 경우에는 각 ACK/NACK 비트 신호

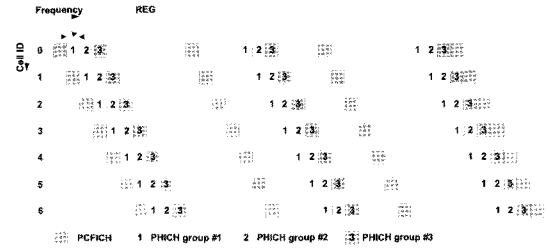


(그림 7) PCFICH 전송을 위한 REG 예 (20 RB)

를 세 번 반복한 후, 반복된 각 신호를 BPSK 변조기법을 통해 BPSK 심볼로 변조 시킨 후, 변조된 각 심볼을 Walsh 부호를 사용하여 확산한다. 이때, 기본 CP를 사용하는 경우에는 확산률 4로, 확장 CP를 사용하는 경우에는 확산률 2로 확산하여 서로 다른 Walsh 부호를 사용하여 확산한 다른 PHICH와 다중화하는데 이렇게 다중화된 PHICH들을 PHICH 그룹이라고 한다. 따라서 하나의 PHICH 그룹은 3번 반복되어 CDM 방식으로 다중화된 신호들로 이루어져 있다.

하나의 PHICH 그룹은 세 개의 REG를 통해 전송되는데, 이때 전송되는 REG는 PCFICH 전송에 사용된 REG를 제외하고, 전체 주파수 대역에 고르게 퍼지도록 선택되며, 셀 식별자에 따라 셀 별로 서로 다른 REG가 선택된다.

또한 PHICH 그룹은 non-MBMS 부프레임에서는 1 또는 3개의 OFDM 심볼에 걸쳐서 전송되고, MBMS 부프레임에서는 1 또는 2개의 OFDM 심볼에 걸쳐서 전송되며, 이는 PBCH를 통해서 전송되는 정보를 통해서 알 수 있다. 이때, 전송되는 OFDM 심볼의 개수는 PCFICH를 통해서 알 수 있는 PDCCH 전송을 위해 사용되는 OFDM 심볼 개수를 넘을 수는 없다. 즉, non-MBMS 부프레임에서 PDCCH 전송을 위해 사용되는 OFDM 심볼의 개수가 1개일 경우, PHICH는 3개의 OFDM 심볼에 걸쳐서 전송될 수 없고, 반드시 1개의 OFDM 심볼에 걸쳐서 전송되어야 하며, PDCCH 전송을 위해 사용되는 OFDM 심볼의 개수가 3개일 경우, PHICH는 PBCH 정보에 따라 1 또는 3개의 OFDM 심볼에 걸쳐서 전송이 가능하다.



(그림 8) PHICH 전송을 위한 REG 예 (20 RB)

(그림 8)은 20RB 시스템에서 하나의 OFDM 심볼을 통해서 PHICH 그룹들이 전송될 때 셀 식별자에 따라 PHICH 그룹들이 전송되는 REG를 나타낸 예이다.

각 UE가 전송한 상향링크 데이터에 대한 ACK/NACK 신호가 어느 PHICH를 통해 전송되는지를 알기 위해서 각 PHICH는 고유의 그룹인덱스와 시퀀스(sequence) 인덱스를 가지고 있는데, 이 인덱스는 다음 식(3)에 의해서 결정된다.

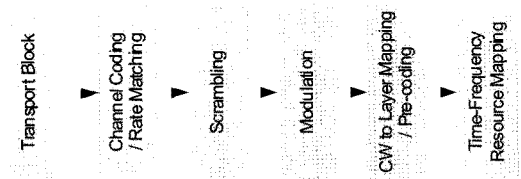
$$n_{PHICH}^{group} = (I_{PRB_RA}^{lowest_index} + n_{DMRS}) \bmod N_{PHICH}^{group}$$

$$n_{PHICH}^{seq} = (\lfloor I_{PRB_RA}^{lowest_index} / N_{PHICH}^{group} \rfloor + n_{DMRS}) \bmod 2N_{SF}^{PHICH} \quad (3)$$

$I_{PRB_RA}^{lowest_index}$ 는 상향링크 데이터 전송에 사용된 RB 인덱스 중에 가장 작은 인덱스를 나타내며, n_{DMRS} 는 상향링크 기준 신호의 순환 천이 인덱스이므로, 각 UE가 데이터 전송을 위해 사용한 RB와 RS 신호 전송을 위해 사용한 순환 천이(Cyclic Shift) 인덱스에 의해 결정된다.

3.6 PDSCH [1][2][3]

PDSCH는 실제 하향 링크 사용자 데이터를 전송하기 위한 트랜스포트 채널인 DL-SCH와 페이징 정보를 전송하기 위한 트랜스포트 채널인 PCH가 매핑되는 물리 계층 채널이다.



