

3GPP LTE-Advanced 및 IEEE 802.16m의 셀간 협력 전송기술 표준화 동향

고영조 | 김지형 | 권동승
한국전자통신연구원

요 약

본고에서는 최근 3GPP LTE-Advanced와 IEEE 802.16m의 표준화 작업에서 다루어지는 있는 셀간 협력전송기술의 기술적 내용과 향후 표준화 전망에 대해 알아본다.

I. 서 론

셀룰러 이동통신 시스템에서 셀간 간섭은 셀 경계지역 단말의 통화품질 저하시키는 주요 원인이 된다. OFDM 시스템에서 셀간 간섭을 완화시키는 방법으로 FFR (Fractional Frequency Reuse) 방식의 셀간 간섭 조정 (Inter-cell Coordination) 기법이 LTE 시스템 등에 표준화되었다.

2008년 3월 이후 3GPP에서는 LTE-Advanced 표준규격 작성에 앞서 LTE-Advanced 후보요소기술을 정하고 타당성을 검토하는 활동을 하고 있으며 셀간 간섭 제어를 위한 셀간 협력전송기술이 제안되어 검토 중이다.

IEEE 802.16m에서는 다중 기지국간의 다중 안테나를 이용한 기술들이 제안되고 있다. 제안된 기술들은 크게 기지국간 백본을 고려하여 컨트롤 메시지만을 공유하는 협력 기술과 정보 데이터까지 공유하는 협력 기술로 나뉘어진다. 2008년부터 셀간 협력 기술에 대해 본격적인 논의가 이루어지고 있으며 현재의 Draft Amendment version 2에 일부 셀간 협력 기술들을 채택하고 있다.

II. LTE-Advanced 셀간 협력전송기술[1]

3GPP에서 LTE-Advanced 시스템을 위한 셀간 협력전송기술은 CoMP (Coordinated Multi-point Scheduling) 라 명명되어 LTE-Advanced주요 요소기술 중 하나로 연구가 진행 중이다. CoMP는 셀 경계 단말의 데이터 전송률을 향상 시키는 것을 주 목적으로 하며 하향링크의 경우 아래와 같이 다시 JP (Joint Processing)와 CS/CB (Coordinated Scheduling/Beamforming)로 나뉜다.

1. CoMP 기술의 분류와 단말 피드백

- JP

지리적으로 떨어져 있는 다수 개의 전송 점들 (transmission points)이 단말에게 전송할 데이터를 공유한다. 세부적으로 조인트 전송 (Joint Transmission)과 동적 셀 선택 (Dynamic Cell Selection)으로 나누어진다. 조인트 전송은 다수 전송 점들이 동시에 같은 자원을 사용하여 같은 데이터를 단말에 전송한다. 동적 셀 선택은 한번에 한 개 전송 점이 데이터를 전송하고 전송 점이 동적으로 바뀔 수 있다.

- CS/CB

서빙 셀 (serving cell)만 데이터를 갖고 있고 주변 셀들과 스케줄링 및 빔 형성에 대한 협력을 통해 셀 경계 단말이 경험하는 간섭을 줄인다.

CoMP를 실현하기 위해서는 셀간 협력을 셀과 셀 사이의 정보 교환이 필수적이다. 셀간 협력은 기지국내 (intra-eNB)

협력과 기지국간 (inter-eNB) 협력으로 나누어 볼 수 있다. 기지국내 협력은 한 개 기지국이 다수 개의 셀을 관리하는 경우에 이들 셀들간의 협력을 의미하며 전송지연 및 트래픽 유발의 문제가 발생하지 않으므로 JP CoMP를 수행하기에 적합하다. 반면 기지국간 협력은 서로 다른 기지국에 속한 셀들간의 협력으로 정보교환의 지연에 따른 협력 지연의 문제가 발생하므로 상대적으로 지연에 덜 민감한 CS/CB CoMP 방식에 적용이 가능하다.

