

# 3GPP LTE 및 LTE-Advanced 시스템의 상향 링크

## 전송 기술 표준화 동향

정 병 장  
한국전자통신연구원

### 요 약

DFT spread OFDM은 OFDM 방식의 주요한 장점을 보유하면서 낮은 cubic metric 특성을 가지는 전송 방식이다. 이러한 특성으로 인해 DFT spread OFDM은 3GPP LTE 시스템의 상향 링크 기본 전송 방식으로 채택되었으며, 3GPP LTE-Advanced 시스템에서도 이의 확장된 형태의 전송 기술이 기반이 되어 표준화가 진행되고 있다. 또한 LTE-Advanced 상향 링크에서는 성능 향상을 위해 MIMO 전송을 지원하는데, MIMO 전송에 있어서도 DFT spread OFDM의 낮은 cubic metric 특성을 유지하기 위해, 하향 링크 MIMO 방식과는 다소 다른 형태로 표준이 진행되고 있다. 본 고에서는 이러한 관점에서 3GPP LTE 시스템의 상향 링크 전송 기술인 DFT spread OFDM 기술을 소개하고, LTE-Advanced 시스템의 상향 링크 표준화 동향을 소개한다.

### I. 서 론

OFDM/OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplexing/Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기술은 주파수 영역에서 복수개의 서로 직교하는 부반송파들을 이용하여 송신 데이터를 변조하고 멀티플렉싱한 후 시간 영역에서 순환 전치(CP: Cyclic Prefix)를 첨가하여 송신하는 방식이다. CP 및 부반송파들의 직교성에 기인하여 OFDM 신호는 주파수 선택적 페이딩 채널(frequency selective fading channel)에 강한 특성을 지니게 되고, 수신 단에서는 간단한 주파수 영역 1-tap 등화기를 이용하여 multi-path 채널의

영향을 상쇄시킬 수 있다. 이러한 우수한 특성으로 인해 OFDM 기술은 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line) 및 VDSL(Very high-data rate Digital Subscriber Line) 등의 유선 통신 기술, 방송 시스템 및 WLAN 시스템 등에 적용되어 왔다.

셀룰라 이동통신 표준을 대표하는 3GPP 및 3GPP2에서도 CDMA 기술 이후 OFDM에 기반하여 표준화를 진행하였고, 이에 따른 표준 규격으로 3GPP LTE(Long Term Evolution) 및 3GPP2 UMB(Ultra Mobile Broadband) 표준이 등장하였다. 이 중 3GPP2의 UMB 방식은 현재 시장논리에 의해 사실상 사장되었으며, 3GPP의 LTE 기술은 ITU-R에서 추진하는 IMT-Advanced 표준 요구사항을 만족시키기 위해 LTE-Advanced 표준으로 진화되는 형태로 표준화가 계속 진행 중이다.

사실상 4세대 이동통신으로 볼 수 있는 IMT-Advanced 시스템의 주요 후보 표준 방식으로는 전술한 3GPP LTE-Advanced 표준과 IEEE802.16m 표준이 있다. 이 두 표준은 모두 OFDM에 기반하여 표준화 작업이 진행 중이다.

3GPP LTE 시스템 하향 링크에서는 전술한 바와 같이 OFDM을 기본 전송 방식으로 정하고 이에 기반하여 표준이 제정되었으나, 상향 링크에서는 OFDM 방식의 주요 단점 중 하나인 높은 PAPR(Peak to Average Power Ratio) 또는 거의 유사한 잣대인 높은 CM(Cubic Metric) 특성을 완화시키기 위해 DFT spreading으로 pre-coding을 한 후 OFDM 방식을 이용한다. 이러한 방식을 DFT spread OFDM으로 부르며 유사한 의미로 SC-FDMA(Single Carrier-Frequency Division Multiple Access)라고 부르기도 한다. 이는 특정한 원칙

에 의해 DFT spread OFDM을 적용하는 경우 송신 신호가 단일 반송파 신호와 같은 형태의 특성을 지니게 됨에 기인한다.