(그림 9) 하향링크 물리 채널 전송 프로세스

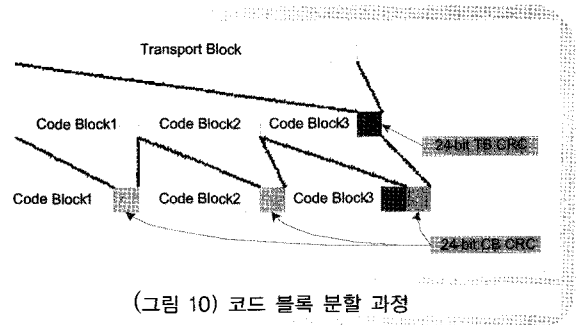
(그림 9)는 PDSCH를 포함한 일반적인 하향링크 물리 채널의 전송 프로세스를 나타낸다. PDSCH에 매핑되는 DL-SCH 또는 PCH 트랜스포트 블록이 채널 부호화 및 레이트 매칭된 후, 각 셀 식별자 번호에 따라 다른 스크램블링을 거쳐서 변조된다. 그 다음으로, 전송 기법에 따라 레이어 매핑 및 프리코딩된 후 전송된다. 코드 워드는 트랜스포트 블록이 채널 코딩 및 레이트 매칭된 후의 시퀀스를 의미하는데, 트랜스포트 블록이 두 개 일 경우 각 트랜스포트 블록은 각각 독립적인 프로세스로 채널 부호화 및 레이트 매칭된다. 이 과정을 거친 후의 시퀀스를 코드 워드라고 부르고, MIMO 일 경우에만 최대 두 개의 코드 워드 전송이 지원된다. 각각의 코드 워드는 독립적으로 스크램블링 및 변조단을 거쳐서, 레이어 매핑 및 프리코딩 단에서 다중화되어 전송된다.

DL-SCH와 PCH 트랜스포트 블록을 부호화하여 전송하기 위해서, 트랜스포트 블록은 하나 이상의 코드 블록 (code block)으로 분할 (segmentation) 되어 전송되는데, 복호 과정의 편의와 UE의 전력 소모를 절약하기 위해 각각의 코드 블록마다 CRC가 붙게 된다. 그렇지 않으면, 전체 코드 블록을 다 수신하고 트랜스포트 블록의 CRC를 체크한 후에야 하나의 트랜스포트 블록의 오류 여부를 판단할 수가 있다. 반면, 각각의 코드 블록에 CRC를 첨부하게 되면, 하나의 코드 블록을 수신한 후에 오류라고 판단되었을 때, 해당 트랜스포트 블록에 오류가 있다고 판단할 수 있다. 따라서 해당 트랜스포트 블록에 대한 이후의 코드 블록들에 대한 복호할 필요가 없어지게 되는 것이다. 그래서 PDSCH로 매핑되는 트랜스포트 블록에는 먼저 TB-CRC (transport block CRC)가 추가되고, 한 개 이상의 코드 블록으로 분할된 다음, 코드 블록 별로 CRC (CB-CRC)를 추가한 후, 부호율 1/3의 터보 부호기를 통해 채널 부호화된다. 이 때, TB-CRC와 CB-CRC는 동일하게 24 비트이지만, 수신 성능 향상을 위해서 다른 생성 다항식을 이용하여 TB-CRC와 CB-CRC가 발생된다.

이해를 돕기 위하여 트랜스포트 블록의 코드 블록 분할 과정과 CRC 첨부에 대하여 (그림 10)에 표현하였다.

하나의 트랜스포트 블록이 한 개 이상의 코드 블록으로 분할될 때, 각각의 코드 블록끼리 길이가 같거나 유사하도록 분할되어야 한다. 주어진 트랜스포트 블록의 크기가 있을 때, TB-CRC와 가상의 CB-CRC 개수를 미리 산정하여, 이

를 균일하게 등분할 수 있는 비트를 찾아야 한다. 한 트랜스포트 블록은 최대 두 가지 다른 길이를 가지는 코드 블록으로 분할할 수 있다. 분할되는 코드 블록의 개수 및 길이는 터보 부호기의 내부 인터리버 크기를 고려하여, 최대한 채울 수 있는 비트 수로 결정되어야 하며 그 값은 정의되어 있는 크기만을 사용할 수 있다. 정의되어 있는 코드 블록 길이의 최대 값은 6144 비트이다.



(그림 10) 코드 블록 분할 과정

이후, 터보 부호기에서 나오는 각 계통적 (systematic) 정보와, 두 개의 패리티 (parity) 정보는 블록 인터리버를 통하여 각각 인터리빙 된다. 이렇게 인터리빙 된 두 개의 패리티 정보는, 첫 번째 패리티 정보와 두 번째 패리티 정보가 한 비트씩 번갈아가며 섞이게 된다. 이러한 과정을 거쳐 부호화된 데이터는 HARQ운명을 위한 메모리 버퍼에 저장 되는데, 이 때 HARQ 버퍼에 저장되는 순서는 인터리빙 된 계통적 정보가 가장 먼저 놓여지고, 인터리빙 되고 한 개의 비트씩 섞인 패리티 정보들이 그 이후에 저장된다.

HARQ 버퍼에 저장된 부호율 1/3의 터보 부호기를 거친 부호화된 데이터는 UE의 채널 상태에 따라 eNB에 의해 스케줄링된 전송 부호율에 따라 HARQ 버퍼에서 필요한 만큼의 정보를 전송하게 된다. HARQ 버퍼 자체는 순환 메모리 버퍼 (circular memory buffer)로써 HARQ 버퍼로부터 정보를 읽어올 때 HARQ 버퍼의 끝까지 도달한 상태에서 더 정보를 읽어올 필요가 있을 때에는 다시 HARQ 버퍼의 첫 부분부터 읽어오기 시작한다.

