



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0098689
(43) 공개일자 2023년07월04일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/024 (2017.01) H04B 17/11 (2015.01)
H04B 7/0452 (2017.01) H04B 7/0456 (2017.01)
H04B 7/06 (2017.01) H04L 25/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H04B 7/024 (2013.01)
H04B 17/11 (2015.01)
- (21) 출원번호 10-2023-7020793(분할)
(22) 출원일자(국제) 2014년03월12일
심사청구일자 2023년06월20일
- (62) 원출원 특허 10-2023-7004618
원출원일자(국제) 2014년03월12일
심사청구일자 2023년02월08일
- (85) 번역문제출일자 2023년06월20일
(86) 국제출원번호 PCT/US2014/025105
(87) 국제공개번호 WO 2014/151150
국제공개일자 2014년09월25일
- (30) 우선권주장
13/844,355 2013년03월15일 미국(US)

- (71) 출원인
리어텐 엘엘씨
미국 캘리포니아 마운틴 뷰 스위트 디 에스. 휘스
만 로드 211 (우: 94041)
- (72) 발명자
포렌자, 안토니오
미국 94107 캘리포니아주 샌프란시스코 브라이언
트 스트리트 355 스위트 110
사이비, 파디
미국 94107 캘리포니아주 샌프란시스코 브라이언
트 스트리트 355 스위트 110
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
특허법인 남앤남

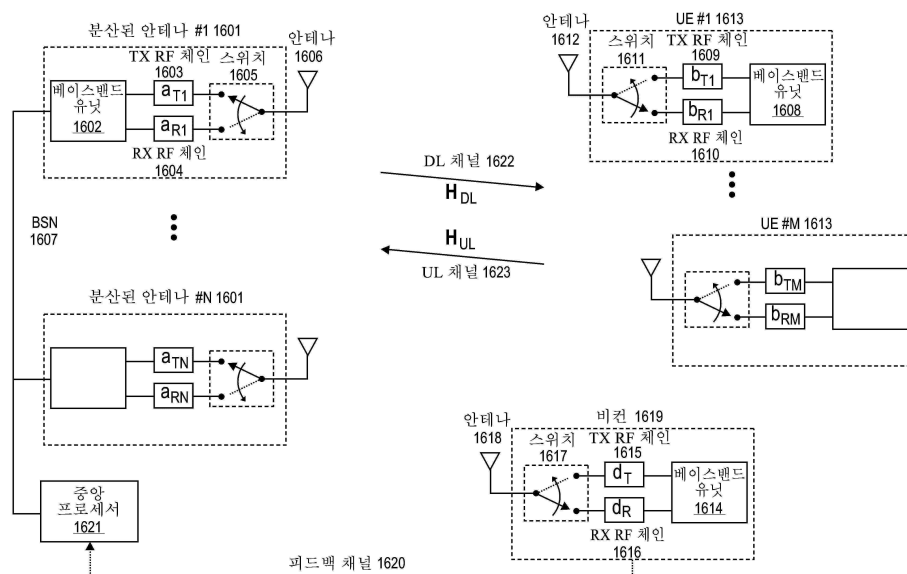
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 분산 입력 분산 출력 무선 통신에서 채널 상호성을 활용하는 무선 주파수 교정을 위한 시스템 및 방법

(57) 요약

업링크/다운링크 채널 상호성을 활용하는 다중 사용자(MU) 송신들을 가진 다수 안테나 시스템(MAS)("MU-MAS")에서 무선 주파수(RF) 교정을 위한 시스템 및 방법들이 기술된다. RF 교정은 업링크 채널 추정들에 기초하여 개루프 다운링크 프리코더를 계산하는 데 이용되고, 그렇게 함으로써 페루프 방식들에서와 같은 채널 상태 정보에 대한 피드백 오버헤드를 피한다. 예를 들어, 일 실시예의 MU-MAS는 클라이언트 간 간섭을 제거하고 네트워크 용량을 증가시키기 위해 프리코딩 방법들을 통해 협력적으로 동작하는 하나 또는 다수의 비컨 스테이션, 다수의 클라이언트 디바이스 및 다수의 분산된 안테나를 가진 무선 셀룰러 네트워크를 포함한다.

대표도 - 도16



(52) CPC특허분류

H04B 7/0452 (2013.01)

H04B 7/0456 (2013.01)

H04B 7/0626 (2013.01)

H04L 25/0224 (2013.01)

(72) 발명자

피트만, 티모시 에이.

미국 94107 캘리포니아주 샌프란시스코 브라이언트
스트리트 355 스위트 110

펠만, 스티븐 지.

미국 94107 캘리포니아주 샌프란시스코 브라이언트
스트리트 355 스위트 110

명세서

청구범위

청구항 1

방법으로서,

동일한 셀 ID를 공유하는 복수의 기지국들 및 복수의 사용자 디바이스들을 포함하는 다중 사용자(multiuser, MU) 송신들을 가진 다수 안테나 시스템(mutiple antenna system, MAS)("MU-MAS")에서 다운링크(DL) 채널과 업링크(UL) 채널 사이의 상호성을 활용하는 단계를 포함하며,

상기 MU-MAS는 상기 MU-MAS 내의 무선 주파수(RF) 교정에 이용되는 하나 이상의 비컨(beacon) 스테이션들을 더 포함하고,

각각의 기지국은 하나 이상의 안테나들을 포함하며, 각각의 안테나는 RF 체인에 커플링되며,

각각의 사용자 디바이스는 하나 이상의 안테나들을 포함하며, 각각의 안테나는 RF 체인에 커플링되고,

상기 RF 교정은 복소 RF 교정 행렬(**C**)를 사용하여 업링크 채널 추정치들의 행렬($\bar{\mathbf{H}}_{UL}$)을 프리-컨디셔닝(pre-conditioning)함으로써 획득되며, 상기 프리-컨디셔닝은 다음과 같고,

$$\bar{\mathbf{H}}_{DL} = (\mathbf{C} \bar{\mathbf{H}}_{UL})^\dagger$$

여기서 $\bar{\mathbf{H}}_{DL}$ 은 상기 기지국들과 상기 사용자 디바이스들 사이의 다운링크 채널 추정치들의 행렬이고, 상기 행렬 (**C**)는 상기 복수의 기지국들 각각과 상기 하나 이상의 비컨 스테이션들 각각 사이의 유효 다운링크 채널 및 업링크 채널 벡터들로부터 계산되는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 기지국들은 네트워크를 통해 중앙 프로세서(centralized processor, CP)에 상호연결되며 그리고 복수의 클라이언트 디바이스들과 통신하기 위해 프리코딩을 이용하는, 방법.

청구항 3

제2에 있어서,

상기 CP는 상기 복수의 기지국들과 상기 복수의 사용자 디바이스들 사이의 채널 상태 정보(channel state information, CSI)를 알고 있으며 그리고 상기 DL 채널 또는 UL 채널로 전송되는 데이터를 프리코딩하기 위해 상기 CSI를 활용하는, 방법.

청구항 4

제3에 있어서,

DL-CSI는, RF 교정을 사용하고 그리고 UL/DL 채널 상호성을 활용하여 UL-CSI로부터 상기 복수의 기지국들에서 유도되는, 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

RF 교정은 상기 UL 채널로부터 DL MU-MAS 프리코딩 가중치들을 계산하기 위해 이용되는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 비컨 스테이션들은 상기 복수의 기지국들 중 임의의 기지국 또는 상기 복수의 사용자 디바이스들 중 임의의 사용자 디바이스인, 방법.

청구항 7

제2에 있어서,

RF 교정 정보가 무선 또는 유선 피드백 채널을 통해 상기 하나 이상의 비컨 스테이션들로부터 상기 CP로 전송되는, 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 MU-MAS는 셀룰러 네트워크이고, 상기 사용자 디바이스들은 셀룰러 네트워크-호환가능 사용자 장비 디바이스들(UEs)인, 방법.

청구항 9

제8에 있어서,

UL 사운딩 참조 신호(sounding reference signal, SRS) 또는 UL 복조 참조 신호(demodulation reference signal, DM-RS)가 상기 UEs에 대한 UL 채널을 추정하는데 이용되는, 방법.

청구항 10

제8에 있어서,

DL 셀 특정 참조 신호(cell-specific reference signal, CRS), 또는 CSI 참조 신호(CSI-RS), 또는 복조 참조 신호(demodulation reference signal, DM-RS)가 하나 이상의 기지국들로부터 RF 교정을 위해 사용되는 하나 이상의 비컨 스테이션들로의 DL 채널을 추정하는데 이용되는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

관련 출원들

[0002]

이 출원은 하기의 공히 계류 중인 미국 특허 출원들과 관련이 있을 수 있다:

[0003]

발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 기술을 통해 무선 시스템에서 셀 간 다중화 이득을 활용하기 위한 시스템 및 방법(Systems and Methods for exploiting inter-cell multiplexing gain in wireless systems via distributed input distributed output technology)"인 미국 출원 제13/797,984호

[0004]

발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 기술을 통해 무선 시스템에서 셀 간 다중화 이득을 활용하기 위한 시스템 및 방법(Systems and Methods for exploiting inter-cell multiplexing gain in wireless systems via distributed input distributed output technology)"인 미국 출원 제13/797,971호

[0005]

발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 기술을 통해 무선 시스템에서 셀 간 다중화 이득을 활용하기 위한 시스템 및 방법(Systems and Methods for exploiting inter-cell multiplexing gain in wireless systems via distributed input distributed output technology)"인 미국 출원 제13/797,950호

[0006]

발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 시스템에서 무선 백홀을 위한 시스템 및 방법(Systems and Methods for wireless backhaul in distributed-input distributed-output wireless systems)"인 미국 출원 제13/633,702호

[0007]

발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 시스템에서 공간 다이버시티를 향상시키는 시스템 및 방법(Systems and Methods to enhance spatial diversity in distributed-input distributed-output wireless systems)"인 미국 출원 제13/475,598호

- [0008] 발명의 명칭이 "다중 사용자 스펙트럼의 계획적 진화 및 구식화를 위한 시스템 및 방법(System and Methods for planned evolution and obsolescence of multiuser spectrum)"인 미국 출원 제13/233,006호
- [0009] 발명의 명칭이 "무선 시스템에서 코히런스 지역들을 활용하는 시스템 및 방법(Systems and Methods to Exploit Areas of Coherence in Wireless Systems)"인 미국 출원 제13/232,996호
- [0010] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 시스템에서 도플러 효과를 보상하는 시스템 및 방법(System and Methods to Compensate for Doppler Effects in Distributed-Input Distributed Output Systems)"인 미국 출원 제 13/464,648호
- [0011] 발명의 명칭이 "사용자 클러스터링을 통해 분산 무선 시스템에서 전송들을 조정하는 시스템 및 방법(Systems And Methods To Coordinate Transmissions In Distributed Wireless Systems Via User Clustering)"인 미국 출원 제12/917,257호
- [0012] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력(DIDO) 통신 시스템에서의 간섭 관리, 핸드오프, 전력 제어 및 링크 적응 (Interference Management, Handoff, Power Control And Link Adaptation In Distributed-Input Distributed-Output (DIDO) Communication Systems)"인 미국 출원 제12/802,988호
- [0013] 발명의 명칭이 "다수의 DIDO 클러스터를 횡단하는 클라이언트의 클러스터 간 핸드오프를 관리하기 위한 시스템 및 방법(System And Method For Managing Inter-Cluster Handoff Of Clients Which Traverse Multiple DIDO Clusters)"인 미국 출원 제12/802,974호
- [0014] 발명의 명칭이 "클라이언트의 검출된 속도에 기초하여 상이한 분산 입력 분산 출력(DIDO) 네트워크들 간에 클라이언트의 핸드오프를 관리하기 위한 시스템 및 방법(System And Method For Managing Handoff Of A Client Between Different Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Networks Based On Detected Velocity Of The Client)"인 미국 출원 제12/802,989호
- [0015] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력(DIDO) 네트워크에서 전력 제어 및 안테나 그룹화를 위한 시스템 및 방법 (System And Method For Power Control And Antenna Grouping In A Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Network)"인 미국 출원 제12/802,958호
- [0016] 발명의 명칭이 "DIDO 다중 반송파 시스템에서 링크 적응을 위한 시스템 및 방법(System And Method For Link adaptation In DIDO Multicarrier Systems)"인 미국 출원 제12/802,975호
- [0017] 발명의 명칭이 "다중 반송파 시스템에서 DIDO 프리코딩 보간을 위한 시스템 및 방법(System And Method For DIDO Precoding Interpolation In Multicarrier Systems)"인 미국 출원 제12/802,938호
- [0018] 발명의 명칭이 "분산 안테나 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method For Distributed Antenna Wireless Communications)"인 미국 출원 제12/630,627호
- [0019] 발명의 명칭이 "신호 세기 측정에 기초하여 DIDO 간섭 제거를 조정하기 위한 시스템 및 방법(System And Method For Adjusting DIDO Interference Cancellation Based On Signal Strength Measurements)"인 2012년 5월 1일자로 허여된 미국 특허 제8,170,081호
- [0020] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method For Distributed Input-Distributed Output Wireless Communications)"인 2012년 4월 17일자로 허여된 미국 특허 제8,160,121호;
- [0021] 발명의 명칭이 "공간-시간 코딩을 이용하여 "NVIS"(Near Vertical Incidence Skywave) 통신을 향상시키기 위한 시스템 및 방법(System and Method For Enhancing Near Vertical Incidence Skywave ("NVIS") Communication Using Space-Time Coding)"인 2011년 2월 8일자로 허여된 미국 특허 제7,885,354호.
- [0022] 발명의 명칭이 "공간 다중화 대류권 산란 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method For Spatial-Multiplexed Tropospheric Scatter Communications)"인 2010년 5월 4일자로 허여된 미국 특허 제7,711,030호;
- [0023] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication)"인 2009년 12월 22일자로 허여된 미국 특허 제7,636,381호;
- [0024] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method for Distributed

Input Distributed Output Wireless Communication)"인 2009년 12월 15일자로 허여된 미국 특허 제7,633,994호;

[0025] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication)"인 2009년 10월 6일자로 허여된 미국 특허 제7,599,420호;

[0026] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication)"인 2008년 8월 26일자로 허여된 미국 특허 제7,418,053호;

배경 기술

[0027] 최근 30년 동안, 무선 셀룰러 시장은 음성에서 웹-브라우징 및 실시간 HD 비디오 스트리밍으로 변화하는 더 나은 서비스들에 대한 수요뿐만 아니라 전세계적으로 가입자 수의 증가를 경험하였다. 더 높은 데이터 레이트, 더 낮은 대기 시간 및 개선된 신뢰성을 요구하는 서비스들에 대한 이러한 수요의 증가는 다양한 표준들을 통한 무선 기술들의 급진적인 진화를 추진시켰다. 1980년대 초기 (음성 서비스를 위한) 1세대 아날로그 AMPS 및 TACS에서 시작하여, 1990년대 (음성 및 데이터 서비스를 위한) 2G 및 2.5G 디지털 GSM, IS-95 및 GPRS로, 2000년대 초기 (웹-브라우징을 위한) 3G UMTS 및 CDMA2000으로, 그리고 마지막으로 (고속 인터넷 접속을 위한) LTE 까지 현재 전세계적으로 다양한 국가들에서 전개되고 있다.

[0028] 롱-텀 에볼루션(LTE)은 3세대 파트너십 프로젝트(3GPP)에 의해 4세대(4G) 무선 셀룰러 시스템을 위해 개발된 표준이다. LTE는 다중 입력 다중 출력(multiple-input multiple-output, MIMO) 기술을 통해 무선 채널들의 공간 성분들을 활용함으로써 이전의 3G 및 HSPA+ 표준들에 비해 다운링크 스펙트럼 효율에서 이론적으로 최대 4배의 개선을 달성할 수 있다. LTE-어드밴스드(LTE-Advanced)는 현재 표준화중인 LTE의 진화로, 3G 표준 시스템들에 비해 스펙트럼 효율에서 이론적으로 최대 8배의 증가를 가능하게 할 것이다.

[0029] 이러한 기술 진화에도 불구하고, 향후 3년 안에 무선 통신업체들은 실시간 HD 비디오 스트리밍, 화상 회의 및 게임 같은 더 많은 데이터를 갈구하는 애플리케이션들을 제공하는, 스마트폰과 태블릿의 시장 진입이 증가함으로 인해 데이터 레이트에 대한 커지는 수요를 충족시키지 못할 가능성이 매우 크다. 무선 네트워크의 용량은 LTE와 같은 개선된 기술들뿐만 아니라 정부에 의해 더 많은 스펙트럼이 가용하게 됨으로 인해 2011년에서 2015년까지 유럽에서 5배 성장할 것이라고 추정되었다[25]. 예를 들어, FCC는 국가 광대역 계획(National Broadband Plan)의 일환으로 미국 전역에서 무선 인터넷 접속을 촉진하기 위해 2020년까지 스펙트럼의 500 MHz를 규제 해제하려고 계획하고 있다(그 중 300 MHz는 2015년까지 가용할 것임)[24]. 안타깝게도, 2015년까지 용량 사용의 예측은 유럽에서는 2011년에 비해 23배이고[25], 미국에서는 2014년까지 유사한 스펙트럼 결손이 발생할 것으로 예상된다[26-27]. 이러한 데이터 부족 사태의 결과로, 무선 통신업체들에 대한 수익은 이들의 CAPEX 및 OPEX 아래로 떨어질 수 있고, 잠재적으로 무선 시장에 치명적인 영향이 초래될 수 있다[28].

[0030] LTE 전개 및 증가된 스펙트럼 가용성에 의해 제공되는 용량 이득이 불충분하므로, 이러한 곧 있을 스펙트럼 위기를 방지하는 예측 가능한 유일한 솔루션은 새로운 무선 기술들을 촉진하는 것이다[29]. LTE-어드밴스드(LTE 표준의 진화)는 더 정교한 MIMO 기법들을 통하여 그리고 "스몰셀(small cells)"의 밀도를 증가시킴으로써 LTE에 비하여 부가적인 이득을 약속한다[30]. 그러나, 셀들 간의 조정(coordination)을 허용하기 위해 백홀(backhaul)의 복잡성을 증가시키거나 간섭 문제를 초래하는 일 없이 특정 지역에 들어맞을 수 있는 셀들의 수에는 제한이 있다.

[0031] 종래의 셀룰러 시스템들의 한계들 없이 무선 링크들을 통한 스펙트럼 효율에서 수 자릿수 증가를 제공할 한 가지 유망한 기술은 분산 입력 분산 출력(DIDO) 기술이다(상기 '관련 출원들' 중 첫 번째 내지 열아홉 번째의 출원들 및 특허들에서 언급한 관련 특허들 및 출원들 참조). 본 발명은 종래의 무선 시스템들에 비해 상당한 성능 이점들을 제공하기 위해, 셀룰러 표준들의 제약 내에 있는 그리고 그러한 제약이 없는, 셀룰러 시스템들(예컨대 LTE 또는 LTE-어드밴스드)의 맥락에서 이용되는 DIDO 기술을 설명한다. MIMO에 관한 개관에서 시작하여 LTE 및 LTE 어드밴스드에 의해 이용되는 상이한 공간 처리 기법들을 검토한다. 그 후 본 발명이 종래 기술의 접근 방법들과 비교하여 어떻게 차세대 무선 통신 시스템들을 위한 상당한 용량 이득들을 제공하는지를 보여준다.

[0032] MIMO는 무선 링크의 송신기 측 및 수신기 측에서 다수의 안테나를 사용하고 공간 처리를 이용하여 다이버시티 기법들을 통해 링크 신뢰성을 개선하거나(즉, *다이버시티 이득*) 다중화 방식들을 통해 더 높은 데이터 레이트를 제공한다(즉, *다중화 이득*)[1-2]. 다이버시티 이득은 고정된 데이터 레이트에 대해 더 높은 신호 대 잡음비(SNR)를 야기하는 신호 페이딩에 대한 강건성 향상의 측정치이다. 다중화 이득은 고정된 오류 확률에 대해 테

이터 레이트를 증가시키기 위해 무선 채널의 추가의 공간적 자유도를 활용함으로써 얻어진다. MIMO 시스템들에서 다이버시티와 다중화 간의 기본적인 트레이드오프(tradeoff)는 [3-4]에 기술되었다.

[0033] 실제 MIMO 시스템들에서는, 전파 조건들에 기초하여 다이버시티 방식과 다중화 방식 간에 동적으로 전환하기 위해 링크 적응 기법들이 이용될 수 있다[20-23]. 예를 들어, [22-23]에 기술된 링크 적응 방식들은 낮은 공간 선택도로 특징지어지는 낮은 SNR 체제 또는 채널들에서는 빔포밍(beamforming)이나 직교 공간-시간 블록 코드(Orthogonal Space-Time Block Codes, OSTBC)가 바람직한 방식들이라는 것을 보여주었다. 그에 반해서, 공간 다중화는 높은 SNR 및 높은 공간 선택도를 가진 채널들에 대해 데이터 레이트의 상당한 이득을 제공할 수 있다. 예를 들어, 도 1은 셀들이 2개의 지역: i) 데이터 레이트를 증가시키기 위해 공간 다중화를 통해 채널의 공간 자유도가 활용될 수 있는 지역인 (셀 타워 또는 기지국과의 근접으로 인해) 높은 SNR로 특징지어지는 다중화 지역(101); ii) 공간 다중화 기법들이 그다지 효과적이지 않고 (데이터 레이트의 미미한 증가만을 가져오면서) SNR 및 커버리지를 개선하기 위해 다이버시티 방법들이 이용될 수 있는 지역인 다이버시티 지역(102) 또는 셀-에지로 나누어질 수 있다는 것을 보여준다. 도 1에서 매크로셀(103)의 원은 원의 그늘진 중심을 "다중화 지역"이라고 이름 붙이고 원의 그늘지지 않은 외부 지역은 "다이버시티 지역"이라고 이름 붙이고 있다는 점에 유의한다. 이 동일한 지역 명칭은 도 1, 도 3 내지 도 5 전체에서 사용되는데, 이들 도면에서는 비록 이름이 붙어 있지 않더라도 그늘진 지역은 "다중화 지역"이고 그늘지지 않은 지역은 "다이버시티 지역"이다. 예를 들어, 동일한 명칭이 도 1에서 스몰셀(104)에 대해 사용된다.

[0034] LTE(릴리스 8) 및 LTE-어드밴스드(릴리스 10) 표준들은 다이버시티 방식 또는 다중화 방식을 포함하는 10개의 송신 모드(TM)의 세트를 정의한다[35,85-86]:

[0035] • 모드 1: 단일 안테나 포트, 포트 0

[0036] • 모드 2: 송신 다이버시티

[0037] • 모드 3: 큰 지연 순환 지연 다이버시티(cyclic delay diversity, CDD), 단일 사용자 MIMO(single-user MIMO, SU-MIMO)를 위한 개루프 공간 다중화의 확장

[0038] • 모드 4: SU-MIMO를 위한 페루프 공간 다중화

[0039] • 모드 5: 다중 사용자 MIMO(Multi-user MIMO, MU-MIMO)

[0040] • 모드 6: 단일 송신 계층을 이용하는, 페루프 공간 다중화

[0041] • 모드 7: 단일 안테나 포트, UE 특정 RS(포트 5)

[0042] • 모드 8: UE 특정 RS에 의한 단일 또는 이중 계층 송신(포트 7 및/또는 8)

[0043] • 모드 9: 단일 또는 최대 8개 계층 페루프 SU-MIMO(릴리스 10에 추가됨)

[0044] • 모드 10: 다중 계층 페루프 SU-MIMO, 최대 8개 계층(릴리스 10에 추가됨)

[0045] 이후 위에 약술된 LTE에서 이용되는 특정의 방법들뿐만 아니라 셀룰러 시스템들에서 흔히 이용되는 다이버시티 방식 및 다중화 방식을 기술하고, 이들을 DTD 통신에 대해 고유한 기법들과 비교한다. 우선 다음과 같은 2가지 타입의 송신 방법에 대해 알아본다: i) 하나의 셀 내의 링크 신뢰성 또는 데이터 레이트를 개선하기 위해 다수의 안테나를 사용하는, 셀 내(intra-cell) 방법(셀룰러 시스템들에서 *마이크로-다이버시티*를 활용함); ii) 추가의 다이버시티 또는 다중화 이득들을 제공하기 위해 셀들 간의 협력을 허용하는, 셀 간(inter-cell) 방법(*매크로-다이버시티*를 활용함). 그 후 본 발명이 종래 기술에 비해 어떻게 (공간 용량 이득을 포함한) 상당한 이점들을 제공하는지에 대해 기술한다.

