

LTE Rel-12 TDD 표준화 동향



최승훈 삼성전자 DMC 연구소 책임
지형주 삼성전자 DMC 연구소 책임
김영범 삼성전자 DMC 연구소 책임
이주호 삼성전자 DMC 연구소 마스터

1. 머리말

TDD(Time Division Duplex)는 FDD(Frequency Division Duplex)와 더불어 3GPP LTE에서 채택하고 있는 대표적인 듀플렉스 방식이다. 두 개의 주파수 자원을 송신과 수신에 각각 활용하는 FDD와는 달리, TDD는 하나의 주파수 자원을 시간으로 분리하여 송신과 수신에 활용하기 때문에 송수신 데이터의 양에 따라 효율적으로 주파수 자원을 분배하는 것이 가능하다. 최근 스마트폰이나 태블릿 기기에 의해 급증하는 무선 트래픽과 한정된 주파수 자원을 고려했을 때, 주파수 자원을 효율적으로 사용하기에 적합한 TDD가 점점 더 중요한 듀플렉스 기술로써 대두되고 있다. 본 고에서는 LTE Rel-12의 대표적인 TDD 기술들인 TDD-FDD 주파수 집성

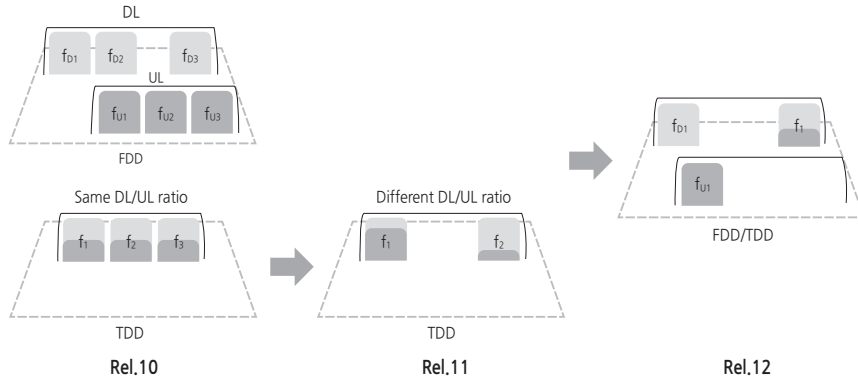
(TDD-FDD Carrier Aggregation)과 동적 TDD 운영(eIMTA: enhanced Interference Management and Traffic Adaptation)의 최신 표준화 동향에 대하여 살펴보고자 한다.

2. TDD-FDD 주파수 집성 표준화 동향

2.1 기본소개

[그림 1]은 LTE Rel-10에서 처음 도입된 주파수 집성 기술이 Rel-11을 거쳐 Rel-12에서 어떻게 진화했는지를 보여준다. [그림 1]에서 보듯이, LTE Rel-10에서는 FDD를 지원하는 셀¹⁾(cell)들에 대한 주파수 집성 또는 TDD를 지원하는 셀들에 대한 주파수 집성만을 지원하였다. LTE Rel-11에서는 TDD 주파수 집성에 대한 진화로써, 셀들이 서로 다른 TDD

1) 셀(cell)은 캐리어(carrier)를 의미함.



[그림 1] LTE Rel-10으로부터 Rel-12까지 주파수 집성 기술의 진화

UL-DL 설정²⁾(TDD UL-DL configuration)을 갖는 경우에 대한 주파수 집성을 지원하였다. 현재 논의되고 있는 LTE Rel-12에서는 TDD 및 FDD 주파수 집성 기술의 진화로써 TDD-FDD 주파수 집성을 도입하였다. TDD-FDD 주파수 집성은 기존에 같은 듀플렉스를 지원하는 셀에서만 지원되던 주파수 집성을 듀플렉스와 관계없이 지원할 수 있도록 하는 기술이다. TDD-FDD 주파수 집성은 TDD 캐리어와 FDD 캐리어를 동시에 보유하고 있는 통신 사업자가 급증하는 트래픽을 주파수 집성을 통해 처리할 때, TDD/FDD의 장점을 취함과 동시에 TDD/FDD 캐리어를 효율적으로 이용하기 위한 목적을 달성하기 위해 도입되었다.