실제 물리계층을 통하여 전송되는 데이터는 전송 부호율과 RV(Redundancy Version) 번호에 의해 HARQ 버퍼에서 정보를 읽어와서 전송하게 된다. 이 때 전송 부호율은 HARQ 버퍼에서 데이터를 읽어와야 하는 양을 알려주며 RV

번호는 HARQ 버퍼에서 데이터를 읽어와야 하는 시작 위치를 알려준다. LTE에서는 4개의 RV (RV0, RV1, RV2, RV3)를 정의하고 있으며, 각 RV가 지칭하는 HARQ 버퍼의 시작 위치는 전체 HARQ 버퍼를 4등분하고 있다. 여기서 특징적인 것은 첫 번째 RV는 HARQ 버퍼의 가장 처음 시작점이 아닌 약간의 오프셋을 가지고 시작한다는 것이다. 따라서, 나머지 RV에 대응되는 시작점 또한 그 오프셋 만큼 밀려 정의가 되어 있다.

eNB는 상향 링크로 각 UE의 각 RB에 대한 채널 품질 정보를 수신한 후, 하향 링크로 전송하는 PDSCH에 대하여 채널 품질 정보에 따른 AMC(Adaptive Modulation and Coding: 적응적 변조 및 코딩)를 적용하며, UE의 순시 채널 품질이 수시로 변하게 되므로 재전송 시에도 초기 전송 때와 다른 MCS(Modulation and Coding Set)를 적용할 수 있다. MCS 인덱스는 변조 차수(modulation order)와 TB(Transport Block) 길이 인덱스와 매핑 되어 있다. LTE에서는 각각의 RB들에 대하여 27 개씩의 TB 길이 인덱스가 정의 되어 있으며, 따라서 최대 27 x 110 가지의 TB 길이를 정의하고 있다. TB 길이는 PDCCH를 통하여 UE에게 전송하는 RB 할당 정보와 MCS 인덱스를 통하여 암시적으로 시그널링 된다.

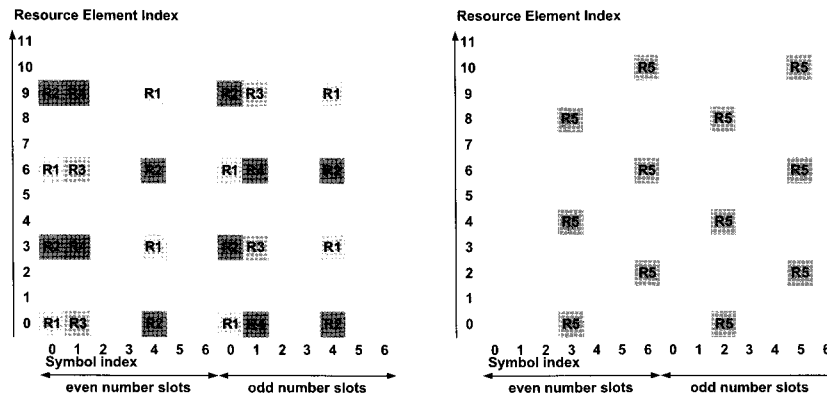
LTE 시스템에서 정의된 최대 TB 길이는 트랜스포트 블록이 두 개의 계층(layer)에 공간 다중화(spatial multiplexing)되지 않을 경우 75376비트, 두 개의 계층에 공간 다중화될 경우 149776 비트이다. 이중 계층 공간 다중화에서 정의된 최대 TB 길이는 4x4 MIMO가 사용될 경우, 도달할 수 있는 최대 데이터 율(peak rate) 300Mbps를 만족하기 위해 정의

된 값이다.

LTE시스템에서 하향 링크 송신 안테나 개수는, 1, 2, 또는 4개를 가정하고, 수신 안테나 개수는 2개 또는 4개를 가정하고 있다. 따라서, 송신 안테나가 2개 이상일 경우, 다중 안테나(MIMO) 시스템을 운영한다. PDSCH는 다수 개의 안테나에 다중화되어 전송될 수 있으며, 채널 상태 및 코드 워드 개수에 따라서 공간 다중화 및 전송 다이버시티 방식으로 전송된다. 또한, 특정 UE를 위한 UE-특정 RS를 할당함으로써, 그 UE를 위한 빔 형성도 지원한다.

3.7 RS (Reference Signal) [1]

하향링크 RS는 셀-특정 RS, UE-특정RS, MBMS RS가 있으며, MBMS 사용여부, MIMO 사용 여부, 또는 안테나 개수, CP의 종류에 따라서 그 구성이 달라진다. 셀-특정 RS는 해당 셀 안의 모든 UE에게 공통으로 전송되는 RS이며, non-MIMO 시스템에서 기본 CP를 사용하여 한 슬롯이 7개의 OFDM 심볼로 구성된 경우, RS는 각 슬롯의 첫 번째 OFDM 심볼과 5번째 OFDM 심볼의 R1위치에 전송된다(그림 11). 만약 2개의 안테나를 사용하는 경우라면 첫 번째 안테나는 R1위치에 두 번째 안테나는 R2위치에 각각 전송된다. 마찬가지로 4개의 안테나를 사용하는 경우는 각각 R3, R4위치에 RS를 전송하게 된다. 이와 같이 각 안테나는 안테나 별로 지정된 RE에만 RS를 전송하며 타 안테나 RS위치에는 비워둬야 한다. 또한 각 RS의 위치는 셀 식별자에 따라 셀별로 이동하므로, 인접한 셀 식별자를 가진 셀 간에는 RS의 위치가 충돌하지 않는다.