LTE-Advanced 하향링크 전송은 복조를 위해 단말 고유 레퍼런스 신호 (UE-specific Reference Signal)를 사용한다. 이 레퍼런스 신호는 단말에게 전송되는 데이터와 같은 프리코딩 (precoding)을 적용받게 되어 단말이 데이터를 복조하는데 있어 데이터와 레퍼런스 신호에 사용된 프리코딩 정보가 필요하지 않다. 이로 인해 기지국은 자유롭게 프리코딩을 선택할 수 있다. 즉, LTE와 같이 코드북 (codebook)을 정의하여 코드북에 속하는 프리코딩만을 선택하여 사용하여야 하는 제한이 사라지게 된다. 이와 같은 이유로 코드북에 기반한 프리코딩은 단말의 피드백이 필요한 경우에만 피드백 정보를 표현하기 위해서 규격에 도입될 것으로 예상된다.

현재 3GPP내에서 CoMP를 위해 고려되고 있는 단말 피드백 메커니즘은 아래와 같이 크게 세가지로 분류된다 [1].

- 명시적 피드백 (Explicit Feedback)
- 함축적 피드백 (Implicit Feedback)
- 단말 사운딩 레퍼런스 신호 (Sounding RS)

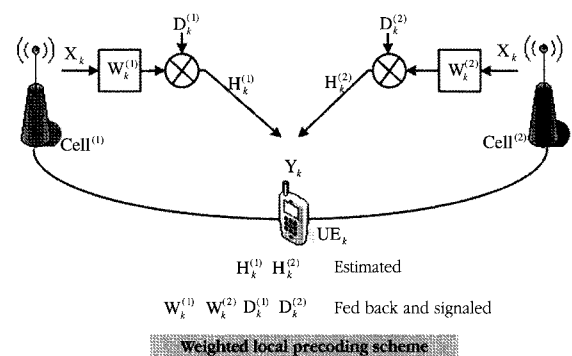
명시적 피드백의 내용으로 채널행렬, 채널의 공분산 (Covariance) 행렬 또는 채널행렬 혹은 공분산 행렬의 고유 성분 등이 논의되고 있다. 함축적 피드백의 형태는 LTE Release 8에 정의된 것과 같이 PMI (Precoding Matrix Indicator)/CQI (Channel Quality Indicator)/RI (Rank Indicator)와 비슷한 형태의 피드백이 고려되고 있다. 단말의 사운딩 레퍼런스 신호를 사용하는 방식은 주로 TDD에서 채널의 상호성 (reciprocity)을 이용 상향링크 사운딩 신호로부터 하향링크 채널정보를 획득하는 방식이다. 하지만, 최근에는 중장기적 채널 정보의 경우 특히 안테나간 상관성이 높은 채널에서는 FDD에서도 상호성을 이용할 수 있다는 연구결과가 발표되고 있다. 이 경우, FDD에서도 단말의 사운

딩 신호를 수신하여 하향링크 공분산 채널 행렬 등을 획득할 수 있게 된다 [7].

2. 하향링크 CoMP의 대표적인 방식들

JP CoMP의 대표적인 방식은 셀 별 코드북에 기반한 다중 셀 코히어런트 (Coherent) 전송이다.

(그림 1)은 JP CoMP의 대표적인 예로 “셀 단위 프리코딩 및 셀간 위상보정” 기법[2]을 보여준다. 이 방식은 각 셀 단위로 빔 형성을 시도하고 다중 셀로부터 도달하는 서로 다른 빔의 위상이 서로 보강 중첩될 수 있도록 각 빔의 위상을 추가로 보정해주는 기법이다. 함축적 피드백을 사용할 경우 단말은 조인트 전송에 참여하는 각 셀에 대해 선호하는 PMI를 각 셀의 코드북으로부터 선택하고 선택된 PMI를 사용한다는 가정하에 가장 선호되는 각 빔의 위상 보정값을 역시 코드북에서 선택한다. 선택된 셀 별 PMI와 셀 간 위상 보정값은 기지국에 피드백 된다.