[그림 2]는 LTE Rel-12에서 TDD-FDD 주파수 집성을 적용하기 위한 대표적인 시나리오들을 보여준다. 첫 번째는 하나의 기지국 내에서 서로 다른 듀플렉스를 지원하는 셀들에 대한 주파수 집성을 고려하는 시나리오이다. 두 번째는 기지국과 이상적인 백홀망으로 연결되어 있는 RRH(Radio Remote Head)가 서로 다른 듀플렉스를 지원하는 경우의



[그림 2] TDD-FDD 주파수 집성의 적용 시나리오

주파수 집성을 고려하는 시나리오이다. 위의 시나리오들은 기본적으로 LTE Rel-10에서 주파수 집성을 위해 결정되었던 시나리오들을 기반으로 하고 있다.

LTE Rel-12의 TDD-FDD 주파수 집성은 Rel-10 주파수 집성이 진화되는 연장선상에서 논의가 진행되었다. 따라서 TDD-FDD 주파수 집성을 위해 LTE Rel-10 주파수 집성에서 도입된 다음의 기본 원칙들이 재사용되었다.

첫 번째로, P셀(Primary cell)과 S셀(Secondary cell)의 결합으로 주파수 집성이 지원된다. P셀과 S셀은 LTE Rel-10 주파수 집성으로부터 사용된 용어로서, P셀은 단말이 초기 접속과 랜덤 접속을 수행하는 기본 셀을 의미하며, 단말에 주파수 집성이 지원될 때, P셀 외에 S셀들이 추가로 단말에 설정된다.

두 번째로 하향 데이터에 대한 상향 피드백은 P셀

2) TDD UL-DL 설정은 LTE에서 TDD를 위해 상향 서브프레임과 하향 서브프레임의 비율을 정의한 것을 의미함.

에서만 전송된다. 기지국이 하향 데이터를 전송하면, 그에 대한 응답으로써 단말은 상향 피드백을 전송한다. 단말이 상향 피드백을 전송할 수 있는 상향 주파수의 수는 단말(UE capability)에 따라 다르며, 모든 단말이 기본적으로 P셀에 접속할 수 있는 것을 고려하여, LTE Rel-10 주파수 집성부터 상향 피드백이 P셀에서만 전송되도록 결정하였다.

세 번째로 셀 간 교차 스케줄링이 지원된다. LTE Rel-10 주파수 집성부터 데이터가 전송되는 셀과는 다른 셀에서 스케줄링을 지원할 수 있게 되었다. 단, 하향 데이터 스케줄링의 경우 스케줄링을 전송하는 셀이나 그에 따른 데이터를 전송하는 셀이 모두 하향 서브프레임인 경우에만 교차 스케줄링이 가능하다.

위의 기본 원칙들을 기반으로 TDD-FDD 주파수 집성 기술을 P셀이 FDD인 경우와 TDD인 경우로 나누어 각각 살펴보고자 하자.

2.2 P셀이 FDD인 경우 TDD-FDD 주파수 집성 기술

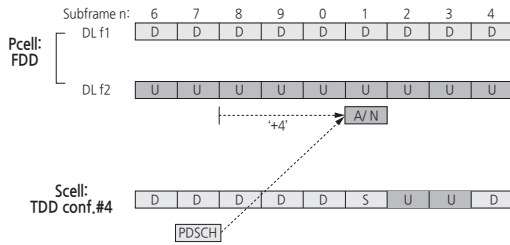
P셀이 FDD인 경우 S셀이 TDD일 때, 주파수 집성을 위해 도입된 기술은 TDD 셀(S셀)을 운영하는 데 있어서 FDD 셀(P셀)의 특징을 적용하는 것이다. 이것이 가능한 이유는 TDD에서는 상향 자원(또는 하향 자원)이 특정 서브프레임³⁾에서만 존재하는 것에 비해 FDD에서는 서브프레임마다 상향 자원과 하향 자원이 함께 존재하기 때문이다. 다음의 기술들을 통해 FDD P셀과 함께 TDD S셀을 운영할 때 FDD 셀의 특징을 적용한 것을 살펴보고자 하자.