[0046] 1. 셀 내 다이버시티 방법

[0047] 셀 내 다이버시티 방법은 하나의 셀 내에서 동작하고 링크 품질이 좋지 않은 시나리오들(예컨대, 셀-에지에 있는 사용자들은 중앙 타워 또는 기지국으로부터 높은 경로 손실을 겪는다)에서 SNR을 증가시키도록 설계되어 있다. MIMO 통신에서 이용되는 전형적인 다이버시티 방식들은 빔포밍[5-11] 및 직교 공간-시간 블록 코드(OSTBC)이다[12-15].

- [0048] LTE 표준에 의해 지원되는 다이버시티 기법들은 송신 다이버시티, 페루프 랭크-1 프리코딩 및 전용 빔포밍이다 [31-35]. 송신 다이버시티 방식은 다운링크(DL)에 대해서는 2개 또는 4개 송신 안테나를 지원하고 업링크(UL)에 대해서는 2개의 안테나만을 지원한다. DL 채널에서, 이것은 공간뿐만 아니라 주파수 선택도를 활용하기 위해 주파수-전환 송신 다이버시티(frequency-switched transmit diversity, FSTD)와 조합된 공간-주파수 블록 코드(space-frequency block codes, SFBC)를 통해 구현된다[31]. 랭크-1 프리코딩은 사용자 장비(UE)로부터 기지국 송수신기(도 1의 BTS(105), 또는 LTE 용어를 사용해서 eNodeB)로의 피드백 오버헤드를 줄이기 위해 (제한된 피드백 기법들을 이용하여 사전 설계된[36-42]) 코드북으로부터 선택된 양자화된 가중치들에 기초하여 하나의 사용자에게 대한 전용 빔을 생성한다. 대안으로는, UE 특정 참조 신호에 기초하여 전용 빔포밍 가중치들이 계산될 수 있다.
- [0049] **2. 셀 내 다중화 방법**
- [0050] MIMO 다중화 방식들[1,19]은 무선 링크들을 통하여 다수의 병렬 데이터 스트림을 지원하기 위해 높은 SNR 체제에서 그리고 채널에서 공간 자유도가 충분한 시나리오들(예컨대, 공간 선택도가 높은 풍부한 다중 경로 환경들[16-18])에서 데이터 레이트의 이득을 제공한다.
- [0051] LTE 표준은 단일 사용자 MIMO(SU-MIMO) 및 다중 사용자 MIMO(MU-MIMO)를 위해 다양한 다중화 기법들을 지원한다 [31]. SU-MIMO 방식들은 다음과 같은 2개의 동작 모드를 가진다: i) DL 프리코딩 가중치들을 선택하기 위해 UE로부터의 피드백 정보를 활용하는, 페루프; ii) UE로부터의 피드백이 이용 가능하지 않거나 UE가 페루프 방식들을 지원하기에는 너무 빨리 이동하고 있는 경우 이용되는, 개루프. 페루프 방식은 코드북으로부터 선택된 사전 계산된 가중치들의 세트를 이용한다. 이들 가중치는, UE 요청 및 BTS에 있는 스케줄러의 판정에 따라서, 2개 또는 4개의 송신 안테나뿐만 아니라 1개 내지 4개의 병렬 데이터 스트림(프리코딩 행렬의 계층들의 수에 의해 식별됨)을 지원할 수 있다. LTE-어드밴스는 공간 처리를 통해 스펙트럼 효율에서 최대 8배 증가를 제공하기 위해 MIMO 8×8까지 새로운 송신 모드들을 포함할 것이다[62].
- [0052] MU-MIMO 방식들은 UL 채널과 DL 채널 모두에 대해 정의된다[31,50]. UL에서는, 모든 UE가 참조 신호를 BTS에 전송한다(자도프-추(Zadoff-Chu) 시퀀스의 순환 시프트된 버전으로 이루어짐[33]). 그 참조 신호들은 직교이며, 이에 따라 BTS는 모든 UE로부터 채널을 추정하고 공간 처리를 통해 동시에 다수의 UE로부터의 데이터 스트림들을 복조할 수 있다. DL에서는, 상이한 UE들에 대한 프리코딩 가중치들이 이 UE들로부터의 피드백 및 스케줄러에 기초하여 코드북들로부터 선택되며(페루프 SU-MIMO 방식들과 유사하게) 모든 UE에 대해 랭크-1 프리코딩만이 허용된다(예컨대, 각각의 UE는 하나의 데이터 스트림만을 수신한다).
- [0053] 공간 처리를 이용하는 셀 내 다중화 기법들은 높은 SNR(또는 SINR) 및 높은 공간 선택도로 특징지어지는 전파 시나리오들(다중 경로가 풍부한 환경들)에서만 만족스러운 성능을 제공한다. 종래의 매크로셀들에서는, 이러한 조건들을 달성하기가 더 어려울 수 있는데, 그 이유는 BTS들이 전형적으로 UE들로부터 멀리 있고 SINR의 분포는 전형적으로 낮은 값들에 중심을 두기 때문이다[43]. 이들 시나리오에서는, MU-MIMO 방식들 또는 다이버시티 기법들이 공간 다중화를 가진 SU-MIMO보다 더 나은 선택일 수 있다.
- [0054] (MIMO를 통한 공간 처리를 요구하는 일 없이) 추가의 다중화 이득을 달성하기 위해 LTE-어드밴스에 의해 고려되는 다른 기법들 및 네트워크 솔루션들은 반송과 집성(carrier aggregation, CA) 및 스몰셀이다. CA[30,44-47]는 신호 대역폭을 100 MHz까지 증가시키기 위해 RF 스펙트럼의 상이한 부분들을 조합하고[85], 그렇게 함으로써 더 높은 데이터 레이트를 가져온다. 대역 내 CA는 스펙트럼의 동일한 부분 내의 상이한 대역들을 조합한다. 이에 따라 그것은 다수의 채널에 대해 동일한 RF 체인(chain)을 이용할 수 있고, 다수의 데이터 스트림이 소프트웨어에서 재조합된다. 대역 간 CA는 상이한 대역들로부터의 다수의 데이터 스트림을 재조합하기 위한 신호 처리뿐만 아니라 스펙트럼의 상이한 부분들에서 동작하기 위해 상이한 RF 체인들을 요구한다.
- [0055] 스몰셀의 핵심 아이디어[30,47]는 종래의 매크로셀의 크기를 줄임으로써, 커버리지의 지역마다 더 높은 셀 밀도 및 더 큰 처리량을 허용하는 것이다. 스몰셀들은 매크로셀들을 위해 이용되는 높고 값비싼 셀 타워들과는 대조적으로 전형적으로 (도 1에 도시된 바와 같이) 저전력 송신을 가진 저렴한 액세스 포인트들(106)을 통하여 전개된다. 다음과 같은 2가지 타입의 스몰셀이 LTE-어드밴스에서 정의된다: i) 32 내지 64명의 동시 사용자를 지원하는, 도시 지역들에서의 옥외 설치를 위한, 메트로셀(metrocells); 및 ii) 최대 4명의 활성 사용자에게 서빙할 수 있는, 실내 사용을 위한, 펌토셀(femtocells). 스몰셀의 하나의 이점은 BTS에 가까운 UE들의 밀도가 통계적으로 더 높아져서, 데이터 레이트를 증가시키기 위해 공간 다중화를 통해 활용될 수 있는 더 나은 SNR을 가져온다는 것이다. 그러나, 특히 백홀과 관련 있는, 스몰셀들의 실제 전개에 관한 우려가 여전히 많다. 사실, 특히 주어진 커버리지 지역에 높은 밀도의 메트로셀 및 펌토셀을 고려할 때, 고속 유선 접속을 통해 모든 스몰셀의

BTS들에 도달하는 것은 도전적인 과제일 수 있다. 스몰셀들로의 가시선(Line-Of-Sight, LOS) 백홀을 이용하는 것은 흔히, 유선 백홀과 비교하여, 저렴하게 구현될 수 있지만, 흔히 바람직한 스몰셀 BTS 배치를 위해 이용 가능한 실제 LOS 백홀 경로들은 없으며, 스몰셀 BTS들로의 비가시선(Non-Line-Of-Sight, NLOS) 무선 백홀에 대한 일반적인 솔루션은 없다. 더욱이, 스몰셀들은 자기 조직 네트워크(self-organized networks, SON)에서와 같이 간섭을 피하기 위해 BTS들 간에 복잡한 실시간 조정을 요구하고[30,51-52] 그들의 최적의 위치를 계획하기 위해 정교한 셀-계획 도구들(스몰셀들의 밀도가 더 높기 때문에 종래의 셀룰러 시스템들보다 한층 더 복잡함)을 요구한다[48,49]. 마지막으로, 핸드오프는 스몰셀 전개에 대한 제한 요인으로, 특히 가입자들의 그룹이 동시에 셀들을 전환하여, 백홀을 통한 대량의 핸드오프 오버헤드를 야기하여, 결과적으로 대기 시간이 많아지고 통화 끊김(dropped calls)을 피할 수 없게 되는 시나리오들에서 그러하다.

[0056] 스몰셀들이 매크로셀들과 공존하고 최적의, 또는 필연적으로 훨씬 개선된 처리량을 달성하는 것을 가능하게 하는 실제 일반적인 솔루션이 없다는 것은 사소하게 알 수 있다. 수많은 이러한 해결 불가능한 상황들 중에는 스몰셀의 UE들이 매크로셀 송신과 불가피하게 중첩(overlap)하고 스몰셀과 매크로셀이 그들 각자의 UE들에 도달하기 위해 동일한 주파수들을 사용하도록 스몰셀이 배치되는 경우가 있다. 분명히 이러한 상황에서는, 매크로셀 송신이 스몰셀 송신을 방해할 것이다. 특정 매크로셀, 특정 스몰셀, 이 특정 매크로셀 및 스몰셀의 관련된 UE들, 이 UE들의 처리량 요건들, 및 환경적 상황 등의 특정 상황들에 대해 이러한 간섭을 완화하는 일부 접근 방법이 있을 수 있지만, 임의의 이러한 접근 방법은 매크로셀 및 스몰셀의 정적인 계획에 매우 특유할 뿐만 아니라, 특정 시간 간격의 동적인 상황에도 매우 특유할 것이다. 전형적으로, 각각의 UE로의 채널의 최대 처리량은 달성할 수 없다.

[0057] 3. 셀 간 다이버시티 방법

[0058] 매크로셀들이 스몰셀들(예컨대, 메트로셀들, 피코셀들 및 펌프셀들)과 공존하는 이중 네트워크(HetNet)[90]에서는, 셀 간 간섭을 제거하기 위해 상이한 기법들을 이용할 필요가 있다. HetNet들은 스몰셀들을 통하여 더 나은 커버리지를 제공하지만, 데이터 레이트의 이득은 미미할 뿐인데, 그 이유는 이들이 다중화 이득을 달성하기보다는 간섭을 제거하기 위해 공간 처리를 이용하여 또는 상이한 형태의 주파수 재사용 패턴들을 통하여 스펙트럼을 공유하는 것을 필요로 하기 때문이다. LTE 표준들은 간섭, 특히 셀-에지에서의 간섭을 제거하기 위해 셀 간 간섭 조정(ICIC) 방식들을 이용한다. 다음과 같은 2가지 타입의 ICIC 방법이 있다: 셀-자율적 및 BTS들 간의 조정.

[0059] 셀-자율적 ICIC 방식들은 도 2에 도시된 상이한 주파수 재사용 패턴들을 통해 셀 간 간섭을 피하는데, 도면에서 육각형들은 셀들을 나타내고 컬러들은 상이한 반송파 주파수들을 나타낸다. LTE에서는 다음과 같은 3가지 타입의 방식이 고려된다: i) 도 2a에서와 같이 셀들이 가용한 모든 대역폭을 이용하고, 그렇게 함으로써 셀-에지에서 높은 간섭을 일으키는, 전체 주파수 재사용(full frequency reuse)(또는 재사용 1); ii) 인접한 셀들 간의 간섭을 피하기 위해 도 2b에서와 같이 모든 셀에 상이한 주파수 대역이 할당되는(전형적인 재사용 계수는 3), 하드 주파수 재사용(hard frequency reuse, HFR); iii) 도 2c에서와 같이 셀의 중심에는 주파수 재사용 1에서와 같이 전체 가용한 대역폭이 할당되는 반면, 셀-에지는 셀 간 간섭을 완화시키기 위해 HFR 모드에서 동작하는, 부분 주파수 재사용(fractional frequency reuse, FFR).

[0060] 조정된 ICIC 방법들은 무선 네트워크들의 성능을 개선하기 위해 BTS들 간의 협력을 가능하게 한다. 이들 기법은 모두 동일 주파수를 동시에 사용하는 다수의 UE에 대한 분산된 안테나 네트워크들의 일반적인 경우에 무선 송수신기들 간의 협력을 가능하게 하기 위해 관련 특허들 및 출원들(상기 '관련 출원들' 중 첫 번째 내지 스몰한 번째의 출원들 및 특허들)에서 교시된 방법들의 특수한 경우이다. 주어진 주파수에서 주어진 시간에 단일 UE에 대한 셀룰러 시스템들의 특정한 경우에 대해 셀 간 간섭을 제거하기 위한 BTS들 간의 협력이 [53]에 기술되었다. [53]의 시스템은 모든 매크로셀을 다수의 서브셀들로 분할하고, 단일 UE가 서브셀 경계들을 따라 이동할 때, 단일 주파수에서의 그 단일 UE에서의 링크 강건성을 개선하기 위해 조정된 BTS들로부터의 전용 빔포밍을 이용함으로써 서브셀들 간의 소프트-핸드오프를 가능하게 한다.

[0061] 더 최근에는, 이러한 부류의 협력적 무선 셀룰러 네트워크들이 MIMO 문헌에서 "네트워크 MIMO" 또는 "조정 멀티-포인트(coordinated multi-point)"(CoMP) 시스템들로서 정의되었다. 셀 간 간섭을 제거함으로써 네트워크 MIMO에서 얻어지는 이점들에 대한 이론적 분석 및 시뮬레이션 결과들이 [54-61]에 제시되어 있다. 네트워크 MIMO 및 CoMP의 핵심 이점은 도 3에 매크로셀들(302)의 경우에 대해 "간섭 지역"(301)으로 표시된 셀들의 중첩 지역들에서 셀 간 간섭을 제거하는 것이다.

[0062] CoMP 네트워크들은 차세대 셀룰러 네트워크들에서 셀 간 간섭을 완화시키는 솔루션으로서 활발히 LTE-어드밴스

드 표준의 일부가 되고 있다[62-64]. 지금까지 표준에서는 셀 간 간섭을 제거하기 위해 다음과 같은 3개의 CoMP 솔루션이 제안되어 있다: i) UE가 그의 데이터 스트림을 빔포밍을 통해 하나의 BTS로부터만 수신하고 빔포밍 또는 스케줄링 기법들을 통해 간섭을 제거하기 위해 BTS들 간의 조정이 가능한, 조정 스케줄링/빔포밍(coordinated scheduling/beamforming, CS/CB); ii) UE에 투명하게, 서브프레임마다 모든 UE에 대해 셀을 동적으로 선택하는 동적 셀 선택(dynamic cell selection, DCS); iii) 수신 신호 품질을 개선하고 셀 간 간섭을 제거하기 위해 주어진 UE에 대한 데이터가 다수의 BTS로부터 공동으로 송신되는, 공동 송신(joint transmission, JT). CoMP-JT는 BTS들 간의 조정을 가능하게 하기 위해 백홀에서의 더 높은 오버헤드의 대가로 CoMP-CS/CB보다 더 큰 이득을 가져온다.

[0063] 4. 셀 간 다중화 방법

[0064] 종래 기술의 다중 사용자 무선 시스템들은 무선 네트워크에 복잡성을 더하고 한계를 도입하여 주어진 사용자의 경험(예컨대, 가용 처리량, 대기 시간, 예측 가능성, 신뢰성)이 지역 내의 다른 사용자들에 의한 스펙트럼의 이용에 의해 영향을 받는 상황을 야기한다. 다수의 사용자에 의해 공유되는 무선 스펙트럼 내의 총 처리량에 대한 수요가 증가하고 있고, 다중 사용자 무선 네트워크 신뢰성, 주어진 사용자에 대한 예측 가능성 및 낮은 대기 시간에 의지할 수 있는 애플리케이션들의 성장이 증가하고 있는 것을 고려하면, 종래 기술의 다중 사용자 무선 기술은 많은 한계로 시달리고 있는 것이 분명하다. 사실, 특정 타입의 무선 통신에 적합한 스펙트럼(예컨대, 건물 벽을 관통하는 데 효율적인 파장들에서)의 제한된 가용성 때문에, 종래 기술의 무선 기법들은 신뢰할 수 있고, 예측할 수 있고 대기 시간이 낮은 대역폭에 대한 수요의 증가를 충족시키기에는 불충분할 것이다.

[0065] 종래 기술의 셀 내 다이버시티 및 다중화 방법들은 LTE에 대해서는 (MIMO 4×4를 통하여) 현재의 셀룰러 네트워크들에 비해 이론상 최대 4배의 처리량 증가 또는 LTE-어드밴스드에 대해서는 (MIMO 8×8을 통하여) 이론상 최대 8배의 처리량 증가만을 제공할 수 있지만, 더 고차의 MIMO는, 특히 UE들(예컨대, 스마트폰들)이 더 작아지고 안테나 배치에 관하여 더 많은 제약을 받음에 따라, 주어진 다중 경로 환경에서 증가하는 처리량에서 감소하는 개선을 달성한다. 반송파 집성 기법들을 통해 활용되는, 추가의 스펙트럼 할당(예컨대, FCC 국가 광대역 계획), 및 스몰셀 네트워크들 및 SON을 통한 더 조밀한 BTS들의 분포로부터 차세대 셀룰러 시스템들에서의 다른 미미한 처리량 이득이 얻어질 수 있다[30,46]. 그러나, 상기 기법들 모두는 다중 사용자 송신을 가능하게 하기 위해 여전히 스펙트럼 또는 시간 공유 기법들에 아주 많이 의지하는데, 그 이유는 공간 처리에 의해 얻어지는 스펙트럼 효율 이득이 제한되기 때문이다.

[0066] 종래 기술의 셀 간 방법들(예컨대, 네트워크 MIMO 및 CoMP 시스템들[53-64])은 셀 간 간섭을 제거함으로써 셀룰러 네트워크의 신뢰성을 개선할 수 있지만, 이들의 용량 이득들은 그저 미미할 뿐이다. 사실, 그 시스템들은 모든 BTS로부터 송신되는 전력을 셀 경계들 내에 포함되도록 제약하고 셀들 간의 전력 누출로 인한 셀 간 간섭을 제거하는 데에만 효과적이다. 도 3은 각각이 그 자신의 커버리지 지역 또는 셀로 특징지어지는 3개의 BTS를 가진 셀룰러 네트워크들의 일례를 보여준다. 각각의 BTS로부터 송신되는 전력은 도 3에 셀들이 중첩하는 지역들에 의해 도시된, 셀들 간의 간섭의 양을 제한하도록 제약된다. 이들 시스템은 간섭 지역에서 낮은 SINR 체제로 동작하므로, 스펙트럼 효율에서의 이들의 이득은, SU-MIMO에 대한 셀 내 방식들과 유사하게, 그저 미미할 뿐이다. 셀 간 협력 네트워크들에서 상당한 용량 이득을 진정으로 얻기 위해서는, 셀 경계들로 제한된 전력 제약들이 완화되어야 하고 (종래 기술의 접근 방법들에서와 같이 SINR 성능이 좋지 않은 셀-에지에서만 아니라) SINR이 높은 셀들의 전역에서 공간 다중화 기법들이 가능하게 되어야 한다.

[0067] 도 4는 모두가 동일 주파수에서 동시에 송신하고 있는 3개의 BTS(401)로부터 송신되는 전력이 증가됨으로써, 셀(402) 전역에서 간섭 레벨이 더 높아질 수 있는 사례를 보여준다. 종래 기술의 시스템들에서, 그러한 간섭은 BTS들의 간섭하는 지역들 전역에서 (UE 신호 수신을 방해하는) 인코히런트 간섭을 야기할 것이지만, 이 간섭은 본 발명에서는 모든 UE 주위에 (UE 신호 수신을 향상시키는) 코히런트 간섭의 지역들을 생성하기 위해 공간 처리를 이용하는 새로운 셀 간 다중화 방법들을 통하여 실제로 활용됨으로써, 모든 UE에 동시 비간섭 데이터 스트림들을 제공하고 셀 전역에서 이들의 SINR을 증가시킨다.

[0068] 도 4에 도시된 시나리오는 셀룰러 시스템들의 특정한 경우에 대해 [89]에 기술되어 있다. [89]의 시스템은 클러스터들로 그룹화되는 상이한 셀들을 식별하는 수 개의 BTS로 이루어진다. 동일 클러스터들 내의 인접한 셀들로부터의 BTS들 사이에만 협력이 허용된다. 이 경우, BTS들로부터 송신되는 전력이 증가함에 따라, 셀 간 다중화 방법들을 통하여 달성할 수 있는 용량(또는 스펙트럼 효율)에는 제한이 있다는 것이 확인되었다. 사실, 송신 전력이 증가함에 따라, 클러스터 외부 간섭(out-of-cluster interference)이 비례하여 증가하여, SINR에 대한 그리고 결과적으로 용량에 대한 포화 상황(saturation regime)을 생성한다. 이 효과의 결과로서, [89]의 시

시스템은 이론적으로 최대 3배의 용량 이득(즉, 클러스터 내에 최대 3개의 셀)을 달성할 수 있고, 클러스터에 포함되는 임의의 부가의 셀은 증가된 클러스터 외부 간섭으로 인해 용량을 감소시킬 것이다(예컨대, 클러스터당 21개 셀의 경우는 클러스터당 3개의 셀의 경우보다 더 낮은 용량을 가져온다). 우리는 [89]의 근본적인 용량 제한이 성립하는 이유는 BTS들이 셀룰러 시스템들에서와 같이 사전 정의된 위치들로 제약되고, BTS들로부터의 송신 전력을 증가시킴으로써 다중화 이득이 달성되기 때문이라는 것을 알고 있다. 셀 간 다중화 방법들을 통해 이론적으로 무제한의 용량 이득을 얻기 위해서는, BTS 배치에 대한 제약이 제거되어야 하고, BTS들이 어디에든 배치되게 하는 것이 편리하다.

[0069]

따라서 분산된 BTS들(501)로부터 송신되는 전력뿐만 아니라 이들의 배치에 대한 임의의 제약을 제거함으로써 공간 처리를 통해 셀 간 다중화 이득을 활용하여 스펙트럼 효율에서 수 자릿수 증가를 달성하는 시스템을 제공하는 것이 바람직할 것이다. 도 5는 셀(503) 전역에서 인코히런트 간섭의 레벨을 의도적으로 증가시키기 위해 다수의 추가 액세스 포인트들(502)이 부가되는 한 예를 보여주는데, 이는 UE들 주위에 코히런트 간섭의 지역들을 생성하고, 그렇게 함으로써 이론적으로 무제한의 셀 간 다중화 이득을 가져오기 위해 본 발명에서 활용된다. 그 추가의 액세스 포인트들은 어디든지 편리한 곳에 우연적으로(serendipitously) 배치되고, 종래 기술에서 기술된 셀룰러 시스템들에서와 같이 임의의 특정한 셀 계획으로 제약되지 않는다. 본 발명의 예시적인 실시예에서, 우연적인 액세스 포인트들은 분산 입력 분산 출력(DIDO) 액세스 포인트들이고 셀 간 다중화 이득은 상기 '관련 출원들' 중 열세 번째 내지 열아홉 번째의 출원들 및 특허들 및 [77-78]에 기술된 DIDO 방법들을 통하여 달성된다. 다른 실시예에서, 우연적인 액세스 포인트들은 저렴한 Wi-Fi 액세스 포인트들 또는 스몰셀들[30,47]과 유사한, 저전력 송수신기들이고, 그렇게 함으로써 도 5에 도시된 바와 같이 매크로-셀 전역에서 중첩하는 더 작은 커버리지 지역들을 제공한다.