본 고에서는 IEEE 802.16m의 상/하향 링크 및 3GPP LTE/LTE-Advanced 하향 링크와는 달리, 순수한 형태의 OFDM이 아닌 다소 변형된 형태의 OFDM 기술에 기반한 3GPP LTE/LTE-Advanced 시스템의 상향 링크 전송 방식에 대하여 소개하고 표준화 동향을 살펴본다. 이 외의 ITU-R IMT-Advanced 시스템, IEEE 802.16m 및 3GPP LTE-Advanced 표준에 대한 개괄적인 기술 및 표준 동향은 본 특집편에 동반 수록되는 다른 논문들을 참고하기 바란다.

본 고의 순서는 다음과 같다. 먼저, II장에서는 SC-FDMA를 기반으로 하여 제정된 LTE 상향 링크 전송 방식의 특징과 표준 규격을 소개한다. LTE-Advanced 시스템 상향 링크에서는 낮은 cubic metric에 대한 요구사항을 조금 완화된 형태로 적용하고, LTE에서는 고려되지 않았던 상향 링크 다중 안테나 송수신(MIMO) 및 대역폭 확장 기술 등이 고려되어 표준화가 진행 중이다. 이러한 LTE-Advanced 시스템 상향 링크 관련 표준화 동향은 III장에서 소개한다.

## II. LTE 상향 링크 전송 방식

3GPP LTE 규격<sup>[1]~[3]</sup>에서는 진술한 바와 같이 SC-FDMA를 상향 링크 전송 방식으로 채택하고 있다. SC-FDMA의 OFDM 대비 가장 중요한 장점으로 낮은 CM, 또는 동일한 의미로 낮은 PAPR 특성을 들 수 있다. 낮은 CM 특성으로 인하여 SC-FDMA 방식을 이용하는 경우, OFDMA를 이용하는 경우보다 송신단 전력 증폭기의 전력 back-off를 작게 할 수 있다. 상향 링크의 경우, 단말기에서 송신을 수행하므로 기지국에서 송신을 하게 되는 하향 링크의 경우보다 전력 증폭기에 대한 부담은 훨씬 크게 작용한다. 즉, SC-FDMA를 전송 방식으로 이용하게 되면 OFDMA를 이용하

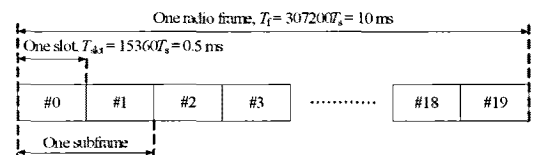
는 경우보다 상향 링크 커버리지를 더 크게 가져가거나, 또는 단말의 제조 단가 절감이 보다 용이해진다.

이러한 SC-FDMA의 낮은 CM을 갖는 장점을 높이 사서 3GPP LTE에서는 SC-FDMA를 상향 링크 전송 방식으로 제정하였다. 그러나, SC-FDMA의 낮은 CM 특성을 유지하기 위해서는 여러 가지 제약 사항이 수반된다. 데이터 채널과 제어 채널이 같은 IFFT 블록 시간 동안 주파수 영역에서 다중화될 수 없거나, 또는 수신단의 채널 추정 등을 용이하게 해주는 레퍼런스 신호(Reference Signal: RS)가, 역시 데이터 심볼과 같은 IFFT 블록 시간 동안 주파수 영역에서 다중화될 수 없음이 그 예가 되겠다.

본 장에서는 SC-FDMA를 이용하는 3GPP LTE 상향 링크 전송 방식의 개괄적인 특성을 전반부에서 소개하며, 후반부에서 CM 특성에 대해 살펴본다.

### 2-1 SC-FDMA 전송 방식

LTE에서는 이중화 방법으로 FDD(Frequency Division Duplexing) 및 TDD(Time Division Duplexing) 방식을 지원한다. 본 고에서는 이 중 FDD 방식 위주로 설명을 진행한다. LTE FDD 프레임 구조는 [그림 1]과 같이 표현되는데, 이를 type 1 프레임 구조라고 명명하였다. TDD를 위한 프레임 구조로는 type 2 형식이 있다. [그림 1]의 프레임 구조에서 하나의 라디오 프레임은 10 ms의 시간적 길이를 가지는데, 이는 1 ms의 시간적 길이를 갖는 20개의 서브프레임으로 구성된다. 다시 하나의 서브프레임은 0.5 ms의 길이를 갖는 2개의 슬롯으로 나뉜다. 서브프레임은 LTE에서 자원 할당의 주요한 기본 단위로 이용된다.