첫 번째로 TDD 셀(S셀)에서 하향 데이터가 전송된 후 P셀에서 상향 피드백을 전송할 때, FDD

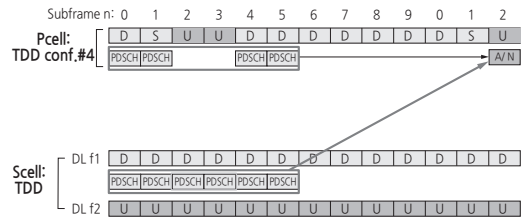
고유의 피드백 타이밍을 적용하는 것이 가능하다. [그림 3]에서 보듯이, TDD S셀의 임의의 하향 서브프레임에서 하향 데이터(PDSCH: Physical Downlink Shared CHannel)가 전송될 때, FDD 고유의 피드백 타이밍인 4 서브프레임 후의 P셀의 상향 서브프레임에서 상향 피드백(A/N)이 전송된다. 이것은 위에서 설명한 대로, FDD P셀의 모든 서브프레임에서 상향 자원과 하향 자원이 함께 존재하기 때문에 가능한 것이다.

두 번째로 TDD S셀의 데이터 전송을 지시하기 위한 스케줄링 정보에 FDD 셀(P셀)의 특징이 적용된다. 일례로, LTE Rel-8에서 TDD 셀의 데이터 전송을 지시하기 위한 스케줄링 정보에는 DAI(Downlink Assignment Index) 필드가 2비트 존재한다. TDD 셀에서는 기본적으로 다수의 하향 서브프레임에서의 하향 데이터들에 대한 상향 피드백들을 하나의 상향 서브프레임에서 전송하도록 설계되어 있다. 따라서 DAI 필드는 몇 개의 하향 서브프레임에서 데이터가 전송되었는지를 기지국이 단말에게 알려줌으로써, 놓친 하향 데이터가 없도록 하기 위한 목적에서 도입되었다. [그림 3]에서 보듯이, TDD S셀에서 하향 데이터가 전송될 때마다 그에 따른 상향 피드백이 매 4 서브프레임 후의 FDD P셀의 상향 서브프레임에서 전송될 수 있다. 이 경우 FDD 셀에서의 데이터를 스케줄링하는 것과 같이, 스케줄링 정보에 DAI 필드가 필요 없게 된다. 따라서 TDD S셀의 하향 데이터 전송을 지시하는 스케줄링 정보에 DAI 필드를 포함하지 않도록 설계하였다.

3) LTE에서 데이터 전송을 위한 최소 시간 단위로 1ms를 의미함.



[그림 3] P셀이 FDD인 경우, TDD S셀의 상향 피드백 타이밍



[그림 4] P셀이 TDD인 경우, FDD S셀의 상향 피드백 타이밍

2.3 P셀이 TDD인 경우 TDD-FDD 주파수 집성 기술

P셀이 TDD인 경우 S셀이 FDD일 때, 도입된 주파수 집성 기술은 FDD 셀(S셀)을 운영하는 데 있어서 TDD 셀(P셀)의 특징을 적용하는 것이다. P셀의 듀플렉스는 TDD이므로, 상향 자원(또는 하향 자원)이 특정 서브프레임에서만 존재한다. 따라서 다음의 기술들을 통해 TDD P셀과 함께 FDD S셀을 운영할 때 TDD 셀의 특징을 적용한 것을 살펴해보도록 하자.

첫 번째로 FDD 셀(S셀)에서 하향 데이터가 전송된 후 P셀의 상향 서브프레임에서 상향 피드백을 전송할 때, TDD 셀에서처럼 다른 상향 피드백들이 P셀의 상향 서브프레임에서 함께 전송된다. [그림 4]에서 보듯이, FDD S셀에서 하향 데이터(PDSCH)가 전송될 때, 그에 대한 상향 피드백은 다른 하향 서브프레임들에서의 하향 데이터에 대한 피드백들과 함께 TDD P셀의 상향 서브프레임에서 전송된다. 이것은 위에서 설명한 대로, TDD P셀의 상향 자원이 특정 서브프레임에서만 존재하기 때문이다.

두 번째로 FDD S셀의 데이터 전송을 지시하기 위한 스케줄링 정보에 TDD 셀(P셀)의 특징이 적용된다. 위에서 설명한 DAI 필드는 기본적으로 FDD 셀에서의 하향 데이터 전송을 지시하는 스케줄링 정보에 필요없는 정보이다. 하지만 [그림 4]에서 보듯이, FDD S셀에서 전송된 하향 데이터에 대한 상향 피드백은 다른 하향 서브프레임에서 전송된 하향

데이터에 대한 상향 피드백과 함께 TDD P셀의 한 상향 서브프레임에서 전송된다. 이 경우 TDD 셀에서의 데이터를 스케줄링하는 것과 같이, 놓친 하향 데이터가 없도록 하기 위해 DAI 필드가 필요하게 된다. 따라서 FDD S셀의 하향 데이터 전송을 지시하는 스케줄링 정보에 DAI 필드를 포함하도록 설계하였다.