[0070]

우리는 종래 기술의 셀 간 방법들[53-64]은 도 3에서와 같이 모든 BTS로부터의 송신 전력을 의도적으로 제한함으로써 인코히런트 간섭을 방지하고 공간 처리를 통해 (셀들 간의 중첩 지역들에서) 잔여 셀 간 간섭을 제거함으로써, 향상된 SINR 및 셀 간 다이버시티 이득을 제공한다는 것을 알고 있다. 우리는 또한 [89]는 송신 전력을 증가시키는 동안 BTS 배치를 셀 계획으로 제약하고, 그렇게 함으로써 클러스터 외부 간섭으로 인해 달성 가능한 용량을 제한하고, 이와 같이 그것은 여전히 간섭에 의해 제한된다는 것을 알고 있다. 이에 반하여, 본 발명은, 우연적으로 배치된 모든 BTS로부터 더 높은 전력을 송신함으로써, UE들 주위에 코히런트 간섭을 생성하기 위해 인코히런트 간섭을 활용하고, 그렇게 함으로써 UE에서의 신호 품질을 향상시키는데, 이는 공간 처리를 통해 셀 전역에서 셀 간 다중화 이득을 얻기 위한 필요 조건이다. 이와 같이, 종래 기술에서 기술된 시스템들은 공간 처리를 통해 무제한의 셀 간 다중화 이득을 달성하는 데 이용될 수 없는데, 그 이유는 본 발명에서와 같이 셀 간 다중화 방법들을 가능하게 하기에 충분한 SINR이 셀 전역에 없기 때문이다(BTS들로부터의 제한된 송신 전력 또는 송신 전력이 증가될 때 클러스터 외부 간섭으로 인해). 더욱이, 종래 기술의 시스템들은 본 발명에서 달성되는 바와 같은 셀 간 다중화 이득을 얻기 위해 다중화 지역들에서 셀 간 간섭을 활용하기보다는 도 1 및 도 3 내지 도 5의 그늘진 지역에 도시된 다이버시티 지역들 내에서 셀 간 간섭을 방지하도록 설계되었다는 점을 고려하면, 종래 기술에서 기술된 시스템들은 도 4 및 도 5에 도시된 본 발명에서 달성되는 다중화 이득을 달성하도록 동작하지는 못할 것이다.

도면의 간단한 설명

[0071]

도면들과 함께 하기의 상세한 설명으로부터 본 발명이 더 잘 이해될 수 있다:

도 1은 매크로셀과 스몰셀에 대한 다중화 지역과 다이버시티 지역을 예시하는 도면.

도 2a는 종래의 셀룰러 시스템들에서의 전체 주파수 재사용 패턴을 예시하는 도면.

도 2b는 종래의 셀룰러 시스템들에서의 하드 주파수 재사용(HFR) 패턴을 예시하는 도면.

도 2c는 종래의 셀룰러 시스템들에서의 부분 주파수 재사용(FFR) 패턴을 예시하는 도면.

도 3은 인접한 매크로셀들 사이의 간섭 지역을 예시하는 도면.

도 4는 셀들 간의 간섭 레벨을 증가시키기 위해 더 높은 전력에서 송신하고 있는 다수의 BTS들을 예시하는 도면.

도 5는 셀 전역에서 인코히런트 간섭의 레벨을 의도적으로 증가시키기 위해 다수의 액세스 포인트들이 부가되는 한 예를 예시하는 도면.

도 6은 LTE 네트워크들에서의 네트워크 요소들을 예시하는 도면.

도 7a는 FDD 동작을 위한 LTE 프레임 구조를 예시하는 도면.

도 7b는 TDD 동작을 위한 LTE 프레임 구조를 예시하는 도면.

도 8a는 OFDM DL 채널에서 LTE "리소스 요소들" 및 "리소스 블록들"을 예시하는 도면.

도 8b는 SC-FDMA UL 채널에서 LTE "리소스 요소들" 및 "리소스 블록들"을 예시하는 도면.

도 9는 안테나 클러스터들과 사용자 클러스터들로 이루어진, 다중 사용자(multi-user, MU) 다수 안테나 시스템(multiple antenna system, MAS), 또는 MU-MAS의 일 실시예를 예시하는 도면.

도 10은 모든 안테나 서브클러스터에 상이한 셀 ID가 관련되어 있는 MU-MAS의 일 실시예를 예시하는 도면.

도 11은 주어진 반복 패턴으로 안테나 서브클러스터들에 동일한 셀 ID 세트가 할당되는 MU-MAS의 일 실시예를 예시하는 도면.

도 12는 인구가 희박한 지역과 인구가 조밀한 지역을 가진, 미국 캘리포니아주 샌프란시스코 시내에서의 MU-MAS 시스템들의 실제 전개에 대한 SNR 분포를 예시하는 도면.

도 13은 CP, 분산된 BTS들 및 다수의 UE들로 이루어진 MU-MAS의 일 실시예를 예시하는 도면.

도 14는 CP, 분산된 BTS들, 다수의 디바이스들 및 이 디바이스들뿐만 아니라 BTS들에 네트워크 인터페이스들을 통해 연결된 하나의 UE로 이루어진 MU-MAS의 일 실시예를 예시하는 도면.

도 15는 UE가 사용자 디바이스에 물리적으로 부착되는 케이스 안에 있는 MU-MAS의 일 실시예를 예시하는 도면.

도 16은 분산된 안테나들이 UL 및 DL 채널들을 통해 UE들에 통신하는 MU-MAS의 일 실시예를 예시하는 도면.

도 17은 분산된 안테나들이 UL 및 DL 채널들을 통해 비컨에 통신하는 MU-MAS의 일 실시예를 예시하는 도면.

도 18은 RF 부정합이 있는/없는 그리고 RF 교정이 있는/없는 선형 프리코딩을 갖는 MU-MAS의 심벌 오류율(symbol error rate, SER) 성능을 예시하는 도면.

도 19는 RF 부정합이 있는/없는 그리고 RF 교정이 있는/없는 선형 및 비선형 프리코딩을 갖는 MU-MAS의 심벌 오류율(SER) 성능을 예시하는 도면.

도 20a 및 도 20b는 THP 비선형 프리코딩을 적용할 때 (모듈로 연산 전) UE들에서의 4-QAM 정상도들을 예시하는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0072] 상기 종래 기술의 한계들 중 다수를 극복하기 위한 한 가지 솔루션은 분산 입력 분산 출력(Distributed-Input Distributed-Output, DIDO) 기술의 실시예이다. DIDO 기술은 하기의 특허들 및 특허 출원들에 기술되어 있으며, 이들 모두는 본 특허의 양수인에게 양도되어 참고로 포함된다. 이들 특허 및 출원은 때때로 본 명세서에서 총괄하여 "관련 특허들 및 출원들"이라고 불린다.
- [0073] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 시스템에서 무선 백홀을 위한 시스템 및 방법(Systems and Methods for wireless backhaul in distributed-input distributed-output wireless systems)"인 미국 출원 제 13/633,702호
- [0074] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 시스템에서 공간 다이버시티를 향상시키는 시스템 및 방법(Systems and Methods to enhance spatial diversity in distributed-input distributed-output wireless systems)"인 미국 출원 제13/475,598호
- [0075] 발명의 명칭이 "다중 사용자 스펙트럼의 계획적 진화 및 구식화를 위한 시스템 및 방법(System and Methods for planned evolution and obsolescence of multiuser spectrum)"인 미국 출원 제13/233,006호
- [0076] 발명의 명칭이 "무선 시스템에서 코히런스 지역들을 활용하는 시스템 및 방법(Systems and Methods to Exploit Areas of Coherence in Wireless Systems)"인 미국 출원 제13/232,996호
- [0077] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 시스템에서 도플러 효과를 보상하는 시스템 및 방법(System and Methods to Compensate for Doppler Effects in Distributed-Input Distributed Output Systems)"인 미국 출원 제

13/464,648호

- [0078] 발명의 명칭이 "사용자 클러스터링을 통해 분산 무선 시스템에서 전송들을 조정하는 시스템 및 방법(Systems And Methods To Coordinate Transmissions In Distributed Wireless Systems Via User Clustering)"인 미국 출원 제12/917,257호
- [0079] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력(DIDO) 통신 시스템에서의 간섭 관리, 핸드오프, 전력 제어 및 링크 적응 (Interference Management, Handoff, Power Control And Link Adaptation In Distributed-Input Distributed-Output (DIDO) Communication Systems)"인 미국 출원 제12/802,988호
- [0080] 발명의 명칭이 "다수의 DIDO 클러스터를 횡단하는 클라이언트의 클러스터 간 핸드오프를 관리하기 위한 시스템 및 방법(System And Method For Managing Inter-Cluster Handoff Of Clients Which Traverse Multiple DIDO Clusters)"인 미국 출원 제12/802,974호
- [0081] 발명의 명칭이 "클라이언트의 검출된 속도에 기초하여 상이한 분산 입력 분산 출력(DIDO) 네트워크들 간에 클라이언트의 핸드오프를 관리하기 위한 시스템 및 방법(System And Method For Managing Handoff Of A Client Between Different Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Networks Based On Detected Velocity Of The Client)"인 미국 출원 제12/802,989호
- [0082] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력(DIDO) 네트워크에서 전력 제어 및 안테나 그룹화를 위한 시스템 및 방법 (System And Method For Power Control And Antenna Grouping In A Distributed-Input-Distributed-Output (DIDO) Network)"인 미국 출원 제12/802,958호
- [0083] 발명의 명칭이 "DIDO 다중 반송파 시스템에서 링크 적응을 위한 시스템 및 방법(System And Method For Link adaptation In DIDO Multicarrier Systems)"인 미국 출원 제12/802,975호
- [0084] 발명의 명칭이 "다중 반송파 시스템에서 DIDO 프리코딩 보간을 위한 시스템 및 방법(System And Method For DIDO Precoding Interpolation In Multicarrier Systems)"인 미국 출원 제12/802,938호
- [0085] 발명의 명칭이 "분산 안테나 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method For Distributed Antenna Wireless Communications)"인 미국 출원 제12/630,627호
- [0086] 발명의 명칭이 "신호 세기 측정에 기초하여 DIDO 간섭 제거를 조정하기 위한 시스템 및 방법(System And Method For Adjusting DIDO Interference Cancellation Based On Signal Strength Measurements)"인 2012년 5월 1일자로 허여된 미국 특허 제8,170,081호
- [0087] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method For Distributed Input-Distributed Output Wireless Communications)"인 2012년 4월 17일자로 허여된 미국 특허 제8,160,121호;
- [0088] 발명의 명칭이 "공간-시간 코딩을 이용하여 "NVIS"(Near Vertical Incidence Skywave) 통신을 향상시키기 위한 시스템 및 방법(System and Method For Enhancing Near Vertical Incidence Skywave ("NVIS") Communication Using Space-Time Coding)"인 2011년 2월 8일자로 허여된 미국 특허 제7,885,354호.
- [0089] 발명의 명칭이 "공간 다중화 대류권 산란 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method For Spatial-Multiplexed Tropospheric Scatter Communications)"인 2010년 5월 4일자로 허여된 미국 특허 제7,711,030호;
- [0090] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication)"인 2009년 12월 22일자로 허여된 미국 특허 제7,636,381호;
- [0091] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication)"인 2009년 12월 15일자로 허여된 미국 특허 제7,633,994호;
- [0092] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication)"인 2009년 10월 6일자로 허여된 미국 특허 제7,599,420호;
- [0093] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 통신을 위한 시스템 및 방법(System and Method for Distributed Input Distributed Output Wireless Communication)"인 2008년 8월 26일자로 허여된 미국 특허 제7,418,053호;

- [0094] 본 특허 출원의 크기 및 복잡성을 줄이기 위해, 관련 특허들 및 출원들 중 일부의 개시 내용은 아래에 명백하게 제시되지 않는다. 그 개시 내용의 완전한 설명에 대해서는 관련 특허들 및 출원들을 참조하기 바란다.
- [0095] 본 발명은 다중 사용자(multi-user, MU) 송신들을 가진 다수 안테나 시스템(mutiple antenna system, MAS)(다중 사용자 다수 안테나 시스템(Multi-User Multiple Antenna System), 또는 "MU-MAS")을 이용하는, 공간 처리를 통해 무선 통신 네트워크들에서 셀 간 다중화 이득을 활용하는 시스템 및 방법들을 기술하며, 여기서 다수의 안테나는 우연적으로 배치된다. 본 발명의 일 실시예에서, 다수의 안테나로부터 송신되는 전력은 (종래의 셀룰러 시스템들에서와 같이) 셀 경계들에서의 간섭을 최소화하기 위해 제약되고 셀 간 간섭을 제거하기 위해서만 공간 처리 방법들이 이용된다. 본 발명의 다른 실시예에서, 다수의 안테나로부터 송신되는 전력은 (이들의 전력 방출 레벨이 규제, 안전 또는 실용(예컨대, 가용 전력, 송신기 및/또는 안테나 사양들) 제한 내에 포함되는 한) 임의의 특정 전력 레벨로 제약되지 않고, 그렇게 함으로써 의도적으로 셀 전역에서 더 높은 레벨의 셀 간 간섭을 생성하는데, 이는 셀 간 다중화 이득을 달성하고 무선 통신 네트워크의 용량을 증가시키기 위해 활용된다.
- [0096] 일 실시예에서, 무선 통신 네트워크는 도 1 및 도 3에서와 같이 셀룰러 네트워크로서, 예컨대 LTE 표준들을 기초로 한 셀룰러 네트워크이며, 우연적으로 전개된 다수의 안테나는 매크로셀들 또는 스몰셀들을 위한 송수신기들이다. 본 발명의 다른 실시예에서, 무선 통신 네트워크는 임의의 특정 셀 레이아웃으로 제약되지 않고, 셀 경계들은 도 4 및 도 5에서와 같이 더 큰 지역들에 걸쳐 확장될 수 있다. 예를 들어, 무선 통신 네트워크는 WiFi 액세스 포인트들인 다수의 안테나를 가진 무선 근거리 네트워크(WLAN), 또는 메시, 애드혹 또는 센서 네트워크, 또는 분산 안테나 시스템, 또는 어떠한 송신 전력 제약도 없이 우연적으로 배치된 액세스 포인트들을 가진 DIDO 시스템일 수 있다. 그러나, 그러한 예시적인 네트워크 구조들은 본 발명의 일반적인 적용성을 무선 통신 네트워크들로 제한하는 것으로 간주되어서는 안 된다. 본 발명은 다수의 UE에 동시 비간섭 데이터 스트림들을 생성하기 위해 다수의 UE에 의해 수신되는 경우에 간섭하는 다수의 안테나로부터의 신호들을 송신함으로써 다중화 이득이 달성되는 임의의 무선 네트워크에 적용된다.
- [0097] MU-MAS는 중앙 프로세서(centralized processor), 네트워크 및 N개의 클라이언트 디바이스 또는 UE에 무선으로 통신하는 M개의 송수신기국(또는 분산 안테나)로 이루어져 있다. 중앙 프로세서 유닛은 상이한 클라이언트 디바이스들을 위해 의도된 상이한 네트워크 콘텐츠(예컨대, 웹 서버 또는 다른 네트워크 소스로부터 스트리밍되는 비디오, 웹페이지, 비디오 게임, 텍스트, 음성 등)를 가진 N개의 정보 스트림(*streams of information*)을 수신한다. 이후, 용어 "정보 스트림"은 오디오, 웹 및 비디오 콘텐츠를 포함하지만 이들에 제한되지 않는, 임의의 데이터를 생성하기 위해, 특정 변조/코딩 방식 또는 프로토콜에 따라, 독립형 스트림으로서 복조되거나 디코딩될 수 있는 정보를 포함하는 네트워크를 통하여 전송된 임의의 데이터 스트림을 지칭하기 위해 사용된다. 일 실시예에서, 정보 스트림은 독립형 스트림으로서 복조되거나 디코딩될 수 있는 네트워크 콘텐츠를 나르는 비트들의 시퀀스이다.
- [0098] 중앙 프로세서는 (관련 특허들 및 출원들에 기술된 것들과 같은 알고리즘들에 따라) 네트워크 콘텐츠로부터의 N개의 정보 스트림을 M개의 비트 스트림(*streams of bits*)으로 조합하기 위해 프리코딩 변환을 이용한다. 제한이 아니라, 예로서, 프리코딩 변환은 선형(예컨대, 제로-포싱(zero-forcing)[65], 블록-대각선화[66-67], 역행렬 등) 또는 비선형(예컨대, 더티-페이퍼(dirty-paper) 코딩[68-70] 또는 톰린슨-하라시마(Tomlinson-Harashima) 프리코딩[71-72], 래티스(lattice) 기법 또는 트렐리스(trellis) 프리코딩[73-74], 벡터 선택 기법[75-76])일 수 있다. 이후, 용어 "비트 스트림"은 반드시 임의의 유용한 정보 비트들을 포함하는 것은 아니고 따라서 네트워크 콘텐츠를 검색하기 위해 독립형 스트림으로서 복조되거나 디코딩될 수 없는 임의의 비트들의 시퀀스를 지칭하기 위해 사용된다. 본 발명의 일 실시예에서, 비트 스트림은 중앙 프로세서에 의해 생성되고 M개의 송수신기국 중 하나로 전송되기 위해 주어진 수의 비트에 걸쳐 양자화된 복소수 베이스밴드 신호이다.
- [0099] 프리코딩은 중앙 프로세서에서 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)를 이용하여 계산되고 다수의 사용자로 또는 이들로부터의 데이터 스트림들을 다중화하기 위해 DL 또는 UL 채널들을 통해 적용된다. 본 발명의 일 실시예에서, 중앙 프로세서는 분산된 안테나들과 클라이언트 디바이스들 사이의 CSI를 인지하고, 이 CSI를 이용하여 DL 또는 UL 채널을 통해 송신되는 데이터를 프리코딩한다. 동일한 실시예에서, CSI는 클라이언트 디바이스들에서 추정되고 분산된 안테나들에 피드백된다. 다른 실시예에서, DL-CSI는 분산된 안테나들에서 무선 주파수(RF) 교정을 이용하여 그리고 UL/DL 채널 상호성을 활용하여 UL-CSI로부터 유도된다.
- [0100] 일 실시예에서, MU-MAS는 관련 특허들 및 특허 출원들에 기술된 바와 같은 분산 입력 분산 출력(DIDO) 시스템이다. 다른 실시예에서, 도 13에 도시된 MU-MAS는 다음에 언급한 것들로 이루어져 있다:

- [0101] **사용자 장비(UE)**(1301): 다운링크(DL) 채널을 통하여 백홀로부터 데이터 스트림들을 수신하고 업링크(UL) 채널을 통해 백홀에 데이터를 송신하는 고정 및/또는 이동 클라이언트들에 대한 RF 송수신기
- [0102] **기지국 송수신기(BTS)**(1302): BTS들은 무선 채널을 이용해 백홀과 인터페이스한다. 일 실시예의 BTS들은 베이스밴드 신호를 RF로 변환하기 위해 디지털-아날로그 변환기(DAC)/아날로그-디지털 변환기(ADC) 및 무선 주파수(RF) 체인으로 이루어져 있는 액세스 포인트들이다. 일부 사례에서, BTS는 전력 증폭기/안테나를 구비한 단순한 RF 송수신기이고, RF 신호는 관련 특허들 및 출원들에 기술된 바와 같은 RF-오버-파이버(RF-over-fiber) 기술을 통해 BTS로 전달된다.
- [0103] **컨트롤러(CTR)**(1303): CTR은 BTS들 및/또는 UE들의 시간/주파수 동기화를 위한 트레이닝 신호들의 송신, UE들로부터/로의 제어 정보의 수신/송신, UE들로부터의 채널 상태 정보(CSI) 또는 채널 품질 정보의 수신과 같은 특정의 전문화된 특징들을 위해 설계된 한 가지 특정 타입의 BTS이다. 임의의 MU-MAS 시스템에 하나의 또는 다수의 CTR 스테이션이 포함될 수 있다. 다수의 CTR이 이용 가능할 때, 이들 스테이션으로 또는 이들 스테이션으로부터의 정보를 조합하여 다이버시티를 증가시키고 링크 품질을 개선할 수 있다. 일 실시예에서, CSI는 CSI 복조를 개선하기 위해 최대비 조합(maximum ratio combining, MRC) 기법들을 통해 다수의 CTR로부터 수신된다. 다른 실시예에서, 이 제어 정보는 수신기 측에서의 SNR을 개선하기 위해 최대비 송신(maximum ratio transmission, MRT)을 통해 다수의 CTR로부터 전송된다. 본 발명의 범주는 MRC 또는 MRT에 제한되지 않고, CTR들과 UE들 사이의 무선 링크들을 개선하기 위해 임의의 다른 다이버시티 기법(예컨대, 안테나 선택 등)이 이용될 수 있다.
- [0104] **중앙 프로세서(CP)**(1304): CP는 인터넷 또는 다른 타입의 외부 네트워크들(1306)을 백홀과 인터페이스하는 서버이다. 일 실시예에서, CP는 MU-MAS 베이스밴드 처리를 계산하고 파형들을 DL 송신을 위해 분산된 BTS들에 전송한다.
- [0105] **기지국 네트워크(BSN)**(1305): BSN은 DL 또는 UL 채널에 대한 정보를 나르는 분산된 BTS들에 CP를 연결하는 네트워크이다. BSN은 유선 또는 무선 네트워크 또는 이들의 조합이다. 예를 들어, BSN은 DSL, 케이블, 광섬유 네트워크, 또는 가시선(LOS) 또는 비가시선(NLOS) 무선 링크이다. 또한, BSN은 독점 네트워크, 근거리 네트워크, 또는 인터넷이다.
- [0106] 이후 상기 MU-MAS 프레임워크가 공간 효율에서 추가 이득을 달성하기 위해 어떻게 셀룰러 시스템들(및 또한 LTE 프로토콜들을 이용하는 비-셀룰러 시스템)을 위한 LTE 표준에 통합될 수 있는지에 대해 기술한다. DL 및 UL 채널들에서 이용되는 변조 기법들 및 LTE 프레임워크의 일반적인 개관으로 시작한다. 그 후 LTE 표준에서의 물리 계층 프레임 구조 및 리소스 할당에 대한 간단한 설명을 제공한다. 마지막으로, LTE 프레임워크를 이용하는 다중 사용자 시나리오들에서 다운링크(DL) 및 업링크(UL) 채널들에 대한 MU-MAS 프리코딩 방법들을 정의한다. DL 방식들에 대해서, 2가지 솔루션, 즉 개루프 및 폐루프 DIDO 방식들을 제안한다.
- [0107] LTE는 대기 시간의 감소, ARQ를 통한 패킷 손실의 감소, 호 설정 시간의 감소, 매크로-다이버시티를 통한 커버리지 및 처리량의 개선을 제공하기 위해 (이전의 셀룰러 표준들로부터의 계층적 아키텍처와는 대조적으로) 플랫(flat) 네트워크 아키텍처로 설계되어 있다. 도 6에 도시된 LTE 네트워크들에서의 네트워크 요소들은 다음과 같다[79]:
- [0108] **GW(gateway)**: 이것은 LTE 네트워크를 외부 네트워크들(즉, 인터넷)에 연결하는 라우터이다. GW는 E-UTRAN 인터페이스(608)를 종단하는 서빙 게이트웨이(S-GW)(601) 및 외부 네트워크들과의 인터페이스인 PDN 게이트웨이(P-GW)(602)로 나누어진다. S-GW 및 P-GW는 소위 진화된 패킷 코어(evolved packet core, EPC)(609)의 일부이다;
- [0109] **MME(mobility management entity)**(603): 이것은 이동성, 보안 파라미터들 및 UE 아이덴티티를 관리한다. MME도 LTE EPC의 일부이다;
- [0110] **eNodeB(enhanced Node-B)**(604): 이것은 무선 리소스 관리, 사용자 이동성 및 스케줄링을 다루는 기지국이다;
- [0111] **UE(user equipment)**(605): 이것은 이동국들이다.
- [0112] **S1 및 X2 인터페이스들**(606 및 607): 이것들은 MME와 eNodeB들 사이(S1-MME), S-GW와 eNodeB들 사이(S1-U)

그리고 다수의 eNodeB들 사이(X2)의 유선 또는 무선 백홀들이다.