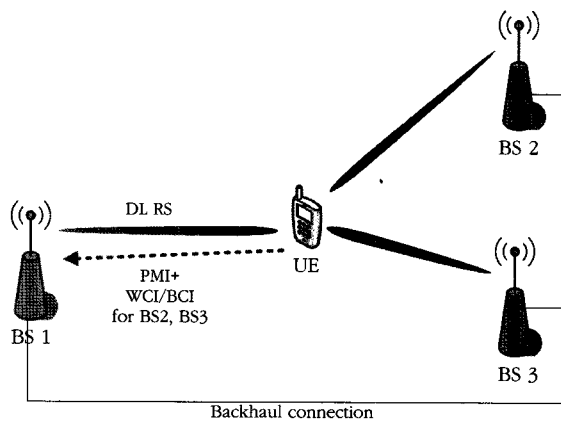


(그림 1) JP CoMP: 셀 단위 프리코딩 및 위상보정기법[2][3]

CS/CB CoMP의 대표적인 방식은 PMI 제한/추천에 기반한다. 현재 Release 8에 규격화된 RNTP (Relative Narrowband Transmit Power)는 하향링크에서 특정 자원의 전송전력을 문턱값 이하로 제한하는 정보를 담은 기지국간 시그널링이다. 각 셀은 자신이 관리하는 단위자원별로 1개 bit를 할당하여 문턱값 이하로 전송전력이 제한되는지 여부를 이웃 셀에 알려준다. 대부분의 FFR방식은 위의 RNTP 시그널링으로 구현될 수 있다. CS/CB는 전송전력차원의 협력에서 더 나아가 공간적 자유도인 빔 형성의 상호 협력을 포함한다.

(그림 2)는 CS/CB CoMP의 대표적인 예로 “셀간 PMI 협

력" 기법을 보여준다. 셀간 협력을 통해 간섭을 많이 주는 프리코딩에 사용제한을 가하는 방식이다. 예를 들어 단말은 자신의 주요 간섭 셀들에 대해서 간섭을 많이 주므로 사용의 제한을 원하는 PMI 혹은 간섭을 최소로 주는 PMI 를 구하여 이를 서빙 셀에 보고한다. 서빙 셀은 단말들로부터 얻은 정보를 토대로 제한 및 추천 PMI 를 결정하고 이를 이웃 셀들에게 알려주고 이웃 셀들은 이를 스케줄링에 반영한다. 이 방식은 종래 Release 9의 FFR에 추가적으로 공간적 영역인 빔 형성 협력을 통해 더욱 효율적인 간섭완화를 시도하는 방식이라고 볼 수 있다.

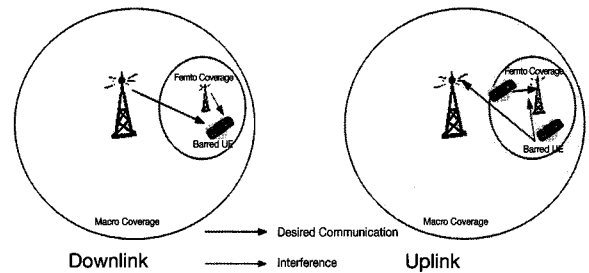


(그림 2) CS/CB CoMP: 간섭완화를 위한 셀간 PMI 협력[4]

3. 이종 네트워크(Heterogeneous network)를 위한 CoMP

LTE-Advanced 시스템은 매크로 (macro) 셀뿐만 아니라 다양한 형태의 저전력 소형 셀 (pico, femto, relay 셀 등)을 지원하고 있으며 셀 배치 관점에서 매크로 셀들과 소형 셀들이 혼재하는 이종 네트워크가 흔히 존재할 것으로 예상된다. 이에 따라 매크로 셀과 소형 셀간의 간섭, 소형 셀들간의 간섭 등 기존의 매크로 셀간 간섭 문제와는 다른 형태의 이웃 셀 간섭 문제가 발생하게 된다. (그림 3)은 폐쇄형 가입자 그룹에 기반한 펌토셀 (femto cells with closed subscriber groups)과 매크셀 간섭 문제를 예시한다. 특정 펌토셀에 가입자로 등록되어있지 않은 단말은 펌토셀에 액세스가 허가되지 않으므로 펌토셀 근처에서 펌토셀로부터 강한 하향링크 간섭을 받을 수 있고 (왼쪽 그림) 단말이 펌토셀에 강한

상향링크 간섭을 주는 경우 (오른쪽 그림)가 발생할 수 있다. 즉, 펌토셀에 등록되어 있지 않은 단말에 기인한 강한 간섭을 매크로 셀과 펌토 셀간 주로 받게 된다. 매우 강한 간섭과 간섭 크기의 큰 변동폭 등으로 인해 기존 매크로 셀에 사용된 기법과는 다른 형태의 간섭제어, 셀 선택 등이 요구된다[6].