이상으로 LTE Rel-12에서 도입된 TDD-FDD 주파수 집성 기술에 대하여 살펴보았다. 지금부터 LTE Rel-12의 또 다른 대표적인 TDD 기술인 동적 TDD 운영에 대하여 살펴보도록 하자.

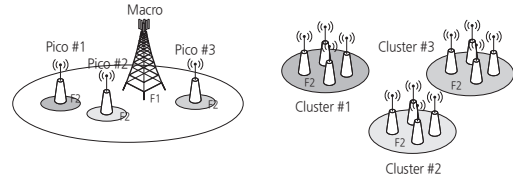
3. 동적 TDD 운영 표준화 동향

3.1 기본 소개

TDD UL-DL 설정은 하향 서브프레임과 상향 서브프레임의 비율을 정의한 것으로, [그림 5]에서 보듯이 LTE Rel-8에서는 총 7가지의 TDD UL-DL 설정이 정의되었다. TDD UL-DL 설정은 시스템 정보로부터 얻어지며, TDD UL-DL 설정에 관한 시스템 정보가 변경되기 전까지는 TDD UL-DL 설정은 고정된다. 셀에 접속된 단말이 많고, 송수신 트래픽량의 변화가 크지 않은 매크로 셀 같은 경우, 고정된 TDD UL-DL 설정이 문제없이 잘 동작할 수 있었다. 하지만 소수의 단말이 통신을 수행하는 소형 셀에

Subframe n:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TDD conf. #0	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
TDD conf. #1	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
TDD conf. #2	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
TDD conf. #3	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
TDD conf. #4	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
TDD conf. #5	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
TDD conf. #6	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

[그림 5] LTE Rel-8의 TDD UL-DL 설정



[그림 6] 동적 TDD 운영의 적용 시나리오

서는 단말의 트래픽 종류나 그 단말의 수에 따라 송수신 트래픽 양이 변화할 수 있다. 따라서 LTE Rel-12에서는 소형 셀에서와 같이 송수신 트래픽 양이 시간이나 장소에 따라 변화할 때, TDD UL-DL 설정을 동적으로 변화시킴으로써 송수신 트래픽 양에 따라서 상/하향 자원을 조절하기 위한 기술이 도입되었다.

[그림 6]은 LTE Rel-12에서 동적 TDD 운영을 적용하기 위한 대표적인 시나리오들을 보여준다.

첫 번째는 매크로 기지국과 서로 다른 주파수에서 운용되는 피코 기지국 간에 동적 TDD 운영을 적용하는 시나리오이다. 두 번째는 매크로 기지국의 커버리지 내에 없는 피코 기지국들이 모여서 클러스터를 형성하고, 각 클러스터가 동적 TDD 운영을 적용하는 시나리오이다. 이 시나리오에서 한 클러스터 내에 있는 모든 피코 기지국 간에는 동일한 TDD UL-DL 설정을 적용해야 한다. 위의 두 시나리오에서 각 피코 기지국들 또는 각 클러스터 간에 자유롭게 동적 TDD 운영을 적용했을 때, 단말 상향 신호로부터 또 다른 단말의 하향 신호 수신에 미치는 간섭과 피코 기지국(또는 클러스터) 하향 신호로부터 또 다른 피코 기지국(또는 클러스터)의 상향 신호 수신에 미치는 간섭들이 존재하게 되며, 이 간섭들을 해결하기 위한 기술들이 또한 논의되었다.

3.2 동적 TDD 운영 기술

먼저 TDD UL-DL 설정을 동적으로 변경하는 방법에

대하여 살펴보도록 하자. 피코 기지국이 TDD UL-DL 설정을 변경하는 경우, 변경된 TDD UL-DL 설정은 피코 셀 내의 동적 TDD 운영을 지원하는 단말들에 지시되어야 한다. 따라서 셀 내의 동적 TDD 운영을 지원하는 단말들에 최소 10ms에서 최대 80ms의 주기로 변경 신호를 전송하여 변경된 TDD UL-DL 설정을 알려주게 된다. LTE Rel-8에서 정의된 TDD UL-DL 설정의 개수가 총 7개이기 때문에, 변경 신호에 필요한 비트 수는 3비트이며, 주파수 집성을 지원하기 위해 동적 TDD 운영을 지원하는 셀 수만큼의 추가적인 비트가 필요하게 된다. 이때, 단말별로 주파수 집성을 위해 설정된 셀들이 다르기 때문에, 단말은 각 셀의 TDD UL-DL 설정 정보가 변경 신호 내에 어디에 위치하는지에 대한 정보를 미리 전송받아야 한다. 또한 변경 신호를 수신하기 위한 서브프레임과 오프셋 등이 사전에 단말에 설정되어야 한다.