- [0113] 본 발명의 일 실시예에서, MU-MAS 네트워크는 UE가 LTE UE이고, BTS가 LTE eNodeB이고, CTR이 LTE eNodeB 또는 MME이고, CP가 LTE GW이고, BSN이 S1 또는 X1 인터페이스인 LTE 네트워크이다. 이하에서 우리는 MU-MAS, DIDO 또는 LTE 시스템들에서의 임의의 기지국을 지칭하기 위해 분산된 안테나, BTS 및 eNodeB라는 용어들을 호환적으로 사용한다.
- [0114] LTE 프레임은 도 7에 도시된 바와 같이 10 msec의 지속 기간을 가지고 10개의 서브프레임으로 이루어진다 [33,80]. 모든 서브프레임은 각각 지속 기간이 0.5 msec인 2개의 슬롯으로 나누어져 있다. LTE 표준들은 다음과 같은 2가지 타입의 프레임을 정의한다: i) 모든 서브프레임이 DL 채널 또는 UL 채널을 위해 할당되는, 도 7a에서와 같이 FDD 동작을 위한 타입 1; ii) (선택된 구성에 따라) 서브프레임들 중 일부는 DL에 할당되고 일부는 UL에 할당되는 반면, 소수의 서브프레임이 "특수 용도"를 위해 예비되는, 도 7b에서와 같이 TDD 동작을 위한 타입 2. 이들은 프레임마다 적어도 하나의 특수 서브프레임이고 그것은 다음과 같은 3개의 필드로 이루어진다: i) DL 송신을 위해 예비된 다운링크 파일럿 타임 슬롯(DwPTS); ii) 보호 구간(guard period, GP); iii) UL 송신을 위한 업링크 파일럿 타임 슬롯(UpPTS).
- [0115] LTE는 DL을 위해 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 및 직교 주파수 분할 다중 접속(OFDMA) 변조를 이용하고, UL을 위해 단일 반송파 주파수 분할 다중 접속(SC-FDMA)을 이용한다. "리소스 요소"(RE)는 LTE에서 가장 작은 변조 구조이고 도 8a에 DL 채널에 대하여 그리고 도 8b에 UL 채널에 대하여 도시된 바와 같이, 주파수에서 하나의 OFDM 부반송파 및 시간에서 하나의 OFDM 심벌 지속 기간으로 이루어져 있다. "리소스 블록"(RB)은 주파수에서 12개의 부반송파 및 시간에서 하나의 0.5 msec 슬롯으로 이루어져 있다(DL 대 UL 채널 및 순환 프리픽스(cyclic prefix)의 타입에 따라서는, 3개 내지 7개 OFDM 심벌 기간으로 이루어짐). 모든 UE에 대한 리소스 블록들은 서브프레임 기준으로 할당된다. 본 발명에서 MU-MAS는 공간 처리를 이용하여 다수의 데이터 스트림을 상이한 UE들에 송신하므로, 모든 서브프레임에서 모든 리소스 블록들이 동일한 UE에 할당될 수 있다. 일 실시예에서, 리소스 블록들 전부 또는 리소스 블록들의 서브세트가 모든 UE에 할당되고 동시 비간섭 데이터 스트림들이 프리코딩을 통해 UE들에 송신된다.
- [0116] BTS와 UE들 사이의 링크를 설정하기 위해, LTE 표준은 동기화 절차를 정의한다. BTS는 다음과 같은 2개의 연속 신호를 UE에 송신한다: 1차 동기화 채널(primary synchronization channel, PSCH)을 통해 송신되는 1차 동기화 신호(P-SS) 및 2차 동기화 채널(secondary synchronization channel, SSCH)을 통해 송신되는 2차 동기화 신호(S-SS). 이 두 신호들은 UE에 의해 시간/주파수 동기화를 위해서뿐만 아니라 셀 ID를 검색하기 위해 이용된다. P-SS는 길이가 63인 자도프-추(Zadoff-Chu) 시퀀스로 이루어져 있고, 이로부터 UE는 물리 계층 ID(0 내지 2)를 유도한다. S-SS는 길이가 31인 2개의 이진 시퀀스의 인터리빙된 연결(interleaved concatenation)이고 셀 ID 그룹 번호(0 내지 167)를 유도하는 데 이용된다. 상기 2개의 ID 번호로부터, UE는 물리 셀 ID(PCI, 0 내지 503으로부터 정의됨)를 유도한다.
- [0117] 본 발명에서 기술된 MU-MAS 시스템에서는, UE들 주위에 코히런스 지역들을 생성하기 위해 활용되는 간섭을 생성하기 위해 BTS들로부터 송신되는 전력이 의도적으로 증가되므로 셀 경계가 없다. 본 발명에서는, 발명의 명칭이 "신호 세기 측정에 기초하여 DIDO 간섭 제거를 조정하기 위한 시스템 및 방법(System And Method For Adjusting DIDO Interference Cancellation Based On Signal Strength Measurements)"인 2012년 5월 1일자로 허여된 관련 미국 특허 제8,170,081호에 정의된 바와 같이, 상이한 BTS들이 "안테나 클러스터들" 또는 "DIDO 클러스터들"로 그룹화된다. 예를 들어, 도 9는 주 안테나 클러스터(901)와 하나의 인접한 안테나 클러스터(902)를 보여준다. 모든 안테나 클러스터는 다수의 BTS(903)로 이루어진다.
- [0118] 셀 ID는 MU-MAS 및 DIDO 시스템들에서 안테나 클러스터들을 구별하기 위해 사용될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 동일한 셀 ID는 P-SS 및 S-SS를 통해 동일한 안테나 클러스터의 모든 BTS로부터 송신된다. 동일한 실시예에서, 상이한 안테나 클러스터들은 상이한 셀 ID들을 이용한다. 본 발명의 다른 실시예에서, 동일한 안테나 클러스터(1001) 내의 모든 BTS들은 상이한 그룹된 컬러들을 가진 도 10에 도시된 "안테나 서브클러스터들"(1003)로 그룹화되고, 상이한 셀 ID(1004)가 모든 안테나 서브클러스터와 관련된다. 일 실시예에서, 안테나 서브클러스터들은 사전 정의된 클러스터 계획에 따라 또는 GPS 포지셔닝 정보에 기초하여 정적으로 정의된다. 다른 실시예에서, 안테나 서브클러스터들은 BTS들 간의 상대적 신호 세기의 측정들 또는 GPS 포지셔닝 정보에 기초하여 동적으로 정의된다. 본 발명의 상이한 실시예에서, 상이한 셀 ID가 UE들과 관련된 모든 코히런스 지역(발명의 명칭이 "무선 시스템에서 코히런스 지역들을 활용하는 시스템 및 방법(Systems and Methods to Exploit Areas of Coherence in Wireless Systems)"인 공히 계류 중인 관련 미국 출원 제13/232,996호에 기술

됨)에 할당된다.

[0119] 동일한 안테나 클러스터 또는 안테나 서브클러스터 내의 모든 BTS가 LTE 브로드캐스트 채널들(예컨대, P-SS 및 S-SS)을 UE들에 송신할 때, 상쇄 간섭이 브로드캐스트 채널에 의해 가능하게 되는 시간 또는 주파수 동기화의 성능을 저하시킬 수 있다. 상쇄 간섭은 일부 UE 위치들에서 인코히런트하게 재조합하는 공간적으로 분산된 BTS들로부터 생성된 다중 경로들에 의해 야기될 수 있다. 이러한 효과를 방지하거나 완화시키기 위해, 본 발명의 일 실시예에서는, 동일한 안테나 클러스터 또는 안테나 서브클러스터 내의 모든 BTS 중 하나의 BTS만이 LTE 브로드캐스트 채널들(예컨대, P-SS 및 S-SS)을 모든 UE들에 송신한다. 동일한 실시예에서, LTE 브로드캐스트 채널들을 송신하는 BTS는 브로드캐스트 채널들을 통해 UE들에서 수신되는 전력을 최대화하도록 선택된다. 다른 실시예에서는, BTS들의 제한된 세트만이 LTE 브로드캐스트 채널들을 동시에 모든 UE들에 송신하기 위해 선택되고, 따라서 UE에서 상쇄 간섭이 방지된다. 본 발명의 상이한 실시예에서, LTE 브로드캐스트 채널들은 동일한 안테나 클러스터 또는 안테나 서브클러스터 내의 모든 UE들에 도달하기 위해 페이로드보다 더 높은 전력에서 송신된다.

[0120] 전술한 바와 같이, LTE-어드밴스는 DL 채널을 통한 데이터 레이트를 증가시키기 위해 반송파 집성(CA) 방식을 지원한다. MU-MAS들에서, CA는 사용자마다의 데이터 레이트를 증가시키기 위해 프리코딩과 조합하여 사용될 수 있다. 이 발명의 일 실시예에서는, 사용자마다의 데이터 레이트를 증가시키기 위해 RF 스펙트럼의 상이한 부분들(대역 간 CA) 또는 스펙트럼의 동일한 부분 내의 상이한 대역들(대역 내 CA)에 송신 프리코딩이 적용된다. 대역 간 CA를 이용할 경우, 상이한 대역들에서의 경로 손실이 현저히 변화할 수 있는데, 그 이유는 그 대역들이 상이한 반송파 주파수들에 중심을 두고 있기 때문이다. 종래의 LTE 셀룰러 시스템들에서, 더 낮은 반송파 주파수들의 주파수 대역들은 더 높은 반송파 주파수들보다 더 낮은 경로 손실을 겪을 수 있다. 그러므로, 셀룰러 시스템들에서 대역 간 CA를 적용하는 것은 더 낮은 반송파 주파수들에서 원하지 않은 셀 간 간섭을 야기할 수 있다. 이와 대조적으로, 본 발명에서의 MU-MAS는 BTS들이 분산되고 셀의 개념이 없으므로 셀 경계에서 간섭에 의해 제한되지 않는다. 이러한 보다 융통성 있는 시스템 레이아웃은 MU-MAS에서 대역 간 CA를 위한 상이한 방법들을 허용한다. 본 발명의 일 실시예에서, MU-MAS는 더 낮은 반송파 주파수들에서 동작하는 BTS들의 하나의 세트와 더 높은 반송파 주파수들에서 동작하는 BTS들의 다른 세트를 이용함으로써 대역 간 CA를 가능하게 하고, 따라서 2개의 세트가 교차하거나 하나의 세트가 다른 세트의 서브세트이다. 다른 실시예에서, 프리코딩을 가진 MU-MAS는 주파수 호핑 패턴들과 함께 CA 방법들을 이용하여 주파수 선택적 페이딩 또는 간섭에 대한 강건성을 개선한다.

[0121] 1. LTE에서의 다운링크 페루프 MU-MAS 프리코딩 방법들

[0122] MU-MAS 페루프 방식들은 시분할 이중 방식(time-division duplex, TDD) 또는 주파수 분할 이중 방식(frequency division duplex, FDD) 시스템들에서 이용될 수 있다. FDD 시스템들에서는, DL 및 UL 채널들은 상이한 주파수들에서 동작하므로 DL 채널 상태 정보(CSI)는 UE 측에서 추정되고 UL 채널을 통해 BTS들 또는 CTR들을 통하여 CP에 다시 보고되어야 한다. TDD 시스템들에서는, DL 및 UL 채널들은 동일한 주파수에 설정되고 시스템은 (다음 섹션에서 기술될 바와 같이) 채널 상호성(channel reciprocity)을 활용하는 페루프 기법들 또는 개루프 방식들을 이용할 수 있다. 페루프 방식들의 주요 단점은 이들이 피드백을 필요로 하여, 결국 UL을 통한 제어 정보에 대한 오버헤드가 커진다는 것이다.

[0123] MU-MAS들에서 페루프 방식들에 대한 일반적인 메커니즘은 다음과 같이 기술된다: i) BTS들은 DL을 통하여 UE들에 시그널링 정보를 전송한다; ii) UE들은 그 시그널링 정보를 활용하여 모든 "활성 BTS들"로부터의 DL CSI를 추정한다; iii) UE들은 DL CSI를 양자화하거나 코드북들을 이용해 다음 송신에 이용될 프리코딩 가중치들을 선택한다; iv) UE들은 양자화된 CSI 또는 코드북 인덱스를 UL 채널을 통해 BTS들 또는 CTR들에 전송한다; v) BTS들 또는 CTR들은 CSI 정보 또는 코드북 인덱스를 CP에 보고하고 CP는 DL을 통한 데이터 송신을 위한 프리코딩 가중치들을 계산한다. "활성 BTS들"은 주어진 UE에 의해 도달되는 BTS들의 세트로서 정의된다. 예를 들어, 발명의 명칭이 "다수의 DDO 클러스터를 횡단하는 클라이언트의 클러스터 간 핸드오프를 관리하기 위한 시스템 및 방법(System And Method For Managing Inter-Cluster Handoff Of Clients Which Traverse Multiple DDO Clusters)"인 공히 계류 중인 관련 미국 출원 제12/802,974호 및 발명의 명칭이 "사용자 클러스터링을 통해 분산 무선 시스템에서 전송들을 조정하는 시스템 및 방법(Systems And Methods To Coordinate Transmissions In Distributed Wireless Systems Via User Clustering)"인 공히 계류 중인 관련 미국 출원 제12/917,257호에서는, 도 9에 도시된 바와 같이, "사용자 클러스터"(905)를 주어진 UE에 의해 도달되는 BTS들의 세트로서 정의하였다. 활성 BTS들의 수는 BTS들로부터 주어진 UE로의 추정될 CSI의 양을 줄이기 위해 사용자 클러스터로 제한되고, 그렇게 함으로써 UL을 통한 피드백 오버헤드 및 CP에서의 MU-MAS 프리코딩 계산의 복

잡성을 감소시킨다.

[0124] 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용의 세 번째 단락에 기술된 바와 같이, MU-MAS 프리코딩은 선형 또는 비선형 방법들을 이용한다. 비선형 방법들(예컨대, 더티-페이퍼 코딩[68-70] 또는 톰린슨-하라시마 프리코딩[71-72], 래티스 기법 또는 트렐리스 프리코딩[73-74], 벡터 점동 기법[75-76])의 경우에는, 사용자 간 간섭을 방지하기 위해 송신기에서 연속적 간섭 제거가 적용된다. 이 경우 프리코딩 행렬은 안테나 클러스터 내의 모든 UE들에 대한 CSI를 고려하여 계산된다. 대안으로, 선형 프리코딩 방법들(예컨대, 제로-포싱[65], 블록-대각선화[66-67], 역행렬 등)은 사용자 클러스터 기준으로 사용될 수 있는데, 그 이유는 모든 UE에 대한 프리코딩 가중치들이 다른 UE들과 관계없이 계산되기 때문이다. 안테나 클러스터 또는 사용자 클러스터들 내의 UE들 및 eNodeB들의 수에 따라서, 선형 대 비선형 프리코딩 방법들은 상이한 계산 성능을 제공한다. 예를 들어, MU-MAS가 안테나 클러스터마다 K개 UE, 안테나 클러스터마다 M개 eNodeB 그리고 사용자 클러스터마다 C개 eNodeB로 이루어져 있다면, 선형 프리코딩의 복잡도는 $O(K \cdot C^3)$ 인 반면 비선형 프리코딩의 경우 그것은 $O(M \cdot K^2)$ 이다. 따라서 CP에서의 계산 복잡도를 줄이기 위해 MU-MAS들에서의 UE들 및 eNodeB들의 수에 기초하여 이 2개의 타입의 프리코딩 기법들 사이에 동적으로 전환하는 방법을 개발하는 것이 바람직하다. 본 발명의 일 실시예에서, MU-MAS는 선형 프리코딩 방법들을 이용한다. 다른 실시예에서, MU-MAS는 비선형 프리코딩 방법들을 이용한다. 본 발명의 동일한 실시예에서, MU-MAS는 CP에서의 계산 복잡도를 줄이기 위해 안테나 클러스터들 및 사용자 클러스터들에서의 UE들 및 eNodeB들의 수에 기초하여 선형 프리코딩 방법과 비선형 프리코딩 방법 사이에 동적으로 전환한다. 상이한 실시예에서, MU-MAS는 (예컨대, eNodeB들의 부근에서) 양호한 채널 품질을 경험하는 UE들을 위한 프리코딩 다중화 방법들과 (예컨대, eNodeB들로부터 멀리 떨어져서) 불량한 링크 품질을 갖는 UE들을 위한 빔포밍 또는 다이버시티 방법들 사이에 전환한다.

[0125] 1.1 LTE 표준 내에서의 다운링크 MU-MAS 시그널링 방법들

[0126] LTE 표준은 페루프 방식들에서 DL 시그널링을 위해 이용될 수 있는 다음과 같은 2가지 타입의 참조 신호(RS)를 정의한다[33,50,82-83]: i) 셀 특정 참조 신호(cell-specific reference signal, CRS); ii) 채널 상태 정보(CSI) 참조 신호(CSI-RS) 및 복조 RS(DM-RS)와 같은 UE 특정 RS. 셀 특정 RS는 프리코딩되지 않는 데 반해, UE 특정 RS는 프리코딩된다[50]. CRS는 모든 셀에서 최대 4개의 안테나를 가진 SU/MU-MIMO 코드북 기반 기법들을 이용하는 LTE 릴리스 8에서 이용된다. LTE-어드밴스드 릴리스 10은 최대 8개의 송신 안테나를 가진 비-코드북 기반의 SU/MU-MIMO 방식들뿐만 아니라 상이한 셀들에 걸쳐 분산된 안테나들을 가진 CoMP 방식들도 지원한다. 이와 같이, 릴리스 10은 CSI-RS를 통해 보다 융통성 있는 시그널링 방식들을 허용한다. 본 발명에서는, 양쪽 타입의 시그널링 방식들이 프리코딩을 가능하게 하기 위해 어떻게 MU-MAS 시스템들에서 이용될 수 있는지에 대해 설명한다.

[0127] 1.1.1 CRS를 이용한 MU-MAS 시그널링

[0128] CRS는 BTS에 있는 모든 송신 안테나로부터 UE로의 CSI를 추정하기 위해 LTE (릴리스 8) 시스템들에서 이용된다[80,84]. CRS는 2차원 직교 시퀀스와 2차원 의사 난수(pseudo-random numerical, PRN) 시퀀스의 곱으로 얻어진다. 총 504개의 상이한 CRS 시퀀스에 대해, 3개의 직교 시퀀스(즉, OFDM 부반송파들의 직교 세트들에 배치된 것) 및 168개의 가능한 PRN 시퀀스가 있다. 모든 시퀀스가 하나의 셀을 고유하게 식별한다. 이전의 세부 섹션에서 설명한 바와 같이, 3개의 직교 CRS 각각은 상이한 셀 ID를 생성하는 3개의 물리 계층 ID(0 내지 2) 중 하나와 관련된다. CRS는 모든 슬롯의 첫 번째 및 세 번째-마지막 OFDM 심벌 내에서, 그리고 6번째 부반송파마다 송신된다. UE가 송신 안테나들 각각으로부터의 CSI를 고유하게 추정하기 위해, BTS의 모든 송신 안테나마다 시간 및 주파수에서의 직교 패턴들이 설계된다. 릴리스 8은 MIMO 4×4 에서 이용되는 4개의 송신 안테나 각각에 대해 하나씩, CRS마다 최대 4개의 직교 패턴을 정의한다. 5% 오버헤드를 생성하는, 시간 및 주파수에서의 이러한 고밀도의 CRS(즉, 0.5 msec의 모든 슬롯에서, 그리고 6번째 부반송파마다 송신됨)는 시간 및 주파수에 걸쳐 채널 변화가 빠른 시나리오들을 지원하기 위해 의도적으로 설계되었다[83].

[0129] 릴리스 8에서는, 다중 안테나 모드들에 대해 각각 4개의 직교 패턴을 갖는 최대 3개의 직교 CRS(또는 단일 안테나 모드에 대해 6개의 직교 CRS)가 있으므로, CRS에 간섭을 야기하지 않고, 동일한 커버리지 지역 내의 최대 12개의 송신 안테나를 구별하는 것이 가능하다. 본 발명의 일 실시예에서, 도 10에서와 같이 안테나 클러스터(1001)는 3개의 안테나 서브클러스터(1005)로 나누어진다. 상이한 물리 계층 ID들(또는 셀 ID들)이 안테나 서브클러스터들 각각과 관련되고, 따라서 각각의 안테나 서브클러스터에는 4개의 직교 패턴을 갖는 3개의 직교 CRS 중 하나가 할당된다(즉, 각각의 안테나 서브클러스터는 다른 BTS들로부터의 CRS에 간섭을 야기하지 않고 최대 4개의 BTS를 지원할 수 있다). 이 실시예에서, 모든 클러스터는 CRS에 간섭을 야기하지 않고 최대 12개의

BTS를 지원할 수 있다.