[그림 1] LTE 프레임 구조 type 1

LTE 상향 링크의 물리 채널은 상향 링크 데이터 전송을 위한 PUSCH(Physical Uplink Shared CHannel), 제어 정보 전송을 위한 PUCCH(Physical Uplink Control CHannel) 그리고 PRACH(Physical Random Access CHannel)로 구분된다. 이 외 정보를 전송하지 않는 물리 계층 시그널의 형태로 레퍼런스 시그널이 있다.

LTE 상향 링크에서는 기본적으로 단일 안테나 송신만을 지원한다. 즉, 상향 링크에서는 하나의 레이어만을 이용하여 하나의 Transport 블록을 SC-FDMA 전송 방식을 이용하여 송신한다. [그림 2]는 상향 링크 데이터 채널인 PUSCH의 기저 대역 신호 발생을 위한 개괄적 블록 다이어그램이다<sup>[1]</sup>.

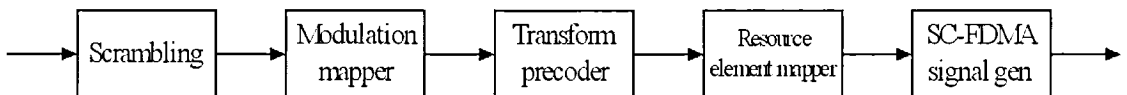
[그림 2]에서 보듯이, 기저 대역 신호는 다음과 같은 단계들에 의해 생성되어진다.

- 스크램블링
- 스크램블된 비트들을 복소 변조 심볼로 맵핑
- 트랜스폼 프리코딩
- 프리코딩된 복소 심볼들을 지정된 주파수 자원 영역으로 맵핑
- 시간 영역 SC-FDMA 신호 발생

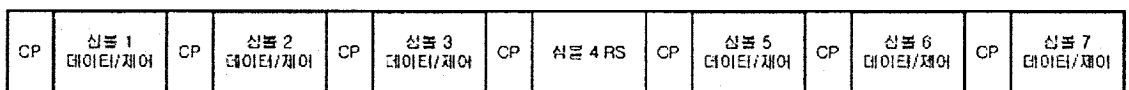
[그림 2]의 과정 중 트랜스폼 프리코딩에서는 DFT(Digital Fourier Transform)를 이용하는데, 이 DFT와 SC-FDMA 신호 발생 블록 내의 IFFT간의 상호 작용에 의해 최종적인 시간 영역의 기저 대역 신호의 파형

(waveform)은 단일 캐리어 변조 신호의 특성을 갖게 된다.

SC-FDMA 신호 발생 블록은 할당된 주파수 영역 sub-carrier들에 맵핑된 복소 심볼들을 IFFT한 후 미리 정해진 길이만큼의 CP를 첨가하여 기저 대역 신호를 생성한다. 즉, OFDMA에서의 IFFT 및 CP 첨가 과정과 동일하다. 이 때 CP는 용도에 따라 노멀 CP와 확장 CP(extended CP)로 구분된다. 노멀 CP를 사용하는 경우, 한 슬롯은 7개의 SC-FDMA 심볼로 구성되게 되며, 확장 CP의 경우 6개의 SC-FDMA 심볼로 구성된다. [그림 3]은 노멀 CP를 사용하는 경우에 대한 3GPP LTE Release 8 규격의 상향 링크 슬롯 구조이다. 총 7개의 심볼로 구성되어 있으며, 이 중 4번째 심볼 구간 동안은 수신단의 coherent 복조를 돕기 위해 RS(Reference Signal)을 전송한다. 이러한 수신단 복조를 돕기 위한 RS를 DMRS(DeModulation RS)라 한다. 이 외의 RS로는 채널 사운딩을 위한 SRS(Sounding RS)가 있다. [그림 3]의 DMRS는 주파수 영역에서 할당된 sub-carrier 개수에 대응되는 길이만큼의 Zadoff-Chu에 기반한 시퀀스를 이용한다. 이는 Zadoff-Chu 시퀀스가 일종의 CAZAC(Constant Amplitude Zero Auto Correlation)로써, 시간 영역에서 CM 특성이 우수한 동시에, 주파수 영역에서 sub-carrier별 할당 전력의 균일해서 채널 추정에 적합한 성질을 갖고 있기 때문이다. [그림 3]에서 DMRS 구간을 제외한 나