다음으로, 동적 TDD 운영 시, 데이터에 대한 응답으로써 피드백을 전송하는 타이밍에 대하여 살펴 보도록 하자. TDD는 UL-DL 설정 별로 하향 서브프레임과 상향 서브프레임의 수가 다르기 때문에, 각 TDD UL-DL 설정 별로 하향 데이터에 대한 상향 피드백을 어떤 서브프레임에서 전송해야 하는지가 LTE Rel-8에서 정의되었다. TDD UL-DL 설정 별로 하향 데이터에 대한 상향 피드백 전송 타이밍이 다를 수 있기 때문에, TDD UL-DL 설정이 동적으로

변경되더라도 하향 데이터에 대한 상향 피드백을 끊임없이 수행할 수 있도록 해야 한다. 따라서 동적 TDD 운영을 지원할 때, 단말은 하향 데이터에 대한 상향 피드백 타이밍을 상위 신호로 미리 전송받도록 하였다.

마지막으로, 동적 TDD 운영 시, 간섭 문제에 대하여 살펴보도록 하자. 위에서 설명한 대로 피코 기지국들 또는 클러스터 간에 자유롭게 동적 TDD 운영을 적용했을 때, 단말 상향 신호로부터 또 다른 단말의 하향 신호 수신에 미치는 간섭과 피코 기지국(또는 클러스터) 하향 신호로부터 또 다른 피코 기지국(또는 클러스터)의 상향 신호 수신에 미치는 간섭들이 존재하게 된다. 위의 간섭 문제를 해결하기 위해 LTE Rel-12에서는 서로 다른 간섭을 받는 상향 서브프레임들에 대한 집합을 두 종류로 나누어 다른 상향 전력 제어를 적용하도록 하였다. 또한, 서로 다른 간섭을 받는 하향 서브프레임들에 대한 집합을 두 종류로 나누어 다른 간섭 측정과 채널 상태 보고를 할 수 있는 방법을 도입하였다. 따라서 단말 하향 수신 신호에 강한 간섭으로 존재하는 또 다른 단말의 상향 신호에 대한 상향 전력 제어를 통해 상향 간섭을 낮추거나, 채널 상태 보고를 통한 단말 하향 신호의 변조방식과 부호율을 조절하여 간섭에 강한 하향 신호를 전송할 수 있다. 또한, 피코 기지국(또는 클러스터) 하향 신호가 또 다른 피코 기지국(또는 클러스터)의 상향 신호 수신에 간섭을 미칠 때 상향 전력 제어를 통해 상향 신호 전력을 증가시킬 수 있다.

4. 맺음말

본 고에서는 LTE Rel-12에서의 대표적인 TDD 기술들인 TDD-FDD 주파수 집성 및 동적 TDD 운영의 최신 표준화 동향에 대하여 살펴보았다. TDD-FDD 주파수 집성은 LTE Rel-10 주파수 집성의 연장 선상에서 진화가 되었으며, 데이터에 대한 피드백 타이밍과 스케줄링 정보에 대한 변경 등을 통해서 다른 듀플렉스를 지원하는 셀들에 대한 주파수 집성이 가능하게 되었다. 또한, 동적 TDD 운영은 LTE Rel-8에서 정의된 TDD UL-DL 설정을 기반으로 최소 10ms에서 최대 80ms의 주기로 변경 신호를 전송하여 TDD UL-DL 설정을 동적으로 변경하는 것이 가능하게 되었다. LTE Rel-12에서 표준화된 TDD 기술들은 매크로 셀로부터 데이터 오프로딩을 담당하는 소형 셀과도 잘 연동될 수 있으며, 급증하는 다양한 성격의 트래픽을 처리하는 하는 데 있어서 큰 역할을 할 것으로 기대된다. 