(그림 3) 이종 네트워크에서 간섭 문제의 예[5]

III. IEEE802.16m에서의 다중 기지국 협력통신

인접 셀의 간섭을 완화시키고 섹터 용량과 셀 경계의 용량을 개선하기 위해 IEEE802.16m [8]에서는 다중 기지국간의 다중 안테나를 이용한 기술들이 제안되고 있다. IEEE802.16m에 지금까지 채택된 기술들은 <표 1>과 같다.

<표 1> 다중 기지국의 협력 통신

하향링크	- 프리코딩 행렬 인덱스 (PMI) 제한
	- PMI 추천
	- 페루프 매크로 다이버시티 (macro diversity)
	- 다중 안테나 기반 협력 전송
상향링크	- PMI 결합
	- 다중 안테나 기반 협력 수신

이는 다중 기지국간의 조정을 통한 단일 기지국 프리코딩 방식과 다중 기지국간 협력 프리코딩 방식으로 나뉘어진다.

본 절에서는 IEEE802.16m에서 제안된 기술들을 바탕으로 다중 기지국 협력 통신에 대해 살펴본다.

1. 단일 기지국 프로세싱

단일 기지국 다중 안테나 기법에서는 인접한 다른 기지국들과 정보 데이터를 공유하지 않고 자신의 데이터만을 전송한다. 다만, 다중 기지국간의 조정을 위한 인접 셀의 간섭 채널에 대한 정보, 프리코딩 정보나 스케줄링 정보 등의 제어 메시지는 공유되어 단일 기지국의 프리코딩을 위해 사용된다.

1.1. 하향링크

1.1.1. 채널을 이용한 빔포밍 기법

직접적인 채널 피드백은 시분할 다중접속 (TDD) 이나 주파수분할 다중접속 (FDD) 시스템에서의 채널정보 전송 방식으로 아날로그 피드백이 대표적인 예이다. TDD에서는 채널정보 전송 방식으로 하향링크와 상향링크 채널의 상호성을 이용한 채널 사운딩을 사용할 수도 있다. 이와 같이 기지국이 채널정보를 알 수 있는 경우 채널에 적합한 빔포밍 방식을 사용한다. 인접 셀 간섭 완화를 위한 다중 셀 조정 빔포밍을 적용하기 위해서는 서빙 셀 기지국의 단말과 인접 기지국과의 채널정보가 필요하고 이를 추정하기 위해 하향링크의 파일럿 신호를 이용한다.

1.1.1.1. 빔 충돌 회피를 통한 고정 빔포밍 기법 [9]

서로 다른 셀들의 빔이 충돌하지 않도록 빔의 위치와 스케줄링을 동시에 고려하는 빔 충돌 회피 기법이다. 이는 빔의 위치가 같은 인접 셀 단말에게 서로 다른 자원을 할당시켜 빔 충돌을 회피하는 방법으로 각 셀 단말의 서비스 품질 (QoS) 및 공정성을 고려하여 협력 기지국들의 스케줄링이 함께 수반된다.

1.1.1.2. 인접 셀의 간섭 억제를 통한 적응 빔포밍 기법

적응 빔포밍은 인접 셀 기지국에 간섭을 줄이는 빔을 형성하는 방법이다. 이는 인접 셀의 간섭을 최소화 하려는 빔포밍 벡터 (예를 들어, 제로 포싱 (zero-forcing) 빔포밍) 도 이용할 수 있다.

1.1.2. 코드북 기반 PMI 기법

다중 안테나 시스템에서 일반적으로 피드백 오버헤드를 고려하여 코드북 기반의 프리코딩 기법이 주로 사용된다. 이는 추정된 채널을 바탕으로 최적의 코드워드를 찾고 이에 해당하는 인덱스를 피드백하여 프리코딩을 하는데 사용한다. 기본적으로 단말이 사용하는 빔의 상태에 따라 다시 말해 코드워드에 따라 인접 셀에 미치는 간섭의 영향이 달라진다. 따라서 인접 셀 간섭을 고려한 코드워드 선택 및 프리코딩 기법에 대한 연구가 진행되고 있다.