[그림 2] LTE 상향 링크 데이터 채널을 위한 SC-FDMA 블록 다이어그램



[그림 3] LTE 상향 링크 슬롯 구조

머지 심볼 구간 동안은 데이터 정보 또는 제어 정보가 전송될 수 있음을 알 수 있다. 이 때, LTE Rel. 8 규격에서는 CM 증가를 회피하기 위하여 한 심볼 구간 내에서 PUSCH와 PUCCH가 동시에 전송되는 것은 허용하지 않고 있다. 이러한 제약 사항은 LTE-Advanced 시스템에서는 다소 완화되어, LTE-Advanced에서는 PUSCH와 PUCCH의 한 심볼 구간 내에서의 동시 전송의 허용을 고려하고 있다.

전체적으로 볼 때, LTE 상향 링크의 슬롯 구조는 낮은 CM의 특성을 최대한 유지하기 위해, 일체 CM이 증가하지 않는 형태로 슬롯 구조가 정의되어 있다. 즉, 상향 링크에서는 물리 채널 및 RS의 다중화가 하향 링크와는 많이 다른 형태로 이루어지고 있다.

### 2-2 Cubic Metric

앞 절에서 설명한 바와 같이 SC-FDMA의 낮은 CM 특성은 LTE 상향 링크 규격 제정에 지대한 영향을 미쳤다. 또한, 현재 진행 중인 LTE-Advanced 시스템의 상향 링크 규격 설계에도 여전히 큰 영향을 미치고 있다. 본 절에서는 이러한 CM 특성에 대해 간략하게 소개한다.

CM은 송신단 전력 증폭기 입력 신호의 진폭 변화율과 관련된 measure로써, PAPR과 유사한 의미를 지닌다. 그러나, PAPR이 입력 신호의 2차 모먼트에 기반한 것과는 달리 CM은 용어가 의미하는 바와 같이 3차 모먼트에 근거한다. CM은 RF 전력 증폭기의 물성적 특성을 고려하여 제시되었으며, 이로 인하여 PAPR보다 전력 증폭기의 de-rating을 정확히 예측해주는 경향이 있어 3GPP 등에서는 PAPR보다 더 많이 사용되고 있다.

CM의 수식적인 정의는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$CM = \frac{20 \log_{10} \{rms(v_{norm}^3(t))\} - 20 \log_{10} \{rms(v_{ref}^3(t))\}}{K} \text{ dB} \quad (1)$$

식 (1)에서  $v(t)$ 는 전력 증폭기의 입력 전압 신호를

의미하고, 식 (1)에서 사용된 수학적 표현들은

$$\begin{cases} rms(x) = \sqrt{x^*x/N} \\ v_{norm}(t) = |v(t)| / rms\{|v(t)\} \end{cases}$$

와 같이 정의된다. 여기서  $N$ 은 신호 벡터  $x$ 의 길이이다.  $v_{ref}(t)$ 는 WCDMA 음성 참조 신호를 의미하며,  $20 \log_{10} \{rms(v_{ref}^3(t))\} = 1.52 \text{ dB}$ 이 된다. 식 (1)의 분모항  $K$ 는 여러 장치들의 물성적 특성을 고려하여 실험적으로 정해진 수치로써 1.85 또는 1.56의 값이 주로 사용된다. 식 (1)의 분자항 중  $20 \log_{10} \{rms(v_{norm}^3(t))\}$ 를 raw CM이라고 부른다.