(그림 11) 하향링크 RS 기본 구조

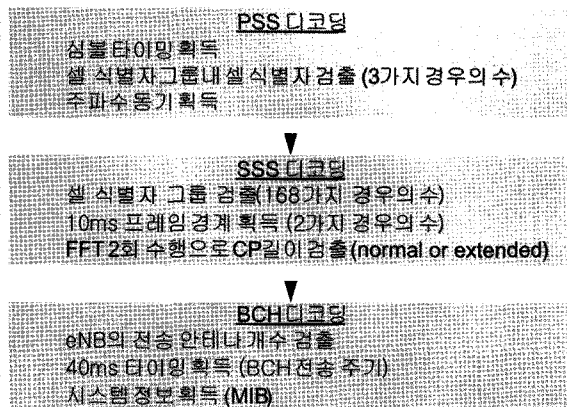
이때 사용되는 RS 시퀀스는 셀 식별자와 슬롯 넘버, OFDM 심볼 넘버에 따라 생성되는 의사 난수(pseudo-random) 시퀀스를 사용하며, 이 시퀀스는 매 심볼 별로 바뀐다.

UE-특정RS는 특정 UE에게만 전송되는 RS로써, 짝수 번째 슬롯과 홀수 번째 슬롯에서의 전송되는 OFDM 심볼의 위치가 다르며, (그림 11)에서 R5의 위치에 전송하게 된다.

IV. LTE 하향 링크 물리 계층 절차

4.1 셀 탐색 과정 [1][3]

셀 탐색 과정은 기본적으로 SS를 이용하여 이루어지며, 셀 탐색 과정을 통하여 특정 셀에 대한 시간 및 주파수 동기의 획득, 그리고 특정 셀의 셀 식별자를 획득하게 된다. 셀 탐색 과정을 (그림 12)에 도시하였다.



(그림 12) 셀 탐색 과정

LTE시스템에서는 504개의 셀 식별자가 정의 되어 있으며, 이들은 168개의 셀 식별자 그룹으로 그룹핑되고, 각각의 그룹은 세 개의 식별자 번호를 갖게 된다. 즉, 각 셀의 셀 식별자(N_{ID}^{cell})는 다음과 같이 정의 된다.

$$n_{ID}^{cell} = 3 N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)} \quad (4)$$

where, $0 \leq N_{ID}^{(1)} \leq 167$ and $0 \leq N_{ID}^{(2)} \leq 2$

식(4)에서, $N_{ID}^{(1)}$ 는 셀 그룹 식별자 번호를, $N_{ID}^{(2)}$ 는 식별자 그룹내 셀 식별자 번호를 나타낸다.

서로 다른 세 개의 PSS 시퀀스는 셀 식별자 그룹 내의 셀 식별자 번호 ($N_{ID}^{(2)}$: 0, 1, 2)와 직접적으로 매핑되어 있다. 따라서 PSS를 검출함으로써, 셀 식별자 그룹 내의 셀 식별자를 검출할 수 있다. SS는 한 프레임에서 두 번 전송 되는데, PSS는 동일한 신호가 반복적으로 전송되지만, SSS는 상관 관계를 가지는 서로 다른 신호가 각각 전송된다. 따라서, PSS를 검출함으로써, 대략적인 심볼 타이밍을 획득하게 되고, SSS를 통해서 10ms의 프레임 경계를 알 수 있게 된다. PSS는 해당 슬롯의 마지막 심볼에 전송되므로 UE가 CP의 길이를 알지 못하더라도 PSS 복호가 가능하지만, SSS를 전송하기 위해서는 CP 길이에 대한 정보가 필요하다. 따라서 SSS 검출 시에는 CP 길이에 대한 블라인드 검출을 위해 두 번의 FFT를 수행하게 된다. SSS를 검출함으로써 168가지의 셀 그룹 식별자 ($N_{ID}^{(1)}$)를 검출해 낼 수 있게 되므로, 결과적으로 SSS 검출을 수행한 이후에 각 셀의 식별자 (N_{ID}^{cell})를 검출해 낼 수 있게 된다.

BCH채널은 셀 식별자에 따라 다른 시퀀스로 스크램블링 되므로, UE가 자신이 속해 있는 셀의 식별자를 검출한 후에야 BCH를 검출할 수 있다. BCH를 검출함으로써 eNB의 안테나 개수가 몇 개인지 알 수 있고, MIB를 획득함으로써 본격적인 하향 링크 데이터 수신할 준비를 갖추게 된다.

MIB를 수신하게 되면, PDCCH를 수신할 수 있게 되고, 이는 곧 시스템 정보 (SI: System Information)에 대한 정보를 획득할 수 있음을 의미한다.

4.2 하향링크 자원할당 방법 [3]

LTE 하향링크에서 각 UE로의 시간 축 관점에서의 자원 할당은 동적 할당 방식 또는 반정적 할당 방식의 두 가지로 구분할 수 있다. 동적 할당은 부프레임의 할당 정보를 해당 부프레임의 PDCCH DCI 포맷을 통해서 매번 알려주는 방식이고, 반정적 할당은 초기 자원 할당 시에만 해당 부프레임의 PDCCH DCI 포맷을 통해서 알려주고 이후에는 PDCCH DCI 포맷을 통한 직접적인 자원 할당 정보 없이 일정한 주기로 초기에 할당 받은 자원을, 사용 해제 신호가 올 때까지 지속적으로 사용하는 것이다.