1.1.2.1. PMI 제한 기법 [10]

단말이 인접 셀로부터의 간섭 채널을 추정하여 자신에게 간섭이 크게 미치는 프리코딩 행렬의 인덱스 혹은 인덱스 집합을 인접 셀 기지국에 알려주고 이를 사용하지 않도록 제한하는 기법이다. 하향 링크 파일럿 신호를 기반으로 채널추정을 수행하는 경우 제한하고자 하는 프리코딩 행렬의 인덱스 혹은 인덱스 집합은 인접 셀 기지국과의 피드백 채널을 할당하여 전달하거나 서빙 셀 기지국의 피드백을 통하여 인접 셀 기지국에 전달할 수 있다.

1.1.2.2. PMI 추천 기법 [11]

단말이 자신에게 간섭을 작게 주는 프리코딩 행렬의 인덱스 혹은 인덱스 집합을 인접 셀 기지국에 추천하는 방식으로 PMI 제한 기법과 유사한 프로토콜을 따른다.

1.2. 상향링크

1.2.1. PMI 결합 기법 [12]

상향링크에서도 하향링크에서와 유사하게 셀 경계에 있는 단말이 인접 셀에 간섭을 미치기 때문에 이를 효과적으로 억제하기 위한 다중 셀 조정 기반의 빔포밍 기법이 요구된다. 상향링크에서의 TDD에서는 하향링크 파일럿 신호를 이용하여 채널정보를 추정할 수 있고, TDD 또는 FDD에서는 상향 링크 사운딩 채널을 이용하여 서빙 셀 기지국에서의 채널 추정이 가능하다. 추정한 채널정보를 바탕으로 상향링크에서의 빔포밍을 수행한다.

PMI 결합 기법은 서빙 셀 채널용량을 최대화할 수 있는 빔포밍 벡터와 인접 셀 간섭을 최소화할 수 있는 빔포밍 벡터

를 간섭량에 근거하여 최적으로 선형 조합하고 이를 전송한다. 선형조합의 비율은 단말 또는 기지국에서 정할 수 있다. 이는 셀 경계의 용량 증대 또는 섹터 용량의 증대와 같은 운영 시나리오에 따라 조정이 가능하다.

2. 다중 기지국 프로세싱

단일 기지국 프로세싱과 달리 인접 셀 간섭 채널 정보 및 스케줄링 정보 등의 컨트를 메시지뿐만 아니라 각 기지국과 단말이 전송하고자 하는 정보 데이터를 공유한다.

2.1. 하향링크

2.1.1. 단일 단말을 위한 다중안테나 기법

다중 안테나 기반 협력 또는 가상 안테나 기반 기법은 각 셀의 기지국을 서로 다른 안테나로 간주하여 매크로 다이버시티 (macro diversity) 이득을 얻을 수 있는 기술이다. 즉, 그룹화된 다중 셀의 기지국들에 의해 단일 단말에게 데이터를 전송하는 방식으로 단말에 대한 동일한 자원 할당 방식이 필요하다. 이를 위해서 그룹화된 다중 셀의 셀 경계에 위치한 단말에 대한 스케줄링이 요구된다. 각 셀의 기지국은 하나의 안테나만 사용할 수 있고 빔포밍을 위해 다중 안테나를 사용할 수도 있다. 이는 각 셀의 기지국의 데이터 전송 방식에 따라 크게 세 가지로 분류된다.

2.1.1.1. Coherent 전송 기법

각 셀의 기지국이 동시에 동일한 데이터를 전송하는 기법이다. 따라서 송신 어레이 (array) 이득과 송신 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

2.1.1.2. 시공간 전송 다이버시티 (STTD) 기법

단일 단말 다중 안테나 기법에서 일반적으로 사용되는 방법으로 Alamouti [13] 가 제안한 2개의 송신 안테나를 적용하는 시공간 블록 코드 (STBC) 가 대표적이다. 이는 단말과 각 셀의 기지국과의 채널이 독립적인 특성으로부터 시공간 부호를 적용함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

2.1.1.3. 공간 다중화 (SM) 기법

각 셀의 기지국에서 서로 다른 데이터를 전송하는 방식이

다. 이는 다수의 데이터를 동시에 전송할 수 있지만, 각 신호를 분리하기 위해서는 높은 수신 복잡도가 요구된다. 동시 전송 가능한 최대 심볼 수는 사용자 단말기의 수신 안테나 개수에 의존한다.