$K=1.85$ 로 둔 경우 OFDM과 SC-FDMA의 CM 비교치를 <표 1>에 수록하였다. OFDM의 경우, 변조 차수 (Modulation Order)에 상관없이 약 3.4 dB의 CM 값을 가짐을 알 수 있으며, SC-FDMA의 경우, QPSK, 16QAM, 64QAM에 따라 각각 1.0, 1.8, 2.0 dB의 CM 값을 가짐을 알 수 있다. 즉, SC-FDMA를 이용하는 경우 OFDM 대비 약 1.4~2.4 dB의 CM 이득이 있다.

### III. LTE-Advanced 상향 링크 전송 기술 표준화 동향

3GPP LTE-Advanced에서는 IMT-Advanced의 요구 사항 및 3GPP에서 자체적으로 마련한 성능에 대한 요구사항을 만족시키기 위해 carrier aggregation, MIMO 확장, 릴레이, 다중 셀 MIMO 등 많은 기술을 검토하여 왔다<sup>14)</sup>. 이 중 상향 링크 전송 방식과 관련된 큰

<표 1> CM 비교치

Waveform	Raw CM	CM
OFDMA	7.75	3.4
SC-FDMA QPSK	3.44	1.0
SC-FDMA 16QAM	4.85	1.8
SC-FDMA 64QAM	5.18	2.0

변화로는, 상향 링크에서 4개까지의 송신 안테나를 지원하는 MIMO 기술의 도입과, 주파수 선택적 스케줄링 이득을 향상시키기 위해 SC-FDMA보다 좀 더 일반화된 형태의 전송 방식인 clustered DFT spread OFDM 등을 사용하는 것이다.

본 장에서는 LTE-Advanced 상향 링크에서 고려 중인 clustered DFT spread OFDM과 상향 링크 MIMO와 관련된 표준 동향을 소개한다.

### 3-1 Clustered DFT Spread OFDM

LTE 상향 링크에서는 SC-FDMA의 낮은 CM 특성을 유지하기 위해, 사용자 별 주파수 자원 할당을 연속적인 일정단위의 sub-carrier로 제한하였다. CM은 LTE-Advanced에서도 여전히 중요한 척도이지만, LTE-Advanced 상향 링크에서는 낮은 CM에 대한 제약사항을 조금 완화시키면서 주파수 선택적 스케줄링 이득 및 유연한 자원 할당을 위하여 clustered DFT spread OFDM 방식을 도입하고 있다. [그림 4]는 LTE 및 LTE-Advanced 상향 링크에서의 주파수 영역 자원 할당의 일례를 보여주는 개념도이다. 연속적인 sub-carrier들로 형성된 하나의 그룹을 cluster로 부른다. [그림 4](a)는 LTE 상향 링크의 자원 할당 예를 보여주는 것으로 하나의 cluster만이, 즉, 연속적인 sub-carrier들이 특정 사용자에게 할당될 수 있음을 나타내고 있다. 이는 전술한 바와 같이 CM을 최소화하기 위한 것이다. [그림 4](b)는 LTE-Advanced 상향 링크의 자원 할당 예를 보여주는 것으로 두 개 이상의 cluster가 특정 사용자에게 할당될 수 있음을 나타내고 있다. 이런 경우 두 개 이상의 cluster간의 다중화로 인해, CM이 SC-FDMA의 경우보다 증가하게 되나, 주파수 선택적 스케줄링 이득을 증가시킬 수 있으며 자원 할당의 자유도를 증가시킨다는 점에서 장점이 있다. [그림 4](b)와 같은 형태의 자원 맵핑에 근거한 전송 방식을 clustered DFT spread OFDM이라 하며, clustered DFT spread OFDM이 SC-FDMA의 일반화된 형

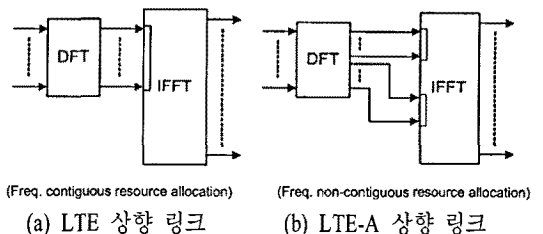
태임을 쉽게 알 수 있다. 즉, clustered DFT spread OFDM에서 cluster의 수를 하나로 하면 SC-FDMA가 된다. Clustered DFT spread OFDM의 경우, cluster의 수가 증가함에 따라 CM이 계속 증가하는 경향이 있어, 많은 cluster가 할당된 경우 OFDM의 CM에 근접하게 된다. 그러나 2, 3개 정도의 cluster를 할당하는 경우, 여전히 OFDM에 비해서 CM 이득이 있다.