반정적 할당의 여부는 반정적 할당 전용 UE 식별자 (UE

ID)의 사용으로 동적 할당과 구분을 한다.

한편, LTE 하향 링크는 기존의 WCDMA 방식의 코드 구분을 통한 자원 할당으로 사용자 다중화를 하던 것과 달리, 다중 반송파를 사용하는 OFDMA 방식으로, 주파수축 상에서 구분되는 배타적인 자원할당을 통해서 사용자 다중화를 하게 된다. 이에 따라서 광대역 주파수 선택적 채널 환경에서, UE가 보고한 CQI를 바탕으로 UE에게 채널 상태가 좋은 주파수 대역을 할당하는 주파수 선택적 자원할당 방식과, UE로부터의 CQI를 활용하기 어려운 BCH, PCH 등과 같은 공통 정보 및 고속 이동 UE를 위한 주파수 다이버시티 할당 방식을 사용할 수 있다.

위 두 가지 방식의 주파수 축의 자원할당의 특징에 적합한 PDCCH DCI 포맷의 자원할당 제어정보 구성을 위해, LVRB (Localized Virtual Resource Block)와 DVRB (Distributed Virtual Resource Block)와 같은 논리적 RB구성 번호가 도입되어 VRB번호를 제어신호 정보로 전송하고 이를 각 방식에 따라 물리적 자원인 PRB로 대응시킨다. (그림 13)은 LVRB와 DVRB번호의 PRB번호로의 매핑 관계를 도시하고 있다.

먼저, LVRB번호는 동일한 값의 PRB번호로 일대일 대응이 된다. 이는 첫 번째 슬롯의 RB와 두 번째 슬롯의 RB에 공통적으로 적용되며, VRB번호의 최대 범위는 하향 링크 시스템에 포함되는 PRB의 최대 번호까지 가능하다. 두 슬롯 모두 인접한 PRB는 동일한 연속적인 VRB번호가 대응되어 있으므로 주로 주파수 선택적 자원할당 방식에 적합하다.

다음으로, DVRB번호는 연속된 VRB번호가 인접하지 않는 PRB에 대응될 수 있도록 인터리빙 되어 첫 번째 슬롯의 PRB번호로 대응이 된다. 두 번째 슬롯에서는 첫 번째 슬롯에서 대응된 PRB번호와의 상대적인 차이 값인 Gap만큼 떨어진 PRB번호에 대응되게 된다. 이는 하나의 VRB가 두 슬

롯의 가능한 멀리 떨어진 PRB에 대응되도록 하기 위함이다. 이와 같은 구성을 통해 연속적인 2개의 VRB를 할당할 경우 4차의 다이버시티를 얻을 수 있어, 주파수 다이버시티 자원 할당 방식에 적합하다.

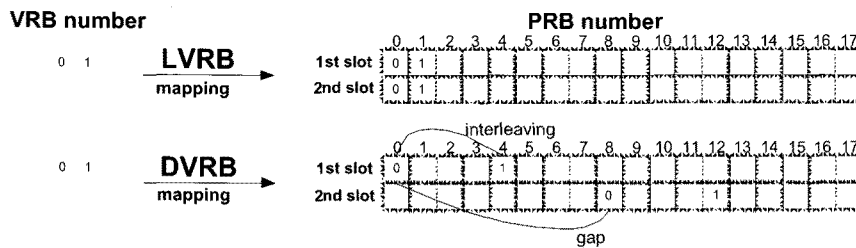
〈표 4〉 시스템 대역에 따른 RBG size 및 Gap값

System BW, M_{RB}^{UL}	RBG Size (P)	1 st Gap	2 nd Gap
6-10	1	$\lfloor M_{RB}^{UL}/2 \rfloor$	N/A
11	2	4	N/A
12-19	2	8	N/A
20-26	2	12	N/A
27-44	3	18	N/A
45-49	3	27	N/A
50-63	3	27	9
64-79	4	32	16
80-110	4	48	16

Gap값은 〈표 4〉와 같이 시스템의 주파수 대역(N_{RB}^{DL} : 전체 PRB의 수)에 따라서 다르게 정의 되어 있고, $N_{RB}^{DL} \geq 50$ 인 경우 두 값 중에 하나를 선택하여 사용하도록 되어 있다. 사용할 수 있는 VRB의 범위와 인터리버의 크기는 시스템 대역과 해당 대역에서 선택된 Gap 값에 따라서 결정된다.

PDCCH DCI 포맷에 사용되는 자원할당 정보의 필드 구성 형식은 Type 0, Type 1과 Type 2의 세가지 형식이 있고 이는 비트맵 (Bitmap) 방법과 완전 연속(Compact) 방법의 두 가지 방식으로 분류할 수 있다.

먼저 비트맵 방법은 자원할당 기본 단위를 비트맵에 대응시켜 자원할당여부를 표시하는 방식으로, 비연속적인 자원 할당이 가능한 반면 PRB수가 늘어날 경우 필요한 비트 수가 증가하는 단점이 있다. Type 0과 Type 1은 비트맵 방법에 해당하며, LVRB할당만을 지원한다. PRB 증가에 따른 과도한 비트 수 증가를 줄이기 위해 (그림 14)와 같이 각각 RBG



(그림 13) LVRB 와 DVRB

(Resource Block Group) 방식과 RBG부집합 (RBG Subset) 방식을 도입하였다.