2.1.2. 다중 단말을 위한 채널을 이용한 다중 안테나 기법

직접적인 채널 피드백으로 기지국에서 추정된 채널을 획득하는 경우 다중 기지국이 공동으로 빔포밍을 수행할 수 있다. 이는 각 셀의 기지국들이 분산적으로 수행하는지 혹은 중앙 제어국에 의해 수행하는지에 따라 나뉘어진다. 분산 기법에서는 전송하고자 하는 단말에 대한 데이터 및 채널 정보만을 필요로 한다. 다시 말해, 그룹화된 협력 기지국들 중 전송하고자 하는 단말의 셀 정보만을 이용하는 것이다. 단, 스케줄링 정보는 모든 협력 기지국끼리 서로 공유하여 단말에 대한 자원 할당을 한다. 중앙 기법에서는 그룹화된 기지국들을 제어할 수 있는 제어국 (Base controller)이 필요하다. 제어국에서는 각 셀의 모든 단말에게 전송하고자 하는 데이터 및 채널 정보가 필요하고 이를 기반으로 공동의 스케줄링 및 빔포밍을 수행한다. 제어국에서 결정된 스케줄링 및 빔포밍 정보는 각 셀의 기지국에게 전달되고 이를 기반으로 데이터를 전송한다.

2.1.2.1. 제로 포싱 빔포밍 기법

기존의 단일 기지국 다중 단말 빔포밍에서 널리 이용된 제로 포싱 빔포밍을 적용할 수 있다. 이는 선형 연산으로 상대적으로 복잡도가 낮고 단말이 많은 경우 최적의 단말쌍을 선택함으로써 높은 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

2.1.2.2. 더티 페이퍼 코딩 (DPC) 기법

DPC도 마찬가지로 단일 기지국 다중 단말 빔포밍에서 사용되는 방식으로 적용 가능하다. 높은 연산량을 요구하지만 사용자가 적은 경우 제로 포싱 빔포밍에 비해 뛰어난 성능을 보여준다.

2.1.3. 다중 단말을 위한 코드북 기반 다중 안테나 기법

2.1.2 절에서 소개된 방식들은 컨트를 메시지의 오버헤드 관점에서 코드북 기반으로 적용할 수 있다. 다중 기지국을 이용하여 기본적으로 각 기지국이 소유하고 있는 안테나의

수의 합만큼 채널의 랭크가 증가하기 때문에 이를 위한 새로운 코드북이 필요하다.

2.1.3.1. Per-User Unitary Rate Control (PU2RC) [14]

다중 기지국 공동 빔포밍의 중앙 기법처럼 제어국이 필요하며 제어국에서는 각 셀의 기지국에서 각 단말로부터 피드백 받은 프리코딩 인덱스, 채널 품질 정보 (CQI), 랭크 (rank) 정보 등을 종합하여 이를 기반으로 스케줄링과 프리코딩을 수행한다.

2.2. 상향링크

2.2.1. 다중 기지국 협력 수신 기법

상향링크를 위한 다중 기지국 다중 안테나 협력 방식에는 다중 기지국이 공동으로 수신하는 방식이 있다. 이를 위해서는 인접 셀 단말과의 채널을 추정할 수 있도록 셀간 직교적인 파일럿이 필요하다. 각 셀의 기지국에서 수신된 신호 혹은 검출된 신호와 추정된 채널 정보를 공유하여 분산 방식으로 간섭 제거와 함께 검출하거나 이들을 제어국에서 종합하여 공동 검출할 수 있다.

2.2.1.1. 간섭 제거

각 셀의 기지국에서 초기에 검출된 신호는 인접 기지국에 전달되어 인접 셀의 간섭을 제거하는데 사용된다. 검출된 신호는 경관정 (hard decision) 부호 (coding) 비트 (bit), 부호 비트의 로그 우호비 (LLR, 또는 복호 (decoding) 비트의 형태로 전송된다. 복호 비트가 가장 적은 오버헤드를 가지지만 다시 부호화와 변조 과정을 수행해야 하므로 지연시간이 길어질 수 있다. 반면 경관정 부호 비트의 경우 부호율에 따라 오버헤드 양이 증가될 수 있지만 변조 후 간섭 제거가 가능하다. 부호 비트의 로그 우호비는 양자화 후 전송되고 이는 복호화 오류에 의한 성능 저하의 영향을 최소화 할 수 있다.