LTE-Advanced 상향 링크에서 clustered DFT spread OFDM을 고려함에 따라, 수신단의 복조를 돕기 위한 DMRS 시퀀스 구조도 변화가 불가피하게 된다. 비연속적인 sub-carrier들이 특정 사용자에게 할당될 수 있음에 따라, DMRS도 비연속적인 sub-carrier들에 맵핑되어야 하는데, 아래의 두 가지 방법이 LTE-Advanced에서 논의되고 있다<sup>[5],[6]</sup>.

방법 1: cluster 수만큼의 DMRS를 할당하고, 이를 각각의 cluster에 맵핑

방법 2: 하나의 DMRS 시퀀스를 할당하여, 이를 각각의 cluster의 길이에 맞게끔 분할하여 맵핑

방법 1은 cluster내에서 완전한 DMRS 시퀀스를 사용하므로 셀간 간섭 문제 및 셀 내에서 MU-MIMO (Multi-User MIMO)를 사용하는 경우 간섭 문제가 방법 2의 경우보다 크지 않은 장점이 있다. 반면에, CM 특성 문제에 있어서는 방법 2가 다소 유리한 장점을 갖고 있다.



[그림 4] LTE 및 LTE-Advanced 상향 링크 자원 할당 개념도

3-2 상향 링크 MIMO

II장에서 소개한 바와 같이 LTE 상향 링크에서는 하나의 TB(Transport Block)를 기본적으로 하나의 송신 안테나를 이용하여 전송한다. 즉, LTE 상향 링크에서는 SU MIMO(Single User MIMO) 전송 모드가 없다. LTE-Advanced로 진화하면서 상향 링크 전송 방식에서 가장 큰 변화 중 하나가 MIMO의 도입이다. LTE-Advanced 상향 링크에서는 단일 component carrier 내에서 최대 2개의 TB 전송을 지원하며, 4개까지의 송신 안테나를 고려한다.

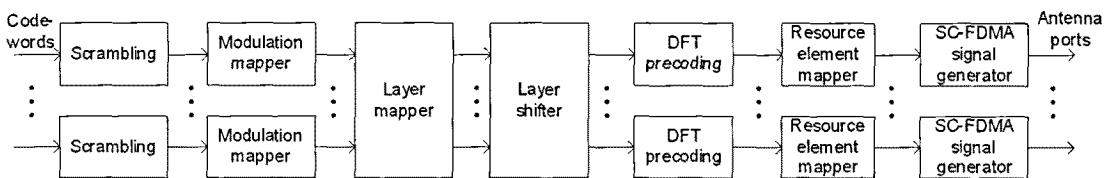
[그림 5]는 LTE-Advanced 상향 링크 MIMO spatial multiplexing에 대한 블록 다이어그램이다. MIMO의 경우에도 상향 링크에서는 CM 증가를 최대한 억제해야 하므로 하향 링크 MIMO와는 다소 다른 특성을 가질 수 있다. 공간 채널 평균화 및 diversity 이득 증가를 위해 고려될 수 있는 레이어간의 다중화도 CM이 증가하지 않는 형태로 이루어져야 하므로 LTE 하향 링크 MIMO와는 다른 형태로 이루어져야 한다. [그림 5]에서 레이어 매퍼의 경우에는 LTE 하향 링크 MIMO에서 정의한 방법을 동일하게 사용한다. [그림 5]의 레이어 쉬프터 블록과 관련해서, LTE-Advanced에서는 spatial multiplexing을 위한 방법으로 두 가지를 고려하고 있다.