Type 0의 경우 P개의 RB를 묶음으로 RBG를 구성하고 이를 자원할당의 기본단위로 하여 비트맵을 구성한다. 즉, 비트맵의 한 비트는 대응되는 RBG에 속하는 P개의 RB전체의 할당 여부를 표시하게 된다. 묶음의 크기인 P는 <표 4>와 같이 시스템의 주파수 대역에 따라서 다르게 정의되어 있다.

한편, RBG는 차례로 하나씩 P단위로 번갈아 나뉘어 P개의 RBG부집합을 이룬다. Type 1의 경우 이중 하나의 RBG 부집합을 선택하고 이에 속하는 RB들을 자원할당의 기본단위로 하여 비트맵을 구성한다. 즉, 비트맵의 한 비트는 RBG부집합에 속하는 하나의 RB의 할당 여부를 표시하게 된다.

Type 0에 사용하는 비트맵 비트 수(N_{RB}^{TYPE0})와 Type 1에 사용되는 총 비트 수를 같게 맞추기 위해서 Type 1에 사용되는 비트맵 비트 수(N_{RB}^{TYPE1})는 다음 관계식과 같은 제약이 적용된다.

$$N_{RB}^{TYPE0} = \lceil N_{RB}^{DL} / P \rceil = \lceil \log_2(P) \rceil + 1 + N_{RB}^{TYPE1} \quad (5)$$

여기서 Type 1의 P개의 부집합 중 선택된 것을 표시하기 위해서 $\lceil \log_2(P) \rceil$ 비트가 이용되고, 선택된 부집합에 속하는 모든 RB에 비트맵이 대응되지 못하므로 좌/우로 이동하여 RB 대응을 선택하기 위한 1비트가 사용된다.

Type 2는 완전 연속적 방법으로 할당되는 RB의 시작점 (RB_{start})과 연속적인 RB의 개수(L_{CRBs})를 RIV (Resource

Indication Value)로 변환하여 VRB 자원할당을 나타내는 방법이다. 이 방식은 PRB증가에 따른 필요 비트 수의 증가가 비트맵 방식에 비해서 크지 않다는 장점이 있는 반면 완전 연속인 자원만 할당할 수 있는 단점이 있다. 이 방식은 LVRB할당과 DVRB할당 모두를 지원한다. 이를 선택하기 위해 1비트가 헤더로 붙게 된다.

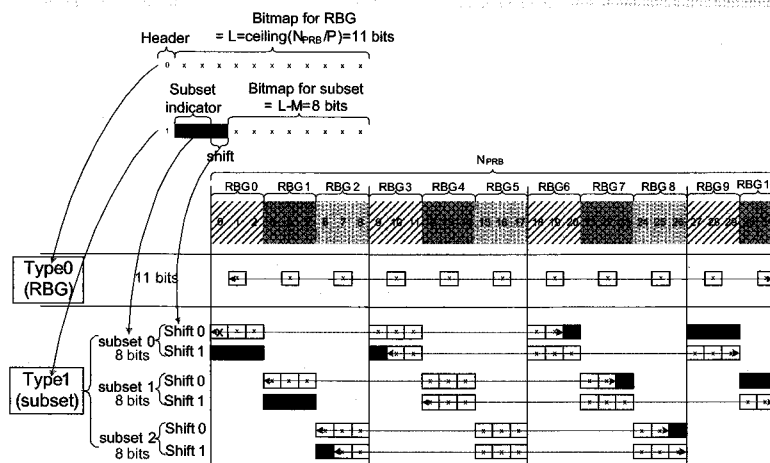
Type 2방식으로 전송하기 위해서는 헤더는 별도로 $\log_2(N_{RB}^{DL}(N_{RB}^{DL}+1)/2) - 1$ 비트가 사용된다. 모든 대역에서의 LVRB 할당과 $N_{RB}^{DL} < 50$ 일 때의 DVRB할당의 경우 위의 비트 수는 RIV를 전송하기 위해 필요한 비트이다. $N_{RB}^{DL} \geq 50$ 일 때의 DVRB할당의 경우 두 개의 Gap값 중에서 선택된 것을 지시하기 위해 총 비트 수에서 MSB 1비트가 사용되며, $\lceil \log_2(N_{RB}^{DL}(N_{RB}^{DL}+1)/2) \rceil - 1$ 비트가 RIV를 전송하기 위해서 사용된다. 이때, 1비트 부족 때문에, RB길이의 제약 조건 ($L_{CRBs} \leq 16$)이 주어진다.

4.3 LTE 하향 링크 전송 모드 [1][3]

LTE에서의 MIMO방식은 크게 전송 다이버시티 (transmit diversity)와 공간 다중화(spatial multiplexing)방식의 두 가지로 나뉘어 진다.