- [0130] 12개보다 많은 BTS가 동일한 클러스터 내에 배치되어 있는 시나리오들에서는, 더 많은 수의 활성 BTS들(즉, UE들에 프리코딩된 신호들을 동시에 송신하는 BTS들)을 지원하기 위해 가용 직교 CRS의 수를 증가시키는 것이 바람직하다. 그것을 달성하는 한 가지 방법은 안테나 클러스터(1101)마다 3개보다 많은 안테나 서브클러스터(1003)를 정의하고 도 11에 도시된 바와 같이 반복 패턴으로 안테나 서브클러스터들(1103)에 동일한 3개의 물리 계층 ID(또는 0 내지 2의 셀 ID(1104))를 할당하는 것이다. 우리는 안테나 서브클러스터들이 상이한 형상들로 나올 수 있고, 모든 사용자 클러스터(1102)가 동일한 물리 계층 ID를 갖는 2개의 안테나 서브클러스터에 도달할 수 없도록 하는 방식으로 정의되고, 그렇게 함으로써 CRS에 대한 간섭을 방지한다는 것을 알고 있다. 예를 들어, 그것을 달성하는 한 가지 방법은 사용자 클러스터(1102)보다 큰 안테나 서브클러스터(1103)의 지역을 정의하고 인접한 안테나 서브클러스터가 동일한 물리 계층 ID를 사용하는 것을 피하는 것이다. 본 발명의 일 실시예에서, 다수의 안테나 서브클러스터가 그들 각각의 CRS들이 간섭하지 않도록 반복 패턴들로 동일한 안테나 클러스터 내에 배치되고, 그렇게 함으로써 12개보다 많은 BTS로부터의 동시 비간섭 송신들을 가능하게 한다.
- [0131] 실제 MU-MAS 시스템들에서는, 모든 UE가 그의 사용자 클러스터 내에서 단지 4개보다 많은 BTS를 보는 것이 사실일 수 있다. 예를 들어, 도 12는 미국 캘리포니아주 샌프란시스코 시내에서의 DIDO 또는 MU-MAS 시스템들의 실제 전개에 대한 SNR 분포를 보여준다. 이 전파 모델은 3GPP 경로 손실/쇄도잉 모델[81]에 기초하고 900 MHz의 반송파 주파수를 가정한다. 지도 내의 점들은 DIDO-BTS들의 위치를 지시하는 데 반해, 검은 원은 사용자-클러스터를 나타낸다(UE는 원의 중심에 위치하고 있음). 인구가 희박한 지역들(1201)에서는 UE가 그의 사용자 클러스터 내에서 소수의 BTS만을 보는 데 반해(예컨대, 도 12의 예에서는 3개만큼 적은 BTS가 있음), 인구가 조밀한 지역들(1202)에서는 각각의 사용자 클러스터가 도 12에서와 같이 26개만큼 많은 BTS를 포함할 수 있다.
- [0132] CRS의 높은 중복성(redundancy)은 MU-MAS들에서 4개보다 많은 임의의 수의 송신 안테나로부터의 CSI 추정을 가능하게 하는 데 활용될 수 있다. 예를 들어, 채널이 고정-무선이거나 낮은 도플러 효과로 특징지어진다면, 0.5 msec(슬롯 지속 기간)마다 4개의 송신 안테나 모두로부터의 CSI를 계산할 필요가 없다. 마찬가지로, 채널이 주파수 비선택적(frequency-flat)이라면, 6개 부반송파마다 CSI를 추정하는 것은 중복이다. 그 경우, 중복인 CRS가 차지하는 리소스 요소들(RE)은 MU-MAS에서 다른 송신 안테나들 또는 BTS들을 위해 재할당될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 시스템은 중복인 CRS의 리소스 요소들을 MU-MAS 시스템에서 추가의 안테나들 또는 BTS들에 할당한다. 다른 실시예에서, 시스템은 채널의 시간 및 주파수 선택도를 추정하고 상이한 BTS들 또는 단지 사용자-클러스터 내의 BTS들에 대한 CRS를 상이한 리소스 요소들에 동적으로 할당한다.
- [0133] 모든 사용자 클러스터에 포함된 BTS들의 수는 잡음 전력 레벨에 대한 사용자 클러스터 내의 모든 BTS로부터의 UE에서 측정된 신호 전력 레벨, 또는 신호 대 잡음비(SNR)에 의존한다. 일 실시예에서, UE는 그의 이웃에 있는 모든 BTS로부터의 SNR을 추정하고 그 SNR 정보에 기초하여 그의 사용자 클러스터에 속하는 BTS들을 선택한다. 다른 실시예에서, CP는 (UE들로부터의 피드백 정보 또는 UL/DL 채널 상호성을 가정하여, UL 채널로부터 얻어진 정보에 기초하여) BTS들로부터 모든 UE로의 SNR을 인지하고 모든 사용자 클러스터에 포함될 BTS들의 세트를 선택한다.
- [0134] 모든 사용자 클러스터에 포함된 BTS들의 수는 본 발명에서 기술된 MU-MAS 방법들의 성능을 결정한다. 예를 들어, 사용자 클러스터마다의 BTS들의 수가 낮다면, UE는 더 높은 레벨의 클러스터 외부 간섭을 경험하고, 그 결과 신호 대 간섭 플러스 잡음비(SINR)가 높아지고 데이터 레이트가 낮아진다. 유사하게, 모든 사용자 클러스터에 대해 많은 수의 BTS가 선택되면, 사용자 클러스터의 에지에서 BTS들로부터의 UE에서 측정된 SNR은 낮고 사용자 클러스터 외부의 인접한 BTS들로부터의 클러스터 외부 간섭에 의해 지배될 수 있다. 최고의 SINR 및 데이터 레이트를 생성하는 사용자 클러스터마다 최적의 수의 BTS가 있다. 본 발명의 일 실시예에서, CP는 UE에 대한 데이터 레이트 및 SINR을 최대화하기 위해 사용자 클러스터마다 최적의 수의 BTS를 선택한다. 본 발명의 다른 실시예에서, 사용자 클러스터마다의 BTS들은 전파 환경 또는 UE 이동성의 변화하는 조건들에 적응하도록 동적으로 선택된다.
- [0135] 사용자 클러스터마다 많은 수의 BTS를 이용하는 것의 또 다른 단점은 높은 계산 부하이다. 사실, 사용자 클러스터 내의 BTS가 많을수록 MU-MAS 프리코더의 계산 복잡도는 더 크다. 본 발명의 일 실시예에서, 사용자 클러스터마다의 BTS들은 SINR 또는 데이터 레이트 성능과 MU-MAS 프리코더의 계산 복잡도 사이의 최적의 트레이드오프를 달성하도록 선택된다. 다른 실시예에서, 사용자 클러스터마다의 BTS들은 MU-MAS에서 이용 가능한 계산 리소스들과 전파 조건들 사이의 트레이드오프들에 기초하여 동적으로 선택된다.
- [0136] 1.1.2 CSI-RS 및 DM-RS를 이용한 MU-MAS 시그널링

- [0137] LTE-어드밴스드(릴리스 10) 표준에서 CSI-RS는 모든 UE에 의해 BTS들로부터의 CSI를 추정하는 데 이용된다 [33,83]. 이 표준은 BTS에 있는 상이한 송신기들에 대한 직교 CSI-RS를 정의하고, 이에 따라 UE는 그 CSI를 상이한 BTS들과 구별할 수 있다. [33]의 표 6.10.5.2-1,2에서와 같이 BTS에서 최대 8개의 송신 안테나가 CSI-RS에 의해 지원된다. CSI-RS는 [33]의 표 6.10.5.3-1에서와 같이 5개 내지 80개 서브프레임 범위의 주기성을 가지고 전송된다(즉, CSI-RS는 5 내지 80 msec마다 전송된다). LTE-어드밴스드에서의 CSI-RS의 주기성은 제어 정보의 과도한 오버헤드를 피하기 위해, 특히 이러한 추가의 리소스들을 이용하지 못하는 레거시 LTE 단말기들을 위해, LTE에서의 CRS보다 의도적으로 더 크게 설계되었다. CSI 추정을 위해 이용되는 다른 참조 신호는 복조 RS(DM-RS)이다. 이 DM-RS는 특정의 UE에 의도되고 해당 UE로의 송신을 위해 할당된 리소스 블록에서만 송신되는 복조 참조 신호이다.
- [0138] 8개(LTE-어드밴스드 표준에 의해 지원되는 송신기의 최대 수)보다 많은 안테나가 사용자-클러스터 내에 있을 때, LTE-어드밴스드 표준에 대한 시스템 준수를 유지하면서 DIDO 프리코딩을 가능하게 하는 대안의 기법들이 이용되어야 한다. 본 발명의 일 실시예에서는, 모든 UE가 그 자신의 사용자-클러스터 내의 모든 활성 BTS로부터의 CSI를 추정하기 위해 CSI-RS 또는 DM-RS 또는 이 둘의 조합을 이용한다. 동일한 실시예에서, DIDO 시스템은 사용자-클러스터 내의 BTS의 수를 검출하고 사용자-클러스터가 (최대 8개의 안테나를 지원하는) LTE-어드밴스드 표준을 준수하고 있는지 여부를 알아낸다. 만약 준수하고 있지 않다면, DIDO 시스템은 BTS들로부터 현재의 UE로의 DL 시그널링을 가능하게 하는 대안의 기법들을 이용한다. 일 실시예에서, BTS들로부터의 송신 전력은 최대 8개의 BTS가 그의 사용자-클러스터 내의 UE에 의해 도달 가능할 때까지 감소된다. 그러나, 이 솔루션은 커버리지가 감소될 것이므로 데이터 레이트의 감소를 야기할 수 있다.
- [0139] 또 하나의 솔루션은 사용자-클러스터 내의 BTS들을 서브세트들로 나누고 한 번에 서브세트마다 한 세트의 CSI-RS를 전송하는 것이다. 예를 들어, CSI-RS 주기성이 [33]의 표 6.10.5.3-1에서와 같이 5개 서브프레임(즉, 5 msec)이면, 5 msec마다 CSI-RS는 BTS들의 새로운 서브세트로부터 전송된다. 이 솔루션은 CSI-RS 주기성이 (UE의 도플러 속도의 함수인) UE의 채널 코히런스 시간(channel coherence time) 내에 모든 BTS 서브세트를 커버할 만큼 짧기만 하면 유효하다는 점에 유의한다. 예를 들어, 선택된 CSI-RS 주기성이 5 msec이고 채널 코히런스 시간이 100 msec라면, 각각 8개 BTS의 최대 20개의 BTS 서브세트를 정의하여, 최대 총 160개의 BTS를 사용자-클러스터 내에 추가하는 것이 가능하다. 본 발명의 다른 실시예에서, DIDO 시스템은 UE의 채널 코히런스 시간을 추정하고, 채널 변화 및 도플러 효과로 인한 성능 저하를 피하기 위해, 주어진 CSI-RS 주기성에 대해 사용자-클러스터 내에서 몇 개의 BTS가 지원될 수 있는지를 결정한다.
- [0140] 지금까지 제안된 CSI-RS에 대한 솔루션들은 모두 LTE 표준을 준수하고 종래의 LTE 시스템들의 프레임워크 내에서 전개될 수 있다. 예를 들어, 사용자-클러스터마다 8개보다 많은 안테나를 허용하는 제안된 방법은 UE LTE 하드웨어 및 소프트웨어 구현의 수정을 요구하지 않고, 임의의 주어진 시간에 BTS들의 서브세트의 선택을 가능하게 하기 위해 BTS들 및 CP에서 이용되는 프로토콜들의 약간의 수정만을 요구할 것이다. 이러한 수정들은 DIDO 및 MU-MAS 시스템들을 위한 하나의 유망한 전개 패러다임인, 클라우드 기반 소프트웨어 정의 무선 (software defined radio, SDR) 플랫폼에서 쉽게 구현될 수 있다. 대안으로는, UE들이 완전히 LTE를 준수하는 모드에서, 또는 LTE를 준수하지 않는 DIDO 또는 MU-MAS 동작을 지원하는 수정된 모드에서 동작할 수 있게 하기 위해, LTE 표준의 제약들을 완화하고 LTE UE들이 유사하지만 LTE를 준수하지 않는 DIDO 또는 MU-MAS 동작 모드들을 지원하도록 약간 수정된 하드웨어 및 소프트웨어를 개발하는 것이 가능하다. 예를 들어, 이는 또 하나의 솔루션이 시스템에서 더 많은 수의 BTS를 가능하게 하기 위해 CSI-RS의 양을 증가시키는 것을 가능하게 할 것이다. 본 발명의 다른 실시예에서는, 사용자-클러스터마다 지원되는 BTS의 수를 증가시키는 수단으로서 상이한 CSI-RS 패턴들 및 주기성들이 허용된다. LTE 표준에 대한 이러한 약간의 수정들은 기존의 LTE UE 칩셋들이 단순히 소프트웨어 수정으로 이용될 수 있을 만큼 작을 수 있다. 또는, 칩셋들에 대해 하드웨어 수정이 요구된다면, 그 변경은 작을 것이다.
- [0141] **1.2 LTE 표준 내에서의 업링크 MU-MAS CSI 피드백 방법들**
- [0142] LTE 및 LTE-어드밴스드 표준들에서, UE는 그의 현재의 채널 상태뿐만 아니라 DL 채널을 통한 페루프 송신을 위한 프리코딩 가중치들을 전달하기 위해 BTS에 정보를 피드백한다. 다음과 같은 3개의 상이한 채널 지시자가 그 표준들에 포함되어 있다[35]:
- [0143]  랭크 지시자(Rank indicator, RI): 이것은 주어진 UE에 몇 개의 공간 스트림이 송신되는지를 지시한다. 이 수는 항상 송신 안테나의 수 이하이다.

- [0144] 프리코딩 행렬 지시자(Precoding matrix indicator, PMI): 이것은 DL 채널을 통한 프리코딩에 이용되는 코드북의 인덱스이다.
- [0145] 채널 품질 지시자(Channel quality indicator, CQI): 이것은 주어진 채널 상태에 대해 사전 정의된 오류율 성능을 유지하기 위해 DL을 통하여 이용될 변조 및 순방향 오류 정정(forward error correction, FEC) 코딩 방식을 정의한다.
- [0146] 대역폭 전체에 대해 하나의 RI만이 보고되는 데 반해, PMI 및 CQI 보고는, 채널의 주파수 선택도에 따라, 광대역이거나 부대역마다일 수 있다. 이들 지시자는 UL에서 다음과 같은 2가지 상이한 타입의 물리 채널을 통하여 송신된다: i) 제어 정보만을 위해 이용되는, 물리 업링크 제어 채널(physical uplink control channel, PUCCH); ii) 하나의 리소스 블록(RB)을 통하여 그리고 서브-프레임 기반으로 할당되는, 데이터와 제어 정보 모두를 위해 이용되는, 물리 업링크 공유 채널(physical uplink shared channel, PUSCH). PUCCH에서는, RI, PMI 및 CQI를 보고하는 절차가 주기적이고 그 지시자들은 광대역이거나(주파수 비선택적 채널들에 대해) 부대역 기반으로 UE 선택적일 수 있다(주파수 선택적 채널들에 대해). PUSCH에서는, 피드백 절차는 비주기적이고 부대역 기반으로 UE 선택적이거나(주파수 선택적 채널들에 대해) 상위 계층 구성의 부대역일 수 있다(예컨대, 8개의 송신기를 가진 LTE-어드밴스에서 송신 모드 9에 대해).
- [0147] 본 발명의 일 실시예에서, DIDO 또는 MU-MAS 시스템은 그것의 현재의 채널 상태뿐만 아니라 프리코딩 정보를 BTS들 및 CP에 보고하기 위해 RI, PMI 및 CQI를 이용한다. 일 실시예에서, UE는 그 지시자들을 CP에 보고하기 위해 PUCCH 채널을 이용한다. 다른 실시예에서, DIDO 프리코딩을 위해 더 많은 수의 지시자가 필요한 경우에, UE는 추가의 지시자들을 CP에 보고하기 위해 PUSCH를 이용한다. 채널이 주파수 비선택적인 경우, UE는 DIDO 시스템들에서 더 많은 수의 안테나에 대한 PMI를 보고하기 위해 추가 UL 리소스들을 활용할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, UE 또는 BTS들 또는 CP는 채널 주파수 선택도를 추정하고, 채널이 주파수 비선택적인 경우, UE는 더 많은 수의 BTS에 대한 PMI를 보고하기 위해 추가 UL 리소스들을 활용한다.
- [0148] **2. LTE에서의 다운링크 개루프 MU-MAS 프리코딩 방법들**
- [0149] 개루프 MU-MAS 프리코딩 방식들은 RF 교정을 이용하고 채널 상호성을 활용하는 시분할 이중 방식(TDD) 시스템들에서만 이용될 수 있다. MU-MAS들에서 개루프 방식들의 일반적인 메커니즘은 다음에 언급한 것들로 이루어져 있다: i) UE들은 UL을 통하여 BTS들 또는 CTR들에 시그널링 정보를 전송한다; ii) BTS들 또는 CTR들은 그 시그널링 정보를 활용하여 모든 UE들로부터의 UL CSI를 추정한다; iii) BTS들 또는 CTR들은 RF 교정을 이용하여 UL CSI를 DL CSI로 변환한다; iv) BTS들 또는 CTR들은 BSN을 통해 DL CSI 또는 코드북 인덱스를 CP에 전송한다; v) 그 DL CSI에 기초하여, CP는 DL을 통한 데이터 송신을 위한 프리코딩 가중치들을 계산한다. 페루프 MU-MAS 프리코딩 방식들과 유사하게, UE들로부터의 BTS들에서 추정될 CSI의 양을 줄이기 위해 사용자 클러스터들이 이용될 수 있고, 그렇게 함으로써 BTS들에서의 계산 부담뿐만 아니라 UL을 통하여 요구되는 시그널링의 양도 감소시킨다. 본 발명의 일 실시예에서는, DL 채널을 통하여 BTS들로부터 UE들로 동시 비간섭 데이터 스트림들을 전송하기 위해 개루프 프리코딩 기법들이 이용된다.
- [0150] LTE에는 업링크 채널에 대한 다음과 같은 2가지 타입의 참조 신호가 있다[31,33,87]: i) 스케줄링 및 링크 적응을 위해 이용되는, 사운드링 참조 신호(sounding reference signal, SRS); ii) 데이터 수신을 위해 이용되는, 복조 참조 신호(demodulation reference signal, DMRS). 본 발명의 일 실시예에서, DMRS는 개루프 프리코딩 시스템들에서 모든 UE로부터 모든 BTS로의 UL 채널들을 추정하는 데 이용된다. 시간 영역에서는, DMRS는 (지속 기간이 0.5 msec인) 모든 LTE 슬롯의 네 번째 OFDM 심벌에서 전송된다(정규 순환 프리픽스(normal cyclic prefix)가 이용되는 경우). 주파수 영역에서는, PUSCH를 통하여 전송된 DMRS는 모든 UE마다 해당 UE에 의해 UL 데이터 송신을 위해 이용되는 동일한 리소스 블록(RB)에 매핑된다.
- [0151] DMRS의 길이는 $M^{RS} = mN^{RB}$ 이고, 여기서 m은 RB의 수이고 $N^{RB} = 12$ 는 RB마다 부반송파의 수이다. 다수의 UE를 지원하기 위해, 하나의 베이스 자도프-추[88] 또는 컴퓨터 생성 일정 진폭 제로 자기상관(constant amplitude zero autocorrelation, CG-CAZAC) 시퀀스로부터, 베이스 시퀀스의 12개의 가능한 순환 시프트를 통해 최대 12개의 DMRS가 생성된다. 베이스 시퀀스들은 30개 그룹으로 나누어지고 이웃 LTE 셀들이 셀 간 간섭을 줄이기 위해 상이한 그룹들로부터의 DMRS를 선택한다. 예를 들어, 하나의 OFDM 심벌 내의 리소스 블록의 최대 수가 110이라면(즉, 20 MHz 전체 신호 대역폭을 가정하여), 최대 $110 \times 30 = 3300$ 개의 상이한 시퀀스를 생성하는 것이 가능하다. 우리는 30개의 베이스 시퀀스는 적교이도록 보장되지 않고, 그것을 완전히 제거하지 않고, 셀들 간의 간섭을 줄이도록 설계된다는 것을 알고 있다. 이와 대조적으로, 동일한 베이스 시퀀스의 12개의 순환 시프트는

직교이고, 그렇게 함으로써 최대 12개의 UE가 간섭 없이 동일한 RB를 통해 UL에서 송신하는 것을 허용한다. 모든 UE에 의해 사용될 순환 시프트의 값은 PDCCH를 통해 송신되는 다운링크 제어 정보(DCI) 메시지를 통하여 BTS에 의해 제공된다. 릴리스 8에서의 DCI는 3 비트로 이루어지고, 이는 UE가 12개의 가능한 옵션의 풀에서 최대 8개의 순환 시프트의 값만을 이용하는 것을 가능하게 한다.

[0152] 베이스 DMRS 시퀀스의 순환 시프트들은 UL 채널을 통해 MU-MIMO 방식들을 가능하게 하기 위해서뿐만 아니라 TDD 모드에서 채널 상호성이 활용될 때 DL 프리코딩을 위해 다수의 UE로부터의 CSI를 추정하기 위해 본 발명에서 활용된다. 본 발명의 일 실시예에서는, DL 채널을 통하여 분산된 BTS들로부터 UE들로 동시 비간섭 데이터 스트림들을 송신하기 위해 개루프 프리코딩 방법들이 이용된다. 본 발명의 상이한 실시예에서는, UL 채널을 통하여 UE들로부터 BTS들로 동시 비간섭 데이터 스트림들을 수신하기 위해 개루프 MU-MIMO 방법들이 이용된다. 모든 활성 UE들로부터 UL을 통하여 추정된 동일한 CSI는 UL에서 MU-MIMO 동작을 위한 수신기 공간 필터뿐만 아니라 DL 프리코딩을 위한 가중치들을 계산하는 데 이용될 수 있다. 릴리스 8은 최대 8개의 직교 DMRS들만 정의하므로(전술한 바와 같이, 제한된 DCI 비트들 때문에), UL 채널을 위한 MU-MIMO 방식들과 DL 채널을 위한 MU-MAS 프리코딩 방식들은, 모든 UE들이 전체 UL 대역폭을 이용하는 것을 가정하여, 최대 8개의 UE를 지원할 수 있다.

[0153] UL에서의 MU-MIMO 또는 DL에서의 MU-MAS 프리코딩을 통하여 서빙되는 동시 UE들의 수를 증가시키는 한 가지 방법은 주파수 영역을 통하여 UE들의 DMRS를 다중화하는 것이다. 예를 들어, TDD 모드에서 10 MHz 대역폭이 이용된다면, UE들에 할당될 수 있는 50개 RB가 존재한다. 이 경우, 25개 인터리빙된 RB가 8개의 UE의 한 세트에 할당되고 나머지 25개 인터리빙된 RB가 UE들의 다른 세트에 할당될 수 있어, 총 16개 UE가 동시에 서빙될 수 있다. 그 후, CSI는 인터리빙된 RB들을 통해 송신된 DMRS로부터의 추정치들을 보간하는 것에 의해 계산된다. UL RB들의 인터리빙 패턴들의 수를 증가시키는 것에 의해 더 많은 수의 동시 UE가 지원될 수 있다. 이러한 패턴들은 정적으로 또는 특정 주파수 호핑 시퀀스에 따라 동적으로 상이한 UE들에 할당될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, MU-MIMO 또는 MU-MAS 프리코딩을 통해 지원될 UE들의 수를 증가시키기 위해 직교 인터리빙된 RB들을 통하여 DMRS들이 UE들에 할당된다. 동일한 실시예에서, 인터리빙된 RB들은 정적으로 할당된다. 다른 실시예에서, 인터리빙된 RB들은 특정 주파수 호핑 패턴에 따라 동적으로 할당된다.

[0154] 대안의 솔루션은 시간 영역에서 상이한 UE들의 DMRS를 다중화하는 것이다. 예를 들어, UE들은 상이한 그룹들로 나누어지고 그 그룹들에 대한 DMRS들은 연속 타임 슬롯들(각각 지속 기간이 0.5 msec임)을 통하여 전송된다. 그러나, 이 경우, 상이한 그룹들에 대한 DMRS 할당의 주기성은 가장 빨리 이동 중인 UE의 채널 코히런스 시간보다 낮은 것을 보장할 필요가 있다. 사실, 이것은 모든 UE에 대해 DMRS를 통해 CSI가 추정되는 시간으로부터 시스템이 DIDO 프리코딩을 통해 UE들에 DL 데이터 스트림들을 송신하는 시간까지 채널이 달라지지 않는 것을 보장하기 위한 필요 조건이다. 본 발명의 일 실시예에서, 시스템은 활성 UE들을 그룹들로 나누고 연속 타임 슬롯들을 통하여 동일한 세트의 DMRS를 각각의 그룹에 할당한다. 동일한 실시예에서, 시스템은 모든 활성 UE에 대한 최단 채널 코히런스 시간을 추정하고 그 정보에 기초하여 UE 그룹의 최대 수뿐만 아니라 DMRS 시간 다중화의 주기성도 계산한다.

[0155] 또 다른 솔루션은 DMRS들의 동일한 세트를 이용하는 UE들의 상이한 그룹들을 공간적으로 분리하는 것이다. 예를 들어, 직교 DMRS들의 동일한 세트가 동일한 셀 ID에 의해 식별된 도 11의 상이한 안테나 서브클러스터들로부터의 모든 UE들을 위해 이용될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 직교 DMRS들의 동일한 세트를 이용하는 UE들의 그룹들은 해당 그룹들 사이의 간섭을 피하기 위해 공간적으로 분리된다. 동일한 실시예에서, 직교 DMRS들의 동일한 세트가 동일한 셀 ID에 의해 식별된 상이한 안테나 서브클러스터들에 의해 이용된다. MU-MAS는 UL에서 이용될 수 있는 DMRS의 수를 최대화하기 위해 UE들을 "가상 셀들"에 할당할 수 있다. 하나의 예시적인 실시예에서, 가상 셀은 UE 주위의 코히런스 지역(발명의 명칭이 "무선 시스템에서 코히런스 지역들을 활용하는 시스템 및 방법(Systems and Methods to Exploit Areas of Coherence in Wireless Systems)"인 공히 계류 중인 관련 미국 출원 제13/232,996호에 기술됨)이고, DIDO 시스템은 상이한 UE들에 대해 최대 3300개 코히런스 지역을 생성한다. 본 발명의 다른 실시예에서는, 인접한 안테나 클러스터들 간의 클러스터 간 간섭을 줄이기 위해 30개 베이스 시퀀스 각각이 상이한 안테나 클러스터에 할당된다(클러스터들은 발명의 명칭이 "신호 세기 측정에 기초하여 DIDO 간섭 제거를 조정하기 위한 시스템 및 방법(System And Method For Adjusting DIDO Interference Cancellation Based On Signal Strength Measurements)"인 2012년 5월 1일자로 허여된 관련 미국 특허 제8,170,081호에 정의되어 있다).

[0156] 3. LTE에서의 업링크 MU-MAS 방법들

[0157] 본 발명은 UL 채널을 통하여 개루프 MU-MIMO 방식들을 이용하여 모든 UE로부터 BTS들로의 동시 UL 데이터 스트

를 수신한다. UL 개루프 MU-MIMO 방식은 다음의 단계들로 이루어져 있다: i) UE들은 시그널링 정보 및 데이터 페이로드를 모든 BTS에 전송한다; ii) BTS들은 시그널링 정보를 이용하여 모든 UE로부터의 채널 추정치들을 계산한다; iii) BTS들은 채널 추정치들 및 데이터 페이로드들을 CP에 전송한다; iv) CP는 채널 추정치들을 이용하여 공간 필터링을 통해 모든 UE의 데이터 페이로드들로부터 채널 간 간섭을 제거하고 모든 UE로부터의 데이터 스트림들을 복조한다. 일 실시예에서, 개루프 MU-MIMO 시스템은 단일 반송파 주파수 분할 다중 접속(single-carrier frequency division multiple access, SC-FDMA)을 이용하여 UE들로부터 BTS들로의 UL 채널들의 수를 증가시키고 이들을 주파수 영역에서 다중화한다.