- 방법 1: 레이어 쉬프팅을 수행하고 두 개의 codeword에 대한 Hybrid ARQ ACK/NACK을 bundling하여 전송
- 방법 2: 레이어 쉬프팅을 수행하지 않고 두 개의

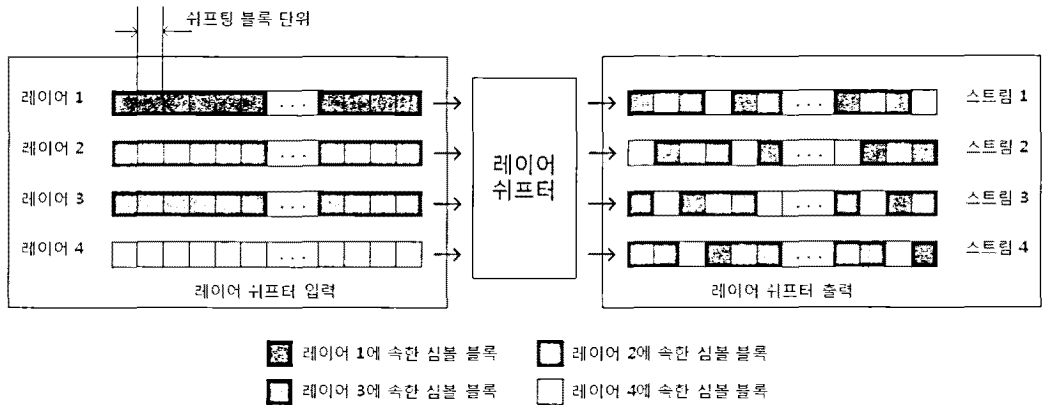
codeword에 대한 Hybrid ARQ ACK/NACK을 각각 전송

방법 1의 경우에는 레이어 쉬프팅에 의해 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있고, 두 개의 codeword간의 전송 에러 발생 가능성에 서로 상관성이 생기므로 두 개의 HARQ ACK/NACK을 bundling하기 용이하다는 장점이 있다. 그러나, 실제적인 상황에서는 AGI (Antenna Gain Imbalance)가 발생할 수 있는데, 이런 경우 방법 1이 방법 2에 비해 성능상의 이득이 없다는 주장이 있어 두 방법을 두고 논의가 진행 중이다.

[그림 6]은 방법 1과 같이 레이어 쉬프팅을 하는 경우에 있어, 가능한 레이어 쉬프팅 방법에 대한 일례를 보여주고 있다<sup>[7],[8]</sup>. 전송한 바와 같이 각 레이어에 속한 심볼들을 임의의 방법에 의해 다중화하는 경우, 일반적으로 CM이 증가하게 된다. 이를 방지하기 위해, DFT precoding 이전의 시간 영역에서, 각 레이어에 속한 심볼들을 일정 크기의 쉬프팅 블록 단위로 분할하고, 이 단위 별로 순차적으로 쉬프트를 하게 되면 각 안테나별 전송 신호는 DFT precoding과 IFFT의 상관관계에 의해 CM이 증가하지 않게 된다. 쉬프팅 블록의 단위로는 1) 하나의 복소 변조 심볼 단위, 2) DFT precoding 블록 단위, 3) 슬롯 단위 등이 논의된 바 있는데, 공간 다이버시티 이득 측면과 SIC(Successive Interference Cancellation) 형태의 수신기 적용 용이성 등을 동시에 고려할 때 DFT precoding 블록 단위의 레이어 쉬프팅이 가장 유력한 상황이다.



[그림 5] MIMO spatial multiplexing 블록 다이어그램



[그림 6] 레이어 쉬프팅 개념도

이 외에, [그림 6]에서는 표현이 안되어 있으나, LTE-Advanced 상향 링크 SU-MIMO spatial multiplexing의 경우 하향 링크와 마찬가지로 공간 precoding을 적용한다. 이 경우에도, 하향 링크에서 적용하는 codebook을 상향 링크에 적용하면 CM이 증가하게 되어, CM이 크게 증가하지 않는 형태의 codebook을 설계하여 적용하여야 한다. LTE-Advanced에서 검토한 precoding codebook은 CM이 전혀 증가하지 않는 CMP(CM preserving) codebook<sup>[8]</sup>과 CM이 제한적인 범위 내에서만 증가하는 CMF(CM Friendly) codebook<sup>[9]</sup>의 두 분류가 있었는데, 최근 CMP codebook을 이용하는 형태로 방향이 정리되고 있다. LTE-Advanced 상향 링크에서 고려하는 CMP codebook의 원리는 아주 단순한 것으로서, 송신 안테나 별 신호가 precoding에 의해 다중화되는 경우에는 CM의 증가를 피하기 어려우므로, 이를 회피하기 위해 각기 다른 레이어에 속한 복소심볼들이 각각 다른 송신 안테나를 통해 전송될 수 있는 형태로 precoding codebook을 구성하는 것이다.