4.3.1 LTE 전송 다이버시티 방식

전송 다이버시티(Transmit diversity) 방식은 실제 전송안테나 개수에 따라 달라지게 된다. 전송 안테나 개수가 2개인



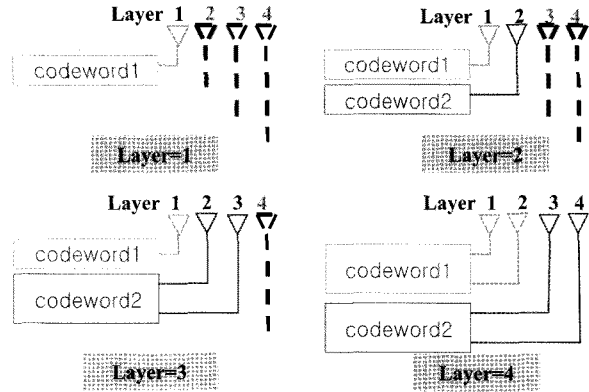
(그림 14) Type 0 와 Type 1 방식

경우는, 식 (6)과 같이 일반적인 STBC(Space Time Block Code)방식인 Alamouti 방식을 주파수축의 2개의 부반송파에 걸쳐서 적용하게 되어서, SFBC(Space Frequency Block Code)라 불린다. 식 (6)에서 $[x_0 \ x_1]$ 는 2개의 부반송파로 전송되는 복소 신호를 의미하며, 행렬의 행은 각 안테나에 대응되며 각 열은 주파수축의 부반송파들에 대응된다.

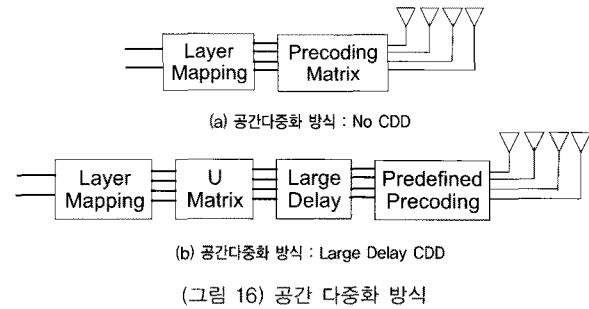
$$[x_0 \ x_1] \rightarrow \begin{bmatrix} x_0 & x_1 \\ -x_0^* & x_1^* \end{bmatrix} \quad (6)$$

한편 전송 안테나 개수가 4개가 되면, 식 (7)과 같이 전송 안테나와 부반송파를 각각 2개씩 그룹을 지어서, 각 그룹마다 SFBC를 적용하게 되어, 블록Alamouti 방식으로 불리기도 한다. 식 (7)에서 $[x_0 \ x_1 \ x_2 \ x_3]$ 는 4개의 부반송파로 전송되는 복소 신호이고, 행렬표현에서 첫 번째와 세 번째 안테나에 $[x_0 \ x_1]$ 가 Alamouti 부호화 되었으며, 두 번째와 네 번째 안테나에 $[x_2 \ x_3]$ 가 Alamouti 부호화 되었음을 알 수 있다.

$$[x_0 \ x_1 \ x_2 \ x_3] \rightarrow \begin{bmatrix} x_0 & x_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_2 & x_3 \\ -x_0^* & x_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -x_2^* & x_3^* \end{bmatrix} \quad (7)$$



(그림 15) layer별 codeword to layer mapping



(그림 16) 공간 다중화 방식

4.3.2 LTE 공간 다중화 방식

LTE에서는 공간 다중화 방식을 통해 한 개 이상의 계층(layer)으로 구성된 정보가 다수개의 안테나를 통해서 전송될 수 있다. 이때, 계층의 개수는 이상적으로 채널의 랭크(rank)에 의해서 결정되게 된다. 한편 LTE는 사용 가능한 코드 워드의 개수가 최대 2개로 제한되어 있으므로, 각각의 코드워드 계층의 개수에 따라 대응되는 방식의 정의가 필요하며, 재전송이 아닌 경우에 다음 (그림 15)와 같이 정의된다. 생성된 코드워드가 채널상황에 따라 계층에 대응된 후에는 공간 다중화 방식을 거쳐 실제 안테나를 통해 전송된다. 공간 다중화 방식은 CDD 존재 여부에 따라 (그림 16)과 같이 크게 2가지로 구분된다. 첫째는, CDD가 없는 경우로서, 폐루프 (closed loop) 모드일 때 사용되며, 프리코딩 행렬 선택 시에 사용자로부터 가장 적합한 프리 코딩 행렬을 피드백(feedback) 받아서 사용한다. 둘째는, CDD가 적용되는 경우로서, 개루프 (open loop)모드일 때 사용되며, 사용

자로부터 프리코딩 행렬을 피드백 받지 않고 미리 정해진 프리코딩 행렬만을 사용한다.

한편, (그림 16) (a)와 (b)에서 사용되는 프리코딩을 위한 코드북은 다음 <표 5>와 같다. <표 5>는 전송 안테나의 개수가 2개인 경우의 코드북을 나타내며, 전송 안테나의 개수가 4개인 경우는 지면 관계상 생략하였다. <표 5>에서 각 행은 안테나를 의미하며, 각 열은 계층에 대응된다. 기본적으로 LTE의 코드북은 Unitary 행렬을 기반으로 구성되었다.

<표 5> 전송안테나 수가 2개인 경우의 코드북

Codebook index	Number of layers	
	1	2
0	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
2	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix}$
3	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -j \end{bmatrix}$	-

또한, (그림 16)(b)에서 각 계층간의 정보를 섞어 주는 역할을 하는 행렬 U 는 <표 6>(a)와 같고, 각 계층별로 서로 다른 큰 시간 지연(Large Delay)을 주는 행렬 D 는 다음 <표 6>(b)와 같다.