[0158] 일 실시예에서는, DL로부터의 시그널링을 통해 UE들 간의 동기화가 달성되고, 모든 BTS는, 일 실시예에서 GPSDO를 통한, 공통 시간/주파수 기준의 공유 또는 동일한 클럭으로의 직접 배선 중 어느 하나를 통해, 동일한 시간/주파수 기준 클럭에 고정된 것으로 가정한다. 상이한 UE들에서의 채널 지연 확산의 변화들은 상이한 UE들의 시간 기준들 간에 지터(jitter)를 발생시킬 수 있고, 이는 UL을 통한 MU-MIMO 방법들의 성능에 영향을 줄 수 있다. 일 실시예에서는, 상이한 UE들 간에 상대적 전파 지연 확산을 줄이기 위해 동일한 안테나 클러스터 내의 UE들(예컨대, 서로 아주 근접해 있는 UE들)만이 MU-MIMO 방법들을 이용해 처리된다. 다른 실시예에서는, BTS들에서의 상이한 UE들로부터의 데이터 페이로드들의 동시 수신을 보장하기 위해 UE들 간의 상대적 전파 지연들이 UE들에서 또는 BTS들에서 보상된다.

[0159] UL을 통한 데이터 복조를 위한 정보의 시그널링을 가능하게 하는 방법들은 이전 섹션에서 기술된 다운링크 개루프 DIDO 방식에서의 시그널링에 이용된 동일한 방법들이다. CP는 UE들의 데이터 페이로드들로부터 채널 간 간섭을 제거하기 위해 상이한 공간 처리 기법들을 이용한다. 본 발명의 일 실시예에서, CP는 최대 우도(maximum likelihood, ML), 결정 피드백 등화(decision feedback equalization, DFE) 또는 연속 간섭 제거(successive interference cancellation, SIC) 수신기들과 같은 비선형 공간 처리 방법들을 이용한다. 다른 실시예에서 CP는 동일 채널 간섭(co-channel interference)을 제거하고 업링크 데이터 스트림들을 개별적으로 복조하기 위해 제로 포싱(zeros-forcing, ZF) 또는 최소 평균 제곱 오차(minimum mean squared error, MMSE) 수신기들과 같은 선형 필터들을 이용한다.

[0160] 4. 기존의 LTE 네트워크들과의 통합

[0161] 미국과 세계의 다른 지역들에서는, LTE 네트워크들이 이미 운용중이거나 전개되는 과정에 있고/있거나 전개되기로 약속되어 있다. LTE 운용자들이 자신의 기존의 또는 이미 약속된 전개들에 DIDO 또는 MU-MAS 능력을 점차적으로 전개할 수 있다면 LTE 운용자들에게 상당히 유익할 것이다. 이렇게 하여, 그들은 가장 즉각적인 이익을 제공하게 될 지역들에 DIDO 또는 MU-MAS를 전개하고, 더 많은 자신의 네트워크를 커버하도록 DIDO 또는 MU-MAS 능력을 점차적으로 확장시킬 수 있다. 조만간, 그들이 한 지역에서 충분한 DIDO 또는 MU-MAS 커버리지를 갖게 되면, 그들은 셀들을 이용하는 것을 완전히 중단하고, 대신에 완전히 DIDO 또는 MU-MAS로 전환하여 훨씬 낮은 비용으로 훨씬 높은 스펙트럼 밀도를 달성하기로 선택할 수 있다. 셀룰러로부터 DIDO 또는 MU-MAS로의 이러한 전체적인 이행 동안 내내, LTE 운용자의 무선 고객들은 결코 서비스의 손실을 보지 않을 것이다. 오히려, 이들은 단지 자신의 데이터 처리량과 신뢰성이 개선되는 것을 볼 것이고, 한편 운용자는 그의 비용들이 감소하는 것을 볼 것이다.

[0162] 기존의 LTE 네트워크들의 DIDO 또는 MU-MAS의 점차적인 통합을 가능하게 할 여러 실시예가 있다. 모든 경우에, DIDO 또는 MU-MAS를 위한 BTS들은 DIDO-LTE BTS들이라고 불릴 것이고 전술한 LTE 호환 DIDO 또는 MU-MAS 실시예들, 또는 미래에 개발될 수 있는 것과 같은 다른 LTE 호환 실시예들 중 하나를 이용할 것이다. 또는, DIDO-LTE BTS들은 전술한 것들과 같은 LTE 표준의 약간의 변형을 이용할 것이고, UE들은 업데이트되거나(예컨대, 소프트웨어 업데이트가 UE를 DIDO 또는 MU-MAS 호환되도록 수정하기에 충분할 경우), 또는 DIDO 또는 MU-MAS 호환되는 새로운 세대의 UE들이 전개될 것이다. 어느 경우에서도, LTE 표준의 제약 내에 있거나, LTE 표준의 변형으로서 DIDO 또는 MU-MAS를 지원하는 새로운 BTS들은 아래에서 DIDO-LTE BTS들이라고 불릴 것이다.

[0163] LTE 표준은 다양한 채널 대역폭들(예컨대, 1.4, 3, 5, 10, 15 및 20 MHz)을 지원한다. 일 실시예에서, 기존의 LTE 네트워크를 가진 운용자는 LTE-DIDO BTS들을 위한 새로운 대역폭을 할당할 것이거나, 하나의 스펙트럼 블록에서는 셀룰러 구성의 종래의 LTE BTS들을 지원하고 또 하나의 스펙트럼 블록에서는 DIDO LTE BTS들을 지원하기 위해 기존의 LTE 스펙트럼을 세분화할 것이다(예컨대, 20 MHz가 2개의 10 MHz 블록으로 세분될 수 있다). 사실상, 이것은 2개의 별개의 LTE 네트워크를 확립할 것이고, UE 디바이스들은 하나 또는 다른 하나의 네트워크를 사용하거나, 둘 사이에 선택하도록 구성될 것이다. 세분화된 스펙트럼의 경우에, 스펙트럼은 종래의 LTE 네트워크와

DIDO-LTE BTS 네트워크 사이에 고르게 나누어지거나, 고르지 않게, 셀룰러 LTE BTS 및 DIDO-LTE BTS 전개의 레벨 및/또는 UE 사용 패턴들을 고려해볼 때 어느 네트워크든 가장 잘 이용할 수 있는 네트워크에 더 많은 스펙트럼이 할당될 수 있다. 이러한 세분은 시간이 흐르면서 필요에 따라 변할 수 있고, 소정 시점에, 셀룰러 BTS들과 동일하거나 더 나은 커버리지를 제공하기에 충분한 DIDO-LTE BTS들이 전개되어 있을 때, 모든 스펙트럼은 DIDO-LTE BTS들에 할당될 수 있고, 셀룰러 BTS들은 사용 중지될 수 있다.

[0164] 다른 실시예에서, 종래의 셀룰러 LTE BTS들과 DIDO-LTE BTS들이 동일한 스펙트럼을 공유하지만, 교대로 그 스펙트럼을 사용하도록 종래의 셀룰러 LTE BTS들은 DIDO-LTE BTS들과 조정되도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 이들이 스펙트럼 사용을 동등하게 공유하고 있다면, 각각의 BTS 네트워크는 하나의 10 ms 프레임 시간을 교대로 이용할 것이다(예컨대, 하나의 10 ms 프레임은 셀룰러 LTE BTS를 위해, 다음에 하나의 10 ms 프레임은 DIDO-LTE BTS를 위해). 프레임 시간들은 동등하지 않은 간격으로도 세분될 수 있다. 이러한 간격 분열은 시간이 흐르면서 필요에 따라 변할 수 있고, 소정 시점에, 셀룰러 BTS들과 동일하거나 더 나은 커버리지를 제공하기에 충분한 DIDO-LTE BTS들이 전개되어 있을 때, 모든 시간은 DIDO-LTE BTS들에 할당될 수 있고, 셀룰러 BTS들은 사용 중지될 수 있다.

[0165] 본 발명의 다른 실시예에서, DIDO 또는 MU-MAS는 LTE 및 LTE-어드밴스드 네트워크들에서 스몰셀들로의 LOS 또는 NLOS 무선 백홀로서 이용된다. 스몰셀들이 LTE 네트워크들에 전개됨에 따라, DIDO 또는 MU-MAS는 그 스몰셀들의 고속 무선 백홀을 제공한다. 더 고속의 데이터 레이트에 대한 수요가 증가함에 따라, 무선 네트워크가 셀 간 간섭을 야기하지 않고 주어진 지역에 더 이상의 스몰셀이 추가될 수 없는 한계에 도달할 때까지 더 많은 스몰셀들이 네트워크에 추가된다. 본 발명의 동일한 실시예에서, DIDO-LTE BTS들이 점차적으로 스몰셀들을 대체하기 위해 사용되고, 그렇게 함으로써 셀 간 간섭을 활용하여 증가된 네트워크 용량을 제공한다.

[0166] 5. MU-MAS LTE 스케줄러

[0167] MU-MAS에서, 분산된 안테나들 또는 BTS들은 동시 프리코딩된 데이터 스트림들을 다수의 UE에 송신한다. 관련 특허들 및 출원들에 기술된 바와 같이, 동시 데이터 송신들을 가능하게 하기 위해 BTS들의 수는 UE들의 수와 같거나 그보다 커야 한다. 실제 전개들에서, UE들의 수는 BTS들의 수를 초과할 수 있다. 이 경우, 추가의 UE들은 특정 스케줄링 정책에 따라 상이한 타임 슬롯들 또는 주파수 대역들에서의 송신을 위해 선택될 수 있다. 스케줄러는 UE들의 채널 품질 정보를 활용하여 주어진 시간과 주파수에서 서비스를 받을 UE들의 최선 세트를 결정한다. 본 발명에서는, 비례 공정 스케줄러(proportional fair scheduler), 라운드-로빈(round-robin) 또는 그리디(greedy) 알고리즘들을 포함하는, 상이한 스케줄링 방법들이 이용된다.

[0168] 이전 섹션들에서 기술한 바와 같이, LTE 표준은 모든 UE의 링크 품질에 관해 스케줄러에게 통지하기 위해 다음과 같은 2개의 파라미터를 정의한다: CQI 및 SRS. CQI는 DL 채널의 품질을 측정하고 UE로부터 BTS로 피드백된다. SRS는 UL 채널 품질을 측정하기 위해 UE로부터 BTS로 송신되는 시그널링 정보이다. 양쪽 지시자들은 시간 및 주파수 영역들에 걸쳐 UL/DL 채널 품질의 정보를 제공한다. FDD 시스템들에서, DL 스케줄러는 CQI를 성능 측정치로 이용해야 하는데, 그 이유는 DL 및 UL 채널 품질은 상이한 반송파 주파수들로 인해 변할 수 있기 때문이다. TDD 모드에서, DL 스케줄러는 CSI 또는 SRS 또는 양자의 조합을 이용하여 그의 스케줄링 결정을 수행한다. 동일한 성능 척도들이 UL 스케줄링을 위해 이용될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, MU-MAS 스케줄러는 CQI 및 SRS를 스케줄링 알고리즘에 의해 이용되는 성능 척도들로 이용한다.

[0169] 본 발명에 기술된 MU-MAS는 종래 기술에 개시되지 않은 다음과 같은 하나의 부가의 채널 품질 지시자를 가능하게 한다: 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 시스템에서 공간 다이버시티를 향상시키는 시스템 및 방법(Systems and Methods to enhance spatial diversity in distributed-input distributed-output wireless systems)"인 관련 미국 출원 제13/475,598호에 기술된, 공간 선택도 지시자(spatial selectivity indicator, SSI). 이 SSI는 (UL/DL 채널 상호성을 적용하여) UL 채널로부터 또는 피드백 메커니즘들을 통해 모든 UE들로부터 얻어진 CSI에 기초하여 계산될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 스케줄러는 SSI를 성능 척도로 이용한다. SSI는 무선 링크에서 이용 가능한 공간 다이버시티의 측정치이다. SSI는 BTS들뿐만 아니라 UE들의 공간 특성들에 의존한다. 본 발명의 하나의 예시적인 실시예에서, 스케줄러는 모든 UE들로부터 SSI를 획득하고 특정 스케줄링 기준에 따라 "최적의" SSI로 UE들을 스케줄링한다. 활성 BTS들보다 더 많은 BTS들이 이용 가능하다면, 기술한 사용자 선택 기준은 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 시스템에서 공간 다이버시티를 향상시키는 시스템 및 방법(Systems and Methods to enhance spatial diversity in distributed-input distributed-output wireless systems)"인 관련 미국 출원 제13/475,598호에 기술된 안테나 선택 방법과 조합된다. 본 발명의 일 실시예에서, 스케줄러는 특정 스케줄링 기준에 기초하여 BTS들 및 UE들의 최적의 서브세트

를 선택한다.

[0170] 도 9, 도 10 및 도 11을 참조하여, 특정 시나리오들에서는 동일한 안테나 클러스터 또는 안테나 서브클러스터 내에 많은 수의 BTS들을 가능하게 하기에 충분한 직교 시그널링 시퀀스들이 없을 수 있다. 이 경우, 더 많은 수의 활성 UE들을 가진 지역들을 커버하기 위해 부가의 BTS들이 활성화된다면 일정 레벨의 간섭이 발생할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 스케줄러는 안테나 클러스터들 또는 안테나 서브클러스터들 간의 간섭의 레벨을 측정하고 무선 링크를 통해 해당 간섭의 효과를 최소화하도록 UE들을 스케줄링한다.

[0171] 발명의 명칭이 "분산 입력 분산 출력 무선 시스템에서 공간 다이버시티를 향상시키는 시스템 및 방법(Systems and Methods to enhance spatial diversity in distributed-input distributed-output wireless systems)"인 관련 미국 출원 제13/475,598호에 기술된 안테나 선택 알고리즘은 본 발명에서 SSI에 기초하여 활성 BTS들의 최적의 세트를 선택하기 위해 이용된다. 그러나, 이 안테나 선택 알고리즘은 SSI 성능 척도에 기초하여 최선의 서브세트에 대한 결정을 하기 전에 안테나 서브세트들의 모든 가능한 순열들에 대하여 MU-MAS 프로코딩 처리가 적용되어야 하므로 높은 계산 복잡도를 요구할 수 있다. 많은 수의 협력 BTS들을 가진 MU-MAS에서, 이러한 계산 부담은 실제 전개들에서 달성하기에는 많은 비용이 들거나 지지할 수 없는 것이 될 수 있다. 따라서 안테나 선택 방법의 양호한 성능을 유지하면서 안테나 서브세트들의 수를 줄이는 대안의 기법들을 개발하는 것이 바람직하다. 본 발명의 일 실시예에서, MU-MAS는 안테나 서브세트 ID 번호들의 큐잉(queueing)에 기초한 방법들을 이용하는데, 이 방법은 이후 "안테나 셔플링 방법(antenna shuffling method)"이라고 불린다. 본 발명의 일 실시예에서, 안테나 셔플링 방법은 모든 가능한 안테나 서브세트 ID들(즉, 가용한 BTS들의 주어진 세트에 대한 활성 BTS들의 모든 가능한 순열들)을 포함하는 큐를 상이한 그룹들로 세분하고 그 그룹들에 상이한 우선 순위들을 할당한다. 이들 그룹은 선택될 모든 서브세트 ID들에 공정한 기회들을 할당하도록 정의되지만, SSI 척도는 제한된 수의 서브세트들(예컨대, 가장 높은 우선 순위를 가진 것들)에 대해서만 계산되고 그렇게 함으로써 계산 복잡도가 감소한다. 하나의 예시적인 실시예에서, 서브세트 ID의 큐는 3개의 그룹으로 나누어지고, 여기서 각각의 그룹에는 다음과 같이 상이한 규칙이 할당된다: i) 그룹 #1은 더 높은 우선 순위를 가진 새로운 서브세트가 식별되는 경우에만 그 그룹으로부터 뽑히는 가장 높은 우선 순위를 가진 ID들을 포함하고; ii) 그룹 #2에서는 방법의 모든 반복에서 (그룹 #3으로부터 선택된) 새로운 안테나 서브세트들이 포함되고; iii) 그룹 #3에서는 안테나 서브세트 ID들이 라운드-로빈 정책에 따라 셔플링된다. 그룹 #2로부터의 서브세트 ID들에 그룹 #1로 업 그레이드될 기회를 주기 위해 그룹 #1 및 #2 내의 모든 서브세트 ID들은 이들의 우선 순위에 기초하여 방법의 각각의 반복에서 분류된다. SSI는 그룹 #1 및 #2 내의 서브세트들에 대해서만 계산되고 안테나 선택 알고리즘은 그 서브세트들에만 적용된다.

[0172] 6. MU-MAS LTE 사용자 장비

[0173] 본 발명은 LTE UE의 상이한 설계들로 구성된다. 일 실시예에서, UE는 전술하고 도 13에 도시된 것과 같은 프리 코딩을 이용하는 MU-MAS와 호환되는 LTE UE이다.

[0174] 상이한 실시예에서, 도 14에 도시된 바와 같이, UE(1401)는 제1 네트워크 인터페이스(1404)(예컨대, Wi-Fi, USB, 이더넷, 블루투스, 광섬유 등)를 통하여 상이한 디바이스들(1402 및 1403)에 연결되고 제2 네트워크 인터페이스(1405)를 통하여 MU-MAS에 연결된다. 도 14의 UE는 2개의 상이한 네트워크 인터페이스를 구비하고 있는데, 각각의 네트워크 인터페이스는 하나 또는 다수의 안테나로 구성된다(비록 대안의 실시예들에서는, 제1 네트워크 인터페이스(1404)가 안테나가 없는 유선 인터페이스일 수 있지만). 제1 네트워크 인터페이스의 안테나들은 원으로 표시되어 있는데 반해, 제2 네트워크 인터페이스의 안테나들은 삼각형으로 표시되어 있다. 동일한 실시예에서, 제2 네트워크 인터페이스는 MU-MAS 프리코딩, LTE 준수 프로토콜들을 가지고 구현된 MU-MAS, 또는 (LTE 준수 프로토콜들을 가지고 또는 LTE 준수 프로토콜들 없이 구현된) MU-MAS 및 대안의 네트워크를 지원한다. 동일한 실시예에서, 대안의 네트워크는 셀룰러 네트워크, LTE 네트워크 또는 Wi-Fi 네트워크이다. 동일한 실시예에서, UE는 MU-MAS 및/또는 대안의 네트워크 중 어느 하나 및/또는 양쪽 모두와 함께 동작하고, UE는 일부 기준들에 기초하여 MU-MAS 또는 대안의 네트워크 중 어느 하나를 선택한다. 동일한 실시예에서, 그 기준들은 다음과 같다: i) 하나의 네트워크만 이용 가능하고 선택되는지; ii) 하나의 네트워크가 더 나은 성능을 가지는지; iii) 하나의 네트워크가 더 경제적인지; iv) 하나의 네트워크가 덜 혼잡한지; v) 하나의 네트워크가 더 적은 UE 리소스들을 사용하는지.

[0175] 본 발명의 일 실시예에서, 도 15에 도시된 바와 같이 UE(1501)는 사용자 디바이스(1502)에 물리적으로 부착되는 케이스 안에 있다. 동일한 실시예에서, 이 케이스는 사용자 디바이스에 대한 장식용 부가물의 역할을 한다. 다른 실시예에서, 케이스는 사용자 디바이스를 물리적 손상으로부터 보호하는 역할을 한다. UE는 배터리

(1503), 및 하나 또는 다수의 네트워크 인터페이스(1504)로 구성된다.

[0176] 일 실시예에서, UE 전자 부품들은 케이스 내에 내장된다. 동일한 실시예에서, UE 전자 부품들은 배터리(1503)를 포함한다. 배터리는 물리적인 전기 접촉 또는 무선 접촉을 통하여 결합하는 전력 충전기를 포함한다. 예시적인 전력 결합들은 도전성, 유도성, RF, 광, 또는 열이지만, 전력 결합들은 이러한 접근 방법들에 제한되지 않는다. 동일한 실시예에서, UE 전자 부품들은 사용자 디바이스로부터 전력을 수신하도록 결합된다. 이 전력 결합은 물리적인 접촉을 통해 또는 유도성 또는 무선 접촉을 통해 이루어진다. 동일한 실시예에서, 사용자 디바이스는 MU-MAS UE로부터 전력을 수신하도록 결합된다. 이 결합은 물리적인 접촉을 통해 또는 유도성 또는 무선 접촉을 통해 이루어진다. 상이한 실시예에서, 동일한 전력 충전기가 사용자 디바이스와 MU-MAS UE 양자에게 전력을 공급한다.

[0177] 본 발명의 일 실시예에서, UE는 사용자 디바이스와 통신하도록 구성된다. 동일한 실시예에서, UE는 사용자 디바이스가 처음에 그에 연결될 수 있도록 리셋될 수 있고(예컨대, 스위치를 통해, 또는 전력을 제거하는 것에 의해), 연결이 확립되면, UE는 사용자 디바이스에 의해 구성될 수 있다. 이러한 구성은 개인 암호 및/또는 다른 보안 프로토콜들을 구성하는 것을 포함한다. 상이한 실시예에서, UE는 사용자 디바이스와 통신하도록 구성될 수단을 포함한다. 이러한 구성은 다른 디바이스에 대한 통신 포트 - 여기서 통신 포트는 USB임 - 를 통해, 또는 UE 상의 컨트롤들 및/또는 버튼들을 통해, 또는 디스플레이 - 여기서 버튼들 또는 터치 입력이 이용됨 - 를 통해 행해진다.

[0178] 다른 실시예에서, 동일한 RF 체인이 MU-MAS 통신을 위해서뿐만 아니라 대안의 네트워크를 위해 이용된다. 다른 실시예에서, 상이한 RF 체인이 MU-MAS 통신 및 대안의 네트워크를 위해 이용된다.

[0179] 7. 채널 상호성을 활용하는 무선 주파수(RF) 교정

[0180] 종래의 페루프 MU-MAS 방법들은 UL 채널을 이용하여 UE들로부터 BTS들 또는 CP로 (코드북 기반 제한 피드백 방식들에서와 같이) 양자화된 CSI 또는 코드북 인덱스들을 피드백한다. 그러나, 이 방식은 CSI 피드백 채널을 가능하게 하기 위해 큰 피드백 오버헤드와 높은 프로토콜 복잡성을 야기한다. 따라서, UL과 DL이 동일 주파수에 설정되는 TDD 시스템들에서는, UL/DL 채널 상호성을 활용함으로써 CSI 피드백을 피하는 것이 바람직하다. 실제 시스템들에서, BTS 또는 UE에서의 송신 및 수신 RF 체인들은 상이한 RF 구성 요소들 및 회로 레이아웃 때문에 전형적으로 상이한 특성들을 가진다. 따라서, UL/DL 상호성을 보존하기 위해서는 송신 체인과 수신 체인 간의 RF 부정합을 보상하기 위해 RF 교정 방법들을 이용할 필요가 있다.

[0181] 전형적인 무선 송수신기들에서의 RF 부정합에 대한 모델들이 [91]에서 기술되었고, 적응 디지털 빔포밍 시스템들의 성능에 대한 RF 부정합의 영향을 완화시키기 위한 하드웨어 솔루션들이 [92]에서 논의되었다. 다중 입력 다중 출력(MIMO) 시스템에서 RF 교정을 가능하게 하는 소프트웨어 기법들이 [93,94]에서 제안되었고, 다중 입력 단일 출력(MISO)에 대한 그리고 안테나 선택을 이용하는 시스템들에 대한 실험 결과들이 각각 [95] 및 [96]에서 제시되었다.