위에서 언급한 내용들을 볼 때, 상향 링크의 SU-MIMO를 위한 기술은 CM과 관련이 없는 부분에서는 이미 정의된 LTE 하향 링크 방식을 그대로 사용할 수 있으나, CM과 관련된 부분에서는, LTE 상향 링크 단일 안테나 전송 방식에서 그랬던 것처럼, LTE-Advanced

상향 링크 다중안테나 전송 방식에서도 CM을 고려하여 하향 링크의 방식과는 차별화되는 다른 형태로 진화하고 있음을 알 수 있을 것이다.

#### IV. 결 론

LTE 상향 링크에서는 CM 특성이 우수한 SC-FDMA 전송 방식을 기반으로 규격이 제정되었다. LTE-Advanced에서는 이를 기반으로 하여, 성능 향상을 위해 clustered DFT spread OFDM으로 기본 전송 방식을 확장하고 SU MIMO를 도입하였으며, 이와 관련된 기술적 부분들을 규격에 반영하기 위한 표준화가 진행 중이다. 본문에서 여러 번 강조한 바와 같이, LTE/LTE-Advanced 상향 링크 표준화의 많은 규격 관련 사항들은 대부분 낮은 CM을 유지해야 하는 관점에서 설계되었거나 또는 논의 중이다. 그러한 결과로 상향 링크에서는 채널 다중화, RS 구조, MIMO 전송 방식 등의 많은 면에서 하향 링크와는 다른 특색을 지니고 있다. 본 고에서는 이러한 관점에서 LTE 및 LTE-Advanced 상향 링크 전송 방식의 표준 규격 및 표준화 동향을 소개하였다. 현재 논의가 진행 중인 LTE-Advanced 시스템의 상향 링크 관련 기술들도 대부분 이런 관점을 고려하여 규격이 제정될 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 3GPP TS36.211, "Physical Channels and Modulation (Release 8)", v.8.9.0, Dec. 2009.
- [2] 3GPP TS36.212, "Multiplexing and Channel Coding (Release 8)", v.8.8.0, Dec. 2009.
- [3] 3GPP TS36.213, "Physical Layer Procedures (Release 8)", v.8.8.0, Dec. 2009.
- [4] 3GPP TR36.814, "Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects", v1.6.2, Feb. 2010.
- [5] 3GPP R1-093865, NEC Group, "Mapping of UL RS sequence for clustered DFT spread OFDM", 3GPP RAN1 WG1 #58bis, Oct. 2009.
- [6] 3GPP R1-094508, Panasonic, "Views on UL DM-RS", 3GPP RAN1 WG1 #59, Nov. 2009.
- [7] 3GPP R1-090881, ETRI, "Uplink SU MIMO with simple layer interleaving", 3GPP RAN1 WG1 #56, Feb. 2009.
- [8] 3GPP R1-091626, Ericsson, "Uplink SU-MIMO in LTE-Advanced", 3GPP RAN1 WG1 #56bis, Mar. 2009.
- [9] 3GPP R1-093055, Huawei, "Precoding for UL 4 Tx MIMO", 3GPP RAN1 WG1 #58, Aug. 2009.

≡ 필자소개 ≡

### 정 병 장



1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1997년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1994년 5월~2003년 5월: 삼성종합기술

원 전문연구원

2003년 6월~2010년 1월: ETRI 인터넷연구부문 차세대이동통신 방식연구팀 책임연구원

2010년 2월~현재: ETRI 방송통신융합연구부문 인지무선연구팀장

[주 관심분야] 통신신호처리, 이동통신 물리계층, 인지무선