<표 6> (a) Large Delay CDD를 위한 행렬

# layers	U
1	[1]
2	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & e^{-j2\pi/2} \end{bmatrix}$
3	$\frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{-j2\pi/3} & e^{-j4\pi/3} \\ 1 & e^{-j4\pi/3} & e^{-j8\pi/3} \end{bmatrix}$
4	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{-j2\pi/4} & e^{-j4\pi/4} & e^{-j6\pi/4} \\ 1 & e^{-j4\pi/4} & e^{-j8\pi/4} & e^{-j12\pi/4} \\ 1 & e^{-j6\pi/4} & e^{-j12\pi/4} & e^{-j18\pi/4} \end{bmatrix}$

<표 6> (b) Large Delay CDD를 위한 행렬

# layers	D
1	[1]
2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi/2} \end{bmatrix}$
3	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi/3} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-j4\pi/3} \end{bmatrix}$
4	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-j2\pi/4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-j4\pi/4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{-j6\pi/4} \end{bmatrix}$

4.3.3 LTE 전송모드

LTE 전송 모드는 총 7가지로 구성되어 있으며, 각각의 전송 모드에 따라 서로 다른 MIMO전송 방식이 대응되며, 미리 약속된 DCI 포맷을 사용하여 해당 제어정보를 전송하게 된다.

전송모드1은 단일 안테나를 사용하여 전송하며, 일반적인 SIMO방식의 전송 방법으로 볼 수 있다.

전송모드 2는 전송 다이버시티를 사용하여 전송하며, 앞서 살펴본 바와 같이 Alamouti 방식을 기반으로 한 SFBC가 사용된다.

전송모드 3은 개루프 공간 다중화(open loop spatial multiplexing)방식을 사용하여 전송하게 되며, 채널의 랭크가 1이면, 전송 다이버시티 방법을 사용하고 채널의 랭크가 1보다 크면, Large delay CDD방식을 사용하여 전송된다.

전송모드 4는 폐루프 공간 다중화(closed loop spatial multiplexing) 방식을 사용하여 전송하며, 코드북을 사용한 프리 코딩 행렬이 적용 가능하다.

전송모드 5는 다중 사용자(Multi-user) MIMO 를 사용하여 전송한다.

전송모드6은 폐루프에서 랭크1일 때 프리 코딩 행렬을 사용하는 경우를 의미한다.

전송모드7은 빔 형성(Beamforming)을 위한 사용자별 참조신호(reference signal)을 전송하는 경우를 나타낸다.

V. 결 론

본 기고에서는 현재 표준화 단계의 막바지에 이르고 있는 3GPP의 LTE 표준에 대하여 FDD의 하향 링크의 물리 계층 기술 위주로 설명하였다. 우선 LTE 하향 링크의 각 물리 계층 채널과 물리 계층 신호들에 대하여 자세히 알아 보았으며, 또한 하향 링크의 물리 계층과 관련된 여러 절차들에 대하여 상술하였다.

이러한 3GPP LTE 표준 기술은 향후에 전개될 IMT-Advanced 기술의 근간이 될 것이며, 이에 따라 Ericsson, Nokia, NTT DoCoMo, Qualcomm 등의 세계 유수 기업들이 적극적으로 표준화 과정에 참여해 왔다. 국내에서도 LG와 삼성, ETRI 등의 회사가 표준화 과정에 활발하게 참여해 왔으며 이 과정에서 많은 수의 표준 기술을 채택시켜 국내의 우수한 기술력을 과시하는 성과를 거두었다.



[1] 3GPP 36.211, R8, Physical Channels and Modulation for E-UTRA and E-UTRAN, v8.3.0

- [2] 3GPP 36.212, R8, Multiplexing and Channel Coding for E-UTRA and E-UTRAN, v8.3.0
- [3] 3GPP 36.213, R8, Physical Layer Procedure for E-UTRA and E-UTRAN, v8.3.0
- [4] 3GPP 36.214, R8, Physical Layer Measurements for E-UTRA and E-UTRAN, v8.3.0
- [5] 3GPP 36.300, R8, E-UTRA and E-UTRAN overall descriptions stage 2, v8.5.0

약 력



1992년 연세대학교 학사
 1994년 연세대학교 석사
 1998년 연세대학교 박사
 1998년 LG전자 입사
 현재 LG전자 3G표준화
 관심분야: 3G LTE 시스템, 차세대 이동통신 시스템

윤 영 우



1998년 연세대학교 학사
 2000년 연세대학교 석사
 2000년 LG전자 입사
 2005년 ~ 2006년 Stanford University Visiting Scholar
 현재 LG전자 3G표준화
 관심분야: 3G LTE, OFDM, MIMO

노 동 옥



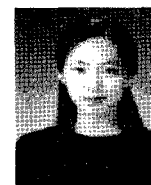
1999년 서울대학교 학사
 2001년 서울대학교 석사
 2002년 LG전자 입사
 현재 LG전자 3G표준화
 관심분야: 3G LTE시스템, 차세대 이동통신 시스템

서 동 연



2003년 서강대학교 학사
 2005년 서강대학교 석사
 2005년 LG전자 입사
 현재 LG전자 3G표준화
 관심분야: 3G LTE시스템

이 정 훈



2003년 연세대학교 학사
 2005년 연세대학교 석사
 2005년 LG전자 입사
 현재 LG전자 3G표준화
 관심분야: 3G LTE 시스템

김 은 선