2.2.1.2. 공동 검출

위 소절에서는 인접 셀에서 오는 신호를 간섭으로 간주하였지만 이를 다이버시티 이득으로 고려하여 성능을 향상시킬 수 있다. 이를 위해 검출할 신호의 수만큼의 수신 안테나

가 필요하다. 공동으로 신호 검출을 위해서는 각 셀의 기지국에서 양자화된 수신 신호 및 추정된 채널 정보를 공유하거나 제어국에 전달해야 한다. 취합된 수신 신호 및 채널 정보를 이용하여 가상 다중 안테나 입출력 구조를 형성할 수 있고, 다중 안테나의 검출 알고리즘을 적용하여 최종적으로 신호 검출을 한다.

IV. 결 론

셀간 협력 전송기술은 특히 다중 안테나 사용과 결합되어 송신 전력 뿐 아니라 빔 형성, 다중 셀 프리코딩을 사용하는 조인트 전송 등을 사용하여 보다 능동적으로 셀간 간섭에 대처하는 기술이다. 본고에서는 최근 3GPP LTE-Advanced와 IEEE 802.16m의 표준화에서 다루어지고 있는 셀간 협력 전송기술에 대해 살펴보았다. 이들 기술은 표준화 작업을 거쳐 4세대 IMT-Advanced 시스템으로 상용화될 것으로 예측된다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP TR 36.814: "Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects"
- [2] R1-083546, ETRI, "Per-cell codebook methods for downlink joint-processing CoMP," 3GPP RAN WG1 #54bis, Prague, Czech Rep., Sept.-Oct. 2008.
- [3] R1-090696, Sharp, "Considerations on precoding scheme for DL joint processing CoMP," Athens, Greece, Feb. 2009.
- [4] R1-094144, CATT, "Considerations on Spatial Domain Coordination in LTE-A," 3GPP RAN WG1 #58bis, Oct. 2009.
- [5] R1-0994224, Qualcomm, "Heterogeneous Networks: General views", 3GPP RAN WG1 #58bis, Oct. 2009.
- [6] R1-092057, Qualcomm, "Signaling for spatial

- coordination in DL CoMP," 3GPP RAN WG1 #57, May 2009.
- [7] R1-094280, Ericsson, "Using Channel Reciprocity for CoMP in FDD Systems," 3GPP RAN WG1 #58bis, Oct. 2009.
- [8] IEEE P802.16m/D2, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," Oct. 2009.
- [9] Choong Il Yeh, et al., "Network Coordinated Beamforming," IEEE C802.16m-08/374r1, May 2008.
- [10] Dongguk Lim, et al., "PMI Restriction for the downlink Closed-loop MIMO," IEEE C802.16m-08/430r1, July 2008.
- [11] Lingjia Liu, et al., "Multi-cell MIMO Schemes for IEEE 802.16m," IEEE C802.16m-08/632, July 2008.
- [12] Jihyung Kim, et al., "PMI Combination Proceeding in Uplink for Improvement of Throughput in A Multi-Cell Environment," IEEE C802.16m-09/1030r1, May 2009.
- [13] S.M.Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.16, No.8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [14] R.W.Heath, et al., "Multiuser Diversity for MIMO Wireless Systems with Linear Receivers," Proc. of the IEEE Communications Systems, and Conference, Oct. 2001.

약 력



고 영 조

1992년 한국과학기술원 학사
 1994년 한국과학기술원 석사
 1998년 한국과학기술원 박사
 1998년 ~ 현재 ETRI 이동통신연구본부 차세대 이동통신방식 연구팀 책임연구원
 관심분야: IMT-Advanced 물리계층기술, MIMO, 다중셀 협력 송수신 등



김 지 형

2000년 연세대학교 학사
 2002년 연세대학교 석사
 2007년 연세대학교 박사
 2007년 ~ 현재 ETRI 이동통신본부 광대역무선전송연구팀 선임연구원
 관심분야: OFDMA, Ad-hoc, Mesh



권 동 승

1985년 연세대학교 학사
 1987년 연세대학교 석사
 2004년 연세대학교 박사
 1988년 ~ 현재 ETRI 이동통신본부 광대역무선전송연구팀장
 관심분야: 이동통신시스템