[0182] 그러나, 종래 기술은 모든 RF 체인들이 MIMO 시스템들에서와 같이 동일 회로 기판에 공동 배치되어 있다고 가정하고, 그렇게 함으로써 모든 RF 체인들 간의 RF 부정합에 관한 정보가 국부적으로 이용 가능하므로 RF 교정 문제를 단순화한다. 이와 대조적으로, 본 발명은 안테나들 사이의 통신이 네트워크를 통해서만 발생하도록 지리적으로 멀리 떨어져 배치된 분산된 안테나들로 이루어져 있다. 이 때문에, 우리는 분산된 안테나들을 가진 MU-MAS들에서 RF 교정을 가능하게 하도록 특별히 설계된 "비컨 스테이션"이라고 부르는 새로운 시스템 유닛을 정의한다. 더욱이, 종래 기술의 MIMO 시스템들에서는 동일 기판 상에 RF 체인들이 아주 근접해 있기 때문에 송신 체인/수신 체인 간에 상당한 RF 결합이 발생한다. 이와 대조적으로, 본 발명에서는, 동일한 분산된 안테나의 하나의 송신 체인과 하나의 수신 체인 간에만 RF 결합이 발생한다. 이 때문에, RF 교정을 위해 이용되는 기법들은 이하에서 증명하는 바와 같이 종래 기술에서 기술된 것들과 상당히 다르다. 마지막으로, 종래 기술에 개시된 RF 교정 방법들은 단일 사용자(예컨대, 단일 사용자 장비 디바이스)를 가진 시스템들로 제한되었다. 다음의 단락들에서의 도출들에서 제시된 바와 같이, 다수의 사용자들을 가진 시스템들(예컨대, MU-MAS들)은 RF 부정합에 특히 민감한데, 그 이유는 그것이 사용자 간 간섭을 가져오기 때문이다. 이에 따라, 후술하는 바와 같이, 채널 상호성을 활용하면서 RF 교정을 가능하게 하는 특별한 기법들이 이용되어야 한다.

[0183] 본 발명은 다수의 분산된 안테나, 다수의 사용자 장비 디바이스(UE) 및 하나 또는 다수의 비컨 스테이션으로 구성되는, 무선 주파수(RF) 교정을 이용하고 다운링크(DL) 채널과 업링크(UL) 채널 간의 상호성을 활용하는 MU-MAS로 이루어져 있다. 일 실시예에서, RF 교정은 UL 채널 추정들로부터 DL MU-MAS 프리코딩 가중치들을 계산하

기 위해 이용된다. 도 16은 분산된 안테나들(1601), 다수의 UE(1613), 하나의 비컨 스테이션(1619), 상기 분산된 안테나들을 연결하는 하나의 기지국 네트워크(BSN)(1607), 하나의 중앙 프로세서(CP)(1621) 및 비컨으로부터 CP로의 교정 제어 채널인 하나의 피드백 채널(1620)을 포함하는 시스템의 블록도를 보여준다.

[0184] 모든 분산된 안테나 유닛은 베이스밴드 유닛(1602), 송신 RF 체인(1603), 수신 RF 체인(1604), TDD 동작을 위해 송신/수신 RF 체인들을 동적으로 선택하는 RF 스위치 유닛(1605), 및 안테나(1606)로 이루어져 있다. 일 실시예에서, 베이스밴드 유닛은 베이스밴드 신호 처리 및 디지털-아날로그 변환기(DAC)를 포함한다. 다른 실시예에서, RF 신호가 모든 분산된 안테나로 (예컨대, RF 동축 케이블 또는 광섬유 RF(RF over fiber) 네트워크를 통해) 송신되도록 모든 베이스밴드 처리가 CP에서 수행된다. 모든 UE는 베이스밴드 유닛(1608), 송신/수신 RF 체인들(각각, 1609 및 1610), RF 스위치(1611) 및 안테나(1612)로 이루어져 있다. 비컨 스테이션은 베이스밴드 유닛(1614), 송신/수신 RF 체인들(각각, 1615 및 1616), RF 스위치(1617) 및 안테나(1618)로 이루어져 있다.

[0185] 분산된 안테나들과 UE들 사이의 무선 링크들은 차원 $M \times N$ 의 복소 가우시안 채널 행렬 $\mathbf{H}$ 로 모델링되고, 여기서 M 은 UE의 수이고 N 은 분산된 안테나의 수이다. 우리는 $\mathbf{H}_{DL}$ 를 DL 채널 행렬(1622)로 정의하고 $\mathbf{H}_{UL}$ 를 UL 채널 행렬(1623)로 정의한다. DL과 UL이 동일 반송파 주파수로 설정되는 한 채널 상호성이 성립된다. 이 경우, 다음과 같은 속성이 성립되고

[0186]
$$\mathbf{H}_{DL} = \mathbf{H}_{UL}^\dagger = \mathbf{H}$$

[0187] 여기서 심벌 $\dagger$ 는 전치 행렬 연산을 나타낸다.

[0188] 상기 모델은 단일 반송파 또는 다중 반송파 시스템들에 대해 성립된다. 다중 반송파 시스템들(예컨대, OFDM)에서 복소 행렬 $\mathbf{H}$ 는 하나의 부반송파의 채널을 나타내고, 동일 모델이 시스템의 임의의 부반송파로 확장된다. 도 16은 또한 차원 $N \times N$ 의 복소 채널 행렬들 $\mathbf{A}_T$ 및 $\mathbf{A}_R$ 로 각각 모델링된 분산된 안테나들에서의 송신 및 수신 RF 유닛들도 보여준다. 마찬가지로, UE들에서의 송신 및 수신 RF 유닛들은 차원 $M \times M$ 의 행렬들 $\mathbf{B}_T$ 및 $\mathbf{B}_R$ 에 의해 모델링된다. 분산된 안테나들을 가진 MU-MAS의 경우에, 분산된 안테나들 및/또는 UE들 사이의 RF 결합은 상대적 안테나 분리 때문에 무시해도 될 정도이고, 따라서 $\mathbf{A}_T$, $\mathbf{A}_R$, $\mathbf{B}_T$ 및 $\mathbf{B}_R$ 는 대각 행렬들로 표현된다. 우리는 이것이 분산된 안테나들 및 분산된 UE들을 가진 MU-MAS의 고유 특징이라는 것을 알고 있다. 이에 따라, 본 발명은 다중 입력 다중 출력(MIMO) 시스템들과 관련된 종래 기술에 비해 새롭다.

[0189] 도 16의 블록도에 기초하여, 우리는 (송신/수신 RF 유닛들 및 무선 링크들을 모델링하는) 유효 DL 채널 행렬을

[0190]
$$\bar{\mathbf{H}}_{DL} = \mathbf{B}_R \mathbf{H}_{DL} \mathbf{A}_T = \mathbf{B}_R \mathbf{H} \mathbf{A}_T$$

[0191] 로서 표현하고 유효 UL 채널 행렬을

[0192]
$$\bar{\mathbf{H}}_{UL} = \mathbf{A}_R \mathbf{H}_{UL} \mathbf{B}_T = \mathbf{A}_R \mathbf{H}^\dagger \mathbf{B}_T$$

[0193] 로서 표현한다. 본 발명에서, RF 교정은 UL 채널 추정들 $\bar{\mathbf{H}}_{UL}$ 의 행렬을 복소 RF 교정 행렬 $\mathbf{C}$ 와 다음과 같이 프리컨디셔닝(preconditioning)하는 것에 의해 얻어진다.

[0194]
$$\tilde{\mathbf{H}}_{DL} = (\mathbf{C} \bar{\mathbf{H}}_{UL})^\dagger$$

[0195] LTE 셀룰러 네트워크들을 포함하는 본 발명의 일 실시예에서, 유효 UL 채널은 모든 UE들로부터의 DMRS를 이용하여 eNodeB에서 추정된다.

[0196] 도 17에 도시된 바와 같이, 행렬 $\mathbf{C}$ 는 분산된 안테나(1701)들과 비컨 스테이션(1719) 사이의 DL $\bar{\mathbf{k}}_{DL}$ 채널(1722)및 UL $\bar{\mathbf{k}}_{UL}$ 채널(1723) 상호성을 가정하여,

[0197]
$$\bar{\mathbf{k}}_{DL} = \mathbf{D}_R \mathbf{k}_{DL} \mathbf{A}_T$$

[0198] 및

[0199]
$$\bar{\mathbf{k}}_{UL} = \mathbf{A}_R \mathbf{k}_{UL} \mathbf{D}_T$$

[0200] (여기서 $\mathbf{k}_{DL} = \mathbf{k}_{UL} = \mathbf{k}$ 는 열 벡터들임)로서 정의된, 모든 분산된 안테나(1701)와 비컨 스테이션(1719) 사이의 유효 DL 채널(1722)과 UL 채널(1723)로부터 계산된다. 일 실시예에서, 분산된 안테나들과 비컨 스테이션 사이의 DL 채널은 분산된 안테나들로부터 비컨으로 트레이닝 신호들을 송신하는 것에 의해 추정된다. LTE 셀룰러 네트워크들을 포함하는 하나의 예시적인 실시예에서, DL 시퀀스들 CRS, 또는 CSI-RS, 또는 DM-RS는 비컨에 의해 모든 eNodeB들로부터 유효 DL 채널을 추정하는 데 이용된다. 동일한 실시예에서, 비컨 스테이션과 분산된 안테나들 사이의 UL 채널은 비컨 스테이션으로부터 안테나들로 트레이닝 신호들을 송신하는 것에 의해 추정된다. 본 발명의 일 실시예에서, RF 교정 행렬의 추정을 개선하기 위해 다수의 비컨 스테이션이 이용된다. 본 발명에 서는, 분산된 안테나들 사이에 RF 결합이 없고, 따라서 RF 교정 행렬 $\mathbf{C}$ 는 대각 행렬이다.

[0201] 선형 프리코딩(예컨대, 체로-포싱[65], 블록-대각선화 또는 BD[66-67], 역행렬 등)이 이용되는 경우, m번째 UE에서 수신된 심벌은 다음과 같이 주어지고

$$r_m = \bar{\mathbf{h}}_{DL,m} \bar{\mathbf{w}}_{DL,m} s_m + \sum_{u=1, u \neq m}^M \bar{\mathbf{h}}_{DL,m} \bar{\mathbf{w}}_{DL,u} s_u + n_m$$

[0202] 여기서 $\bar{\mathbf{h}}_{DL,m}$ 는 유효 채널 행렬 $\bar{\mathbf{H}}_{DL}$ 의 m번째 행이고, $\bar{\mathbf{w}}_{DL,m}$ 는 $\bar{\mathbf{H}}_{DL}$ 에서 도출된 m번째 UE에 대한 프리코딩 벡터이고, s_m 는 m번째 UE로 전송된 심벌이고 n_m 은 m번째 UE에서의 백색 가우시안 잡음이다. 간략화를 위해, 상기 모델은 모든 UE에서 단일 수신 안테나를 가정하지만, 본 발명은 UE에서 임의의 수의 안테나로 확장된다. 전술한 RF 교정 방법이 이용될 때 모든 UE에서의 클라이언트 간 간섭은 송신기에서 사전 제거되어 다음과 같은 조건이 성립되는 것을 보여주는 것이 가능하고,

$$\bar{\mathbf{h}}_{DL,m} \bar{\mathbf{w}}_{DL,u} = \bar{\mathbf{h}}_{DL,m} \tilde{\mathbf{w}}_{DL,u} = 0, \quad \forall u = 1, \dots, M \text{ with } u \neq m$$

[0205] 여기서 $\tilde{\mathbf{w}}_{DL,u}$ 는 RF 교정된 채널 행렬 $\tilde{\mathbf{H}}_{DL}$ 에서 도출된 프리코딩 가중치 벡터이다. 일 실시예에서, 프리코딩 가중치들은 모든 UE에서 클라이언트 간 간섭을 사전 제거하기 위해 RF 교정된 채널 행렬로부터 계산된다. 도 18은 다음과 같은 3개의 시나리오에 대한 주파수 비선택적 채널들에서 BD 프리코딩 및 4-QAM 변조를 이용하는 MU-MAS의 심벌 오류율(SER) 성능을 보여준다: i) RF 부정합이 없음; ii) 교정이 없는 RF 부정합; iii) 교정이 있는 RF 부정합. 우리는 본 발명의 RF 교정 방법이 SER을 이상적인 성능(즉, RF 부정합이 없는 것)으로 감소시킨다는 것을 알고 있다.

[0206] 본 발명의 다른 실시예에서는, 모든 UE에서 클라이언트 간 간섭을 사전 제거하기 위해 비선형 프리코딩 방법들(예컨대, 더티-페이퍼 코딩[68-70] 또는 톰슨슨-하라시마 프리코딩 또는 THP[71-72], 래티스 기법 또는 트렐리스 프리코딩[73-74], 벡터 섭동 기법[75-76])이 RF 교정된 채널 행렬에 적용된다. 도 19는 RF 교정 및 UL/DL 상호성을 이용하여 비선형 프리코딩 기법들로 얻어진 SER은 선형 프리코딩의 성능과 일치하는 것을 보여준다. 도 20a는 UE 1에 대한 THP 모듈로 연산 전의 정상도를 보여주는 반면, 도 20b는 2개의 분산된 안테나 및 2개의 UE를 가진 MU-MAS에서 UE 2(THP 래티스 구조)에 대한 THP 모듈로 연산 전의 정상도를 보여준다. THP 프리코딩이 "기준-UE"에 대한 간섭을 완전히 제거하기 위해 설계되고 연속적인 간섭 제거 방식들을 다른 UE들에 적용한다. 이에 따라 기준-UE에 대한 SER 성능은 다른 UE들보다 나을 수 있을 것으로 예상된다. 일 실시예에서는, 모든 UE들에 대해 유사한 평균 SER 성능을 보장하기 위해 라운드-로빈 또는 비례 공정 스케줄링 또는 다른 유형의 스케줄링 기법들이 UE들에 적용된다.

[0207] BD 및 THP 방법들의 계산 성능은 모든 사용자 클러스터 내의 분산된 안테나들 및/또는 UE들의 수에 따라 달라질 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, MU-MAS는 모든 사용자 클러스터 내의 분산된 안테나들 및/또는 UE들의 수에 따라, 프리코더의 계산 복잡성을 최소화하기 위해 선형 프리코딩 기법과 비선형 프리코딩 기법 사이에 동적으로 전환한다.

[0208] 실제 MU-MAS들에서, 비컨 스테이션은 RF 교정을 위한 사용에 전용되는 무선 송수신기이다. 비컨은 교정 목적으로 모든 분산된 안테나들로부터 추정된 유효 DL 채널을 통신하기 위해 피드백 채널을 필요로 하므로, 비컨은 무선 또는 유선 링크를 통해 CP에 통신한다. 다른 실시예에서, 비컨 스테이션은 분산된 안테나들 중 임의의 안테나이고, 교정 파라미터들은 그 안테나에 관하여 계산된다. 동일한 실시예에서, 분산된 안테나들은 메시 네트워크에서와 같이 조직되고 양호한 링크 품질을 보장하기 위해 인접한 분산된 안테나들 간의 페이-와이즈(pair-wise) RF 교정이 계산된다. RF 교정은 모든 안테나들에 걸쳐 수행되고 모든 분산된 안테나들이 서로 교정되도

록 교정 정보가 CP로 피드백된다. 다른 실시예에서, 비컨은 교정 정보를 CP로 피드백하기 위해 임의의 무선 또는 유선 링크를 이용하는 UE들 중 임의의 UE이다.

[0209] 비컨으로부터 CP로의 교정 정보는 제어 채널 상의 오버헤드를 감소시키기 위해 제한된 수의 비트에 걸쳐 양자화되거나 코드북 기반의 제한된 피드백 방법들을 통해 송신된다. 우리는 RF 교정이 (온도 변화 등에 기인하는, RF 특성들의 변동률에 따라) 느린 속도로 실행될 수 있다는 것을 알고 있다. 교정 정보의 업데이트 속도가 낮다면, 무선 데이터 채널은 데이터 레이트의 임의의 심각한 손실을 야기하지 않고 그 정보를 CP로 송신하는 데 이용될 수 있다. 하나의 예시적인 실시예에서, LTE 셀룰러 네트워크들에서 PUSCH는 UE로부터 CP로 교정 정보를 피드백하는 데 이용된다.

[0210] 사용자 클러스터, 또는 안테나 클러스터 또는 안테나 서브클러스터마다 해당 클러스터 내의 분산된 안테나들과 비컨 사이의 상대적 링크 품질에 따라 하나 또는 다수의 지리적으로 분산된 비컨이 이용된다. 일 실시예에서, 클러스터 내의 모든 분산된 안테나들에 대해 최상의 신호 품질을 가진 비컨이 RF 교정을 위해 이용된다. 다른 실시예에서, 전파 환경의 변동으로 인해 분산된 안테나들로의 링크들의 변화하는 품질에 적응하기 위해 비컨들은 시간의 모든 인스턴스에서 동적으로 선택된다. 다른 실시예에서, 분산된 안테나들로부터/로의 링크들을 통한 SNR 또는 SINR을 최대화하기 위해 다수의 비컨이 협력적으로 이용된다(예컨대, 최대비 조합/전송을 통해). 다른 실시예에서, 하나 이상의 RF 교정이 클러스터마다 수행된다.

[0211] 본 발명의 일 실시예에서, 비컨 스테이션은 RF 교정을 위해서뿐만 아니라 시간 및 주파수 동기화 기준을 포함하는 시그널링 정보를 분산된 안테나들 및/또는 UE들로 송신하는 데에도 이용된다. 분산된 안테나들 및/또는 UE들은 그 기준을 이용하여 MU-MAS 마스터 기준 클록과의 시간 및 주파수 동기화를 유지한다. 일 실시예에서, 비컨으로부터 분산된 안테나들 및 UE들로의 이 기준 클록 분배는 LTE 멀티미디어 브로드캐스트 단일 주파수 네트워크(MBSFN) 통신 채널을 통해 가능하게 된다.

[0212] 참고 문헌들

- [0213] [1] A. Paulraj, R. Nabar, and D. Gore, Introduction to Space-Time Wireless Communications, Cambridge University Press, 40 West 20th Street, New York, NY, USA, 2003
- [0214] [2] D. Gesbert, M. Shafi, D. Shiu, P.J. Smith and A. Naguib, "From theory to practice: an overview of MIMO space-time coded wireless systems", *IEEE Journal on Selected Areas on Communications*, vol.2, n.3, pp.281-302, Apr. 2003
- [0215] [3] L. Zheng and D. N. C. Tse, "Diversity and multiplexing: a fundamental tradeoff in multiple-antenna channels," *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 49, no. 5, pp. 1073-1096, May 2003
- [0216] [4] D. N. C. Tse, P. Viswanath, and L. Zheng, "Diversity-multiplexing tradeoff in multiple-access channels", *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 50, no. 9, pp. 1859-1874, Sept. 2004
- [0217] [5] E. Visotsky and U. Madhow, "Space-time transmit precoding with imperfect feedback," *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 47, pp. 2632-2639, Sep. 2001.
- [0218] [6] S. A. Jafar, S. Vishwanath, and A. Goldsmith, "Channel capacity and beamforming for multiple transmit and receive antennas with covariance feedback," *Proc. IEEE Int. Conf. on Comm.*, vol. 7, pp. 2266-2270, Jun. 2001.
- [0219] [7] S. A. Jafar and A. Goldsmith, "Transmitter optimization and optimality of beamforming for multiple antenna systems," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 3, pp. 1165-1175, July 2004.
- [0220] [8] E. A. Jorswieck and H. Boche, "Channel capacity and capacity-range of beamforming in MIMO wireless systems under correlated fading with covariance feedback," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 3, pp. 1543-1553, Sep. 2004.
- [0221] [9] A. L. Moustakas and S. H. Simon, "Optimizing multiple-input single-output (MISO) communication systems with general Gaussian channels: nontrivial covariance and nonzero mean," *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 49, pp. 2770-2780, Oct. 2003.
- [0222] [10] M. Kang and M. S. Alouini, "Water-filling capacity and beamforming performance of MIMO systems with covariance feedback," *IEEE Work. on Sign. Proc. Adv. in Wire. Comm.*, pp. 556-560, June 2003.

- [0223] [11] S. H. Simon and A. L. Moustakas, "Optimizing MIMO antenna systems with channel covariance feedback," *IEEE Jour. Select. Areas in Comm.*, vol. 21, pp. 406–417, Apr. 2003.
- [0224] [12] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE Jour. Select. Areas in Comm.*, vol. 16, no. 8, pp. 1451–1458, Oct. 1998.
- [0225] [13] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criterion and code construction," *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 44, pp. 744–65, Mar. 1998.
- [0226] [14] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs," *IEEE Trans. Info. Th.*, vol. 45, pp. 1456–467, July 1999.
- [0227] [15] E. N. Onggosanusi, A. G. Dabak, and T. A. Schmidl, "High rate space- time block coded scheme: performance and improvement in correlated fading channels," *Proc. IEEE Wireless Comm. and Net. Conf.*, vol. 1, pp. 194–199, Mar. 2002.
- [0228] [16] G. D. Durgin, *Space-Time Wireless Channels*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2003
- [0229] [17] D.-S. Shiu, G. J. Foschini, M. J. Gans, and J. M. Kahn, "Fading correlation and its effect on the capacity of multielement antenna systems," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 48, no. 3, pp. 502–513, Mar. 2000
- [0230] [18] A. Forenza and R. W. Heath Jr., "Impact of antenna geometry on MIMO communication in indoor clustered channels," *Proc. IEEE Antennas and Prop. Symp.*, vol. 2, pp. 1700–1703, June 2004.
- [0231] [19] E. A. Jorswieck and H. Boche, "Channel capacity and capacity-range of beamforming in MIMO wireless systems under correlated fading with covariance feedback," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 3, pp. 1543–1553, Sep. 2004
- [0232] [20] R. W. Heath Jr. and A. Paulraj, "Switching between multiplexing and diversity based on constellation distance," *Proc. of Allerton Conf. on 208, Comm. Control and Comp.*, Sep. 2000.
- [0233] [21] S. Catreux, V. Erceg, D. Gesbert, and R. W. Heath Jr., "Adaptive modulation and MIMO coding for broadband wireless data networks," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 2, pp. 108–115, June 2002.
- [0234] [22] A. Forenza, A. Pandharipande, H. Kim, and R. W. Heath Jr., "Adaptive MIMO transmission scheme: Exploiting the spatial selectivity of wireless channels," *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 5, pp. 3188–3192, May 2005
- [0235] [23] C. B. Chae, A. Forenza, R. W. Heath, Jr., M. R. McKay, and I. B. Collings, "Adaptive MIMO Transmission Techniques for Broadband Wireless Communication Systems," *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, no. 5, pp. 112–118, May 2010
- [0236] [24] FCC, "Broadband action agenda", National Broadband Plan, 2010 <http://www.broadband.gov/plan/national-broadband-plan-action-agenda.pdf>
- [0237] [25] N. Delfas, F. Meunier, S. Flannery, T. Tsusaka, E. Gelblum and S. Kovler, "Mobile data wave: who dares to invest, wins", Morgan Stanley Research Global, June 13, 2012
- [0238] [26] D. Goldman, "Sorry, America: your wireless airwaves are full", CNN Money http://money.cnn.com/2012/02/21/technology/spectrum_crunch/index.htm
- [0239] [27] P. Rysavy, "No silver bullets for FCC, NTIA spectrum challenge", Daily report for executives, Bloomberg BNA, Aug. 2012 http://www.rysavy.com/Articles/2012_09_No_Spectrum_Silver_Bullets.pdf
- [0240] [28] T. W. Hazlett, "Radio spectrum for a hungry wireless world", Sept. 22, 2011
- [0241] [29] B. J. Love, D. J. Love and J. V. Krogmeier, "Like deck chairs on the Titanic: why spectrum reallocation won't avert the coming data crunch but technology might keep the wireless industry afloat", Feb. 2012

- [0242] [30] Qualcomm, "The 1000x data challenge, the latest on wireless, voice, services and chipset evolution", 4G World, Oct. 31st, 2012
- [0243] [31] J. Lee, J.-K. Han, J. Zhang, "MIMO technologies in 3GPP LTE and LTE-advanced", EURASIP Journal on Wireless Comm. and Net., Hindawi, May 2009
- [0244] [32] 3GPP, TS 36.201, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); LTE Physical Layer-General Description (Release 8)"
- [0245] [33] 3GPP, TS 36.211, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 8)"
- [0246] [34] 3GPP, TS 36.212, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding (Release 8)"
- [0247] [35] 3GPP, TS 36.213, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 8)"
- [0248] [36] T. Yoo, N. Jindal, and A. Goldsmith, "Multi-antenna broadcast channels with limited feedback and user selection," *IEEE Journal on Sel. Areas in Communications*, vol. 25, pp. 1478-91, July 2007.
- [0249] [37] P. Ding, D. J. Love, and M. D. Zoltowski, "On the sum rate of channel subspace feedback for multi-antenna broadcast channels," in *Proc., IEEE Globecom*, vol. 5, pp. 2699-2703, November 2005.
- [0250] [38] N. Jindal, "MIMO broadcast channels with finite-rate feedback," *IEEE Trans. on Info. Theory*, vol. 52, pp. 5045-60, November 2006.
- [0251] [39] D. J. Love, R. W. Heath, Jr., V. K. N. Lau, D. Gesbert, B. D. Rao, and M. Andrews, "An Overview of Limited Feedback in Wireless Communication Systems," *IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.*, Special Issue on Exploiting Limited Feedback in Tomorrow's Wireless Communication Networks, vol. 26, no. 8, pp. 1341-1365, Oct. 2008.
- [0252] [40] R. W. Heath, Jr., D. J. Love, V. K. N. Lau, D. Gesbert, B. D. Rao, and M. Andrews, "Exploiting Limited Feedback in Tomorrow's Wireless Communication Networks," *IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.*, Special Issue on Exploiting Limited Feedback in Tomorrow's Wireless Communication Networks, vol. 26, no. 8, pp. 1337-1340, Oct. 2008.
- [0253] [41] D. J. Love, R. W. Heath, Jr., and T. Strohmer, "Grassmannian Beamforming for Multiple-Input Multiple-Output Wireless Systems," *IEEE Trans. on Info. Theory* special issue on MIMO Communication, vol. 49, pp. 2735-2747, Oct. 2003
- [0254] [42] C. B. Chae, D. Mazzarese, N. Jindal and R. W. Heath, Jr., "Coordinated Beamforming with Limited Feedback in the MIMO Broadcast Channel" *IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.*, Special Issue on Exploiting Limited Feedback in Tomorrow's Wireless Comm. Networks, vol. 26, no. 8, pp. 1505-1515, Oct. 2008
- [0255] [43] A. Paulraj, "Is OFDMA, MIMO and OS the right stuff for mobile broad- band?" <http://www.ieeevtc.org/vtc2005fall/presentations/paulraj.pdf>, Sept. 2005
- [0256] [44] J. Wanstrom, "Carrier aggregation explained", 3GPP<http://www.3gpp.org/Carrier-Aggregation-explained>
- [0257] [45] 3GPP, TS 36.808, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Carrier Aggregation (Release 10)", v10.0.0, June 2012
- [0258] [46] Nokia Siemens Networks, "2020: beyond 4G, radio evolution for the gigabit experience", White Paper, 2011, www.nokiasiemensnetworks.com
- [0259] [47] S. Marek, "AT&T's Rinne talks about carrier aggregation trials, small cells and more", <http://www.fiercebroadbandwireless.com/story/atts-rinne-talks-about-carrier-aggregation-trials-small->

cells-and-more/2012-11-08

- [0260] [48] M. Reed, "InterfereX", Tech23, 2011 <http://www.youtube.com/watch?v=YPpELm6iip8>
- [0261] [49] NICTA, "InterfereX", http://www.nicta.com.au/research/archive/research_themes/networked_systems/interferex
- [0262] [50] J. Duplicity, et al., "MU-MIMO in LTE systems", EURASIP Journal on Wireless Communications and Netowrking, Mar. 2011
- [0263] [51] S. Feng and E. Seidel, "Self-organizing networks (SON) in 3GPP LTE", Nomor research, May 2008
- [0264] [52] NEC, "Self organizing networks", White paper, Feb. 2009
- [0265] [53] U.S. Patent No. 5,809,422, issued September 15, 1998, entitled "Distributed microcellular communications system", G. R. Raleigh, M. A. Pollack
- [0266] [54] G. J. Foschini, H.C. Huang, K. Karakayali, R. A. Valenzuela, and S. Venkatesan. The Value of Coherent Base Station Coordination. In *Conference on In- formation Sciences and Systems (CISS 2005)*, Mar. 2005
- [0267] [55] M. K. Karakayali, G. J. Foschini, R. A. Valenzuela, and R. D. Yates, "On the maximum common rate achievable in a coordinated network," *Proc. of the Int'l Conf. on Communications (ICC'06)*, vol. 9, pp. 4333–4338, June 2006.
- [0268] [56] M. K. Karakayali, G. J. Foschini, and R. A. Valenzuela, "Network coor- dination for spectrally efficient communications in cellular systems," *IEEE Wireless Communications Magazine*, vol. 13, no. 4, pp. 56–61, Aug. 2006.
- [0269] [57] G. J. Foschini, M. K. Karakayali, and R. A. Valenzuela, "Coordinating multiple antenna cellular networks to achieve enormous spectral efficiency," *Pro- ceedings of the IEEE*, vol. 153, no. 4, pp. 548–555, Aug. 2006.
- [0270] [58] S. Venkatesan, A. Lozano, and R. Valenzuela, "Network MIMO: overcoming inter-cell interference in indoor wireless systems", *Proc. of Asilomar conf.*, pp.83-87, Nov. 2007
- [0271] [59] S. Venkatesan, H. Huang, A. Lozano, and R. Valenzuela, "A WiMAX-based implementation of network MIMO for indoor wireless systems", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Sep. 2009
- [0272] [60] Y. Liang, R. Valenzuela, G. Foschini, D. Chizhik, and A. Goldsmith, "Interference suppression in wireless cellular networks through picocells", *ACSSC*, pp.1041-1045, Nov. 2007
- [0273] [61] A. Papadogiannis, H. J. Bang, D. Gesbert, and E. Hardouin, "Efficient selective feedback design for multicell cooperative networks", *IEEE Trans. On Vehicular Techn.*, pp.196-205, vol.60, n.1, Jan. 2011
- [0274] [62] I. F. Akyildiz, D. M. Guterrez-Estevez, E. C. Reyes, "The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced", *Physical Comm.*, Elsevier, pp.217-244, 2010
- [0275] [63] A. Barbieri, P. Gaal, S. Geirhofer, T. Ji, D. Malladi, Y. Wei, and F. Xue, "Coordinated downlink multi-point communications in heterogeneous cellular networks", (Qualcomm), *Information Theory and App. Workshop*, pp. 7-16, Feb. 2012
- [0276] [64] S. Parkvall, E. Dahlman, A. Furuskar, Y. Jading, M. Olsson, S. Wanstedt, and K. Zangi, "LTE-Advanced — evolving LTE towards IMT-Advanced", (Ericsson) *IEEE VTC*, pp.1-5, Sep. 2008
- [0277] [65] R. A. Monziano and T. W. Miller, *Introduction to Adaptive Arrays*, New York: Wiley, 1980.
- [0278] [66] K. K. Wong, R. D. Murch, and K. B. Letaief, "A joint channel diagonalization for multiuser MIMO antenna systems," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 2, pp. 773–786, Jul 2003;
- [0279] [67] R. Chen, R. W. Heath, Jr., and J. G. Andrews, "Transmit Selection Diversity for Unitary Precoded

Multiuser Spatial Multiplexing Systems with Linear Receivers," *IEEE Trans. on Signal Proc.*, vol. 55, no. 3, pp. 1159-1171, Mar. 2007.

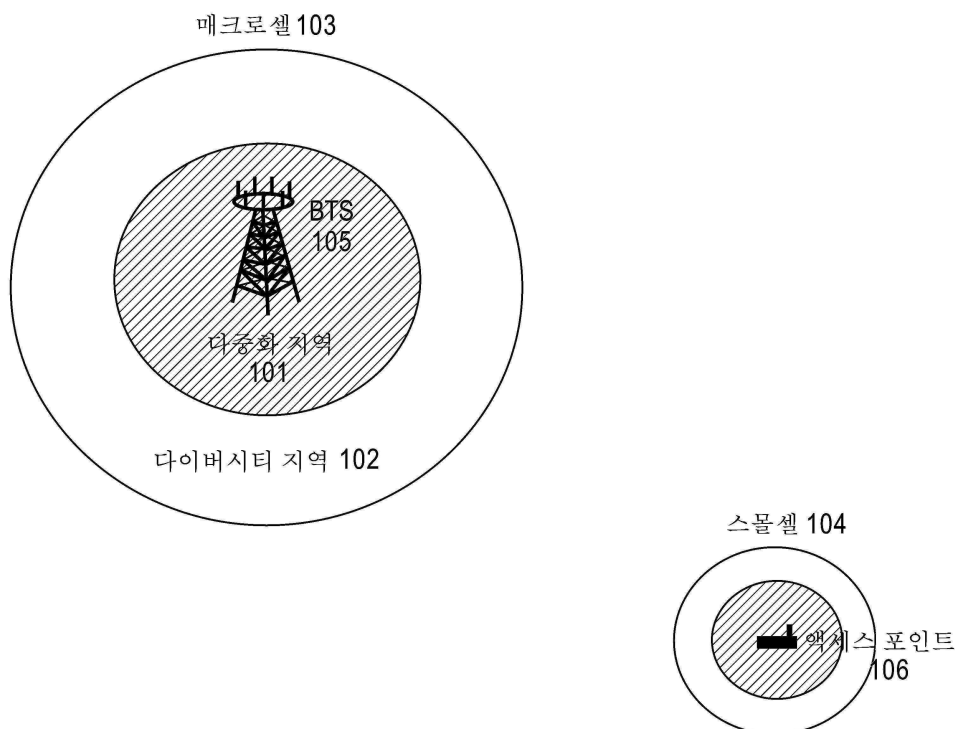
- [0280] [68] M. Costa, "Writing on dirty paper," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 29, No. 3, Page(s): 439 - 441, May 1983.
- [0281] [69] G. Caire and S. Shamai, "On the achievable throughput of a multiantenna Gaussian broadcast channel," *IEEE Trans. Info.Th.*, vol. 49, pp. 1691-1706, July 2003.
- [0282] [70] N. Jindal & A. Goldsmith, "Dirty Paper Coding vs. TDMA for MIMO Broadcast Channels", *IEEE Trans. on Info. Theory*, vol.51, pp.1783-1794, May 2005
- [0283] [71] M. Tomlinson, "New automatic equalizer employing modulo arithmetic," *Electronics Letters*, Page(s): 138 - 139, March 1971.
- [0284] [72] H. Miyakawa and H. Harashima, "A method of code conversion for digital communication channels with intersymbol interference," *Trans. of the Inst. of Electronic*
- [0285] [73] U. Erez, S. Shamai (Shitz), and R. Zamir, "Capacity and lattice-strategies for cancelling known interference," *Proceedings of International Symposium on Information Theory*, Honolulu, Hawaii, Nov. 2000.
- [0286] [74] W. Yu and J. M. Cioffi, "Trellis Precoding for the Broadcast Channel", *IEEE Globecom*, vol.2, pp.1344-1348, 2001
- [0287] [75] B. M. Hochwald, C. B. Peel, and A. L. Swindlehurst, "A Vector-Perturbation Technique for Near-Capacity Multiantenna Multiuser Communication - Part I: Channel Inversion and Regularization", *IEEE Trans. On Communications*, vol. 53, n.1, pp.195-202, Jan. 2005
- [0288] [76] B. M. Hochwald, C. B. Peel, and A. L. Swindlehurst, "A Vector-Perturbation Technique for Near-Capacity Multiantenna Multiuser Communication - Part II: Perturbation", *IEEE Trans. On Comm.*, vol. 53, n. 3, pp.537-544, Mar. 2005
- [0289] [77] S. Perlman and A. Forenza, "Distributed-input distributed-output (DIDO) wireless technology: a new approach to multiuser wireless", Rearden Labs White Paper, July 2011, <http://www.reardenwireless.com/110727-DIDO-A%20New%20Approach%20to%20Multiuser%20Wireless.pdf>
- [0290] [78] A. Vance, "Steve Perlman's wireless fix", *Businessweek*, July 2011 <http://www.businessweek.com/magazine/the-edison-of-silicon-valley-07272011.html>
- [0291] [79] M. Lindström (Ericsson), "LTE-Advanced Radio Layer 2 and RRC aspects", 3GPP TSG-RAN WG2
- [0292] [80] Anritsu, "LTE resource guide", www.us.anritsu.com
- [0293] [81] 3GPP, "Spatial Channel Model AHG (Combined ad-hoc from 3GPP & 3GPP2)", SCM Text V6.0, April 22, 2003
- [0294] [82] J. Lee, "Introduction of LTE-Advanced DL/UL MIMO", Samsung Electronics, Sep. 2009
- [0295] [83] E. Dahlman, S. Parkvall and J. Skold, "4G: LTE/LTE-Advanced for mobile broadband", Elsevier, 2011
- [0296] [84] J. Syren, "Overview on the 3GPP long term evolution physical layer", Freescale White Paper, July 2007
- [0297] [85] M. Baker, "LTE-Advanced physical layer", Alcatel-Lucent, Dec. 2009
- [0298] [86] J. Xu, "LTE-Advanced signal generation and measurements using SystemVue", Agilent Technologies
- [0299] [87] X. Hou and H. Kayama, "Demodulation reference signal design and channel estimation for LTE-Advanced uplink", DCOMO, Adv. in Vehic. Netw. Tech., Apr. 2011
- [0300] [88] D. C. Chu, "Polyphase codes with good periodic correlation properties", *IEEE Trans. Info. Theory*,

vol. 18, n. 4, pp. 531-532, July 1972

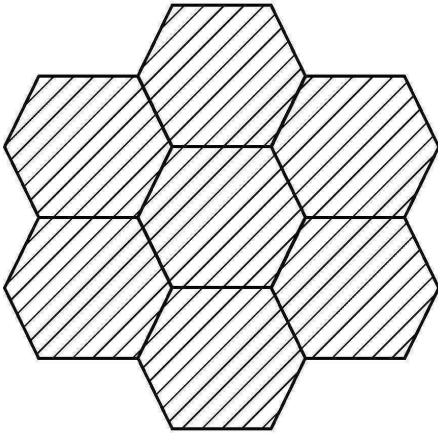
- [0301] [89] A. Lozano, R.W. Heath and J. Andrews, "Fundamental limits of cooperation", Mar. 2012, <http://arxiv.org/pdf/1204.0011.pdf>
- [0302] [90] J. G. Andrews, "Seven ways that HetNet are a cellular paradigm shift" http://users.ece.utexas.edu/~jandrews/pubs/And_HetNet_CommMag2012_v3.pdf
- [0303] [91] J-C. Guey, and L. D. Larsson, "Modeling and evaluation of MIMO systems exploiting channel reciprocity in TDD mode", 2004
- [0304] [92] N. Tyler, B. Allen, and H. Aghvami, "Adaptive antennas: the calibration problem", IEEE Comm. Mag., pp. 114-122, Dec. 2004
- [0305] [93] A. Bourdoux, B. Come, and N. Khaled, "Non-reciprocal transceivers in OFDM/SDMA systems: impact and mitigation", IEEE, pp. 183-186, 2003
- [0306] [94] M. Guillaud, D. T. M. Slock, and R. Knopp, "A practical method for wireless channel reciprocity exploitation through relative calibration", IEEE Proc. Of Sign Proc., pp.403-406, vol.1, Aug. 2005
- [0307] [95] P. Zetterberg, "Experimental investigation of TDD reciprocity based zero-forcing transmit precoding", EURASIP, June 2010
- [0308] [96] P. Uthansakul, K. Attakitmongkol, N. Promsuvana, and Uthansakul, "MIMO antenna selection using CSI from reciprocal channel", Int. Journ. Of Elect. And Info. Eng., 2010

도면

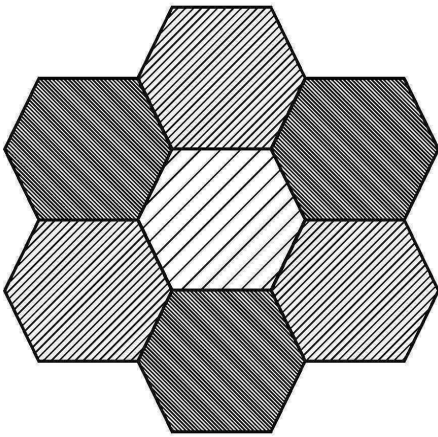
도면1



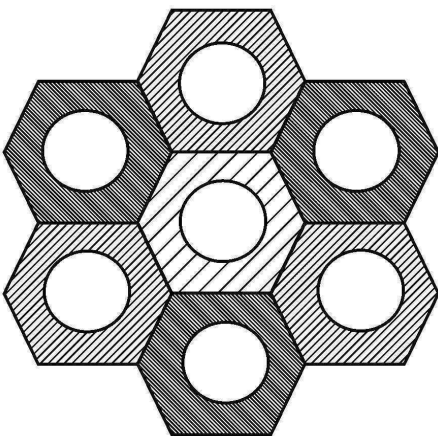
도면2a



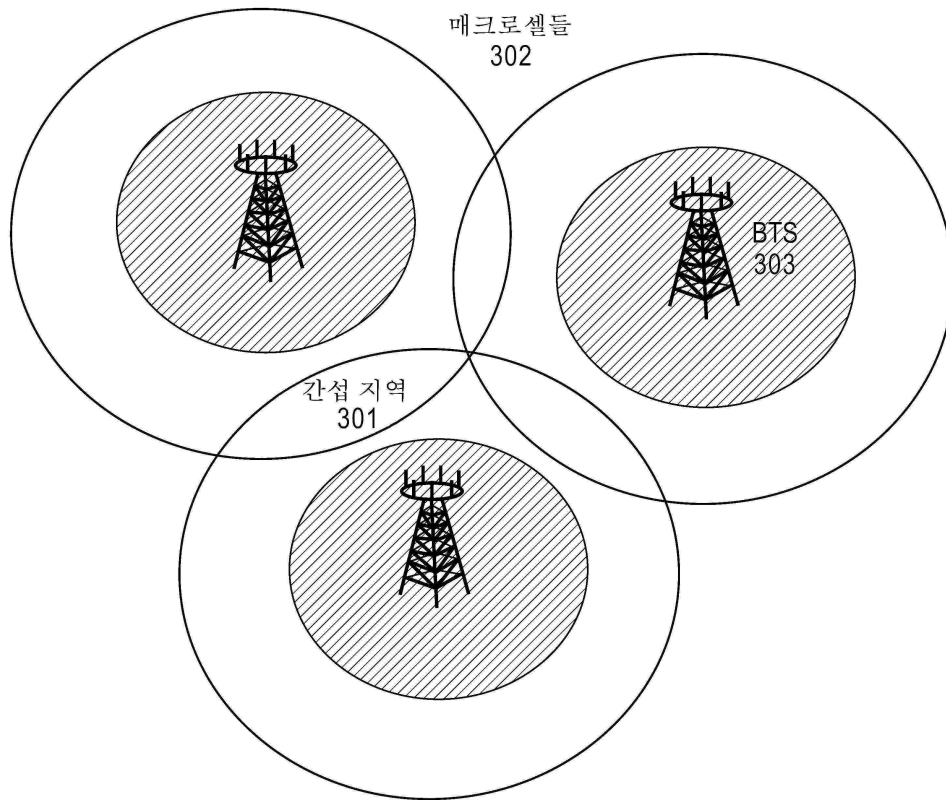
도면2b



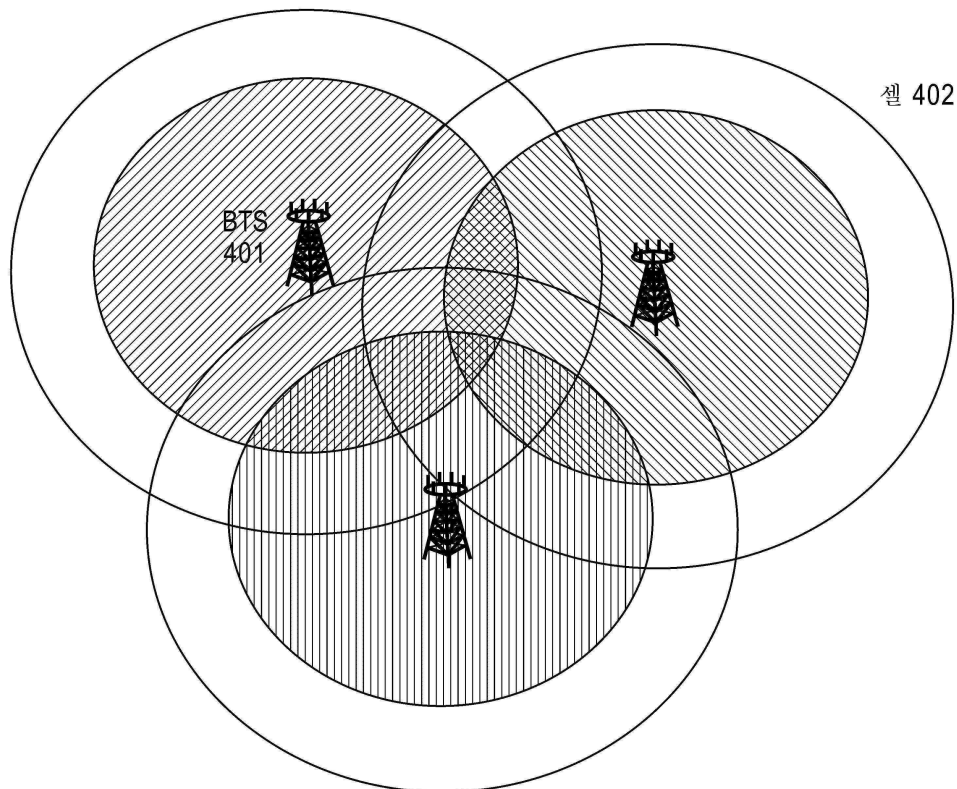
도면2c



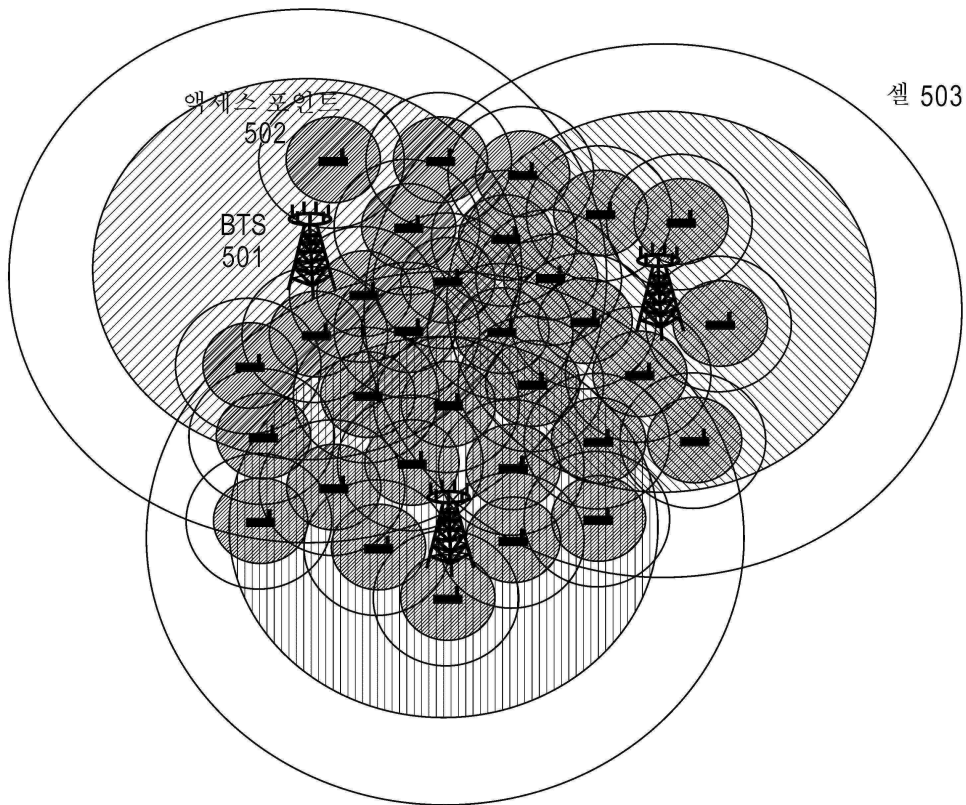
도면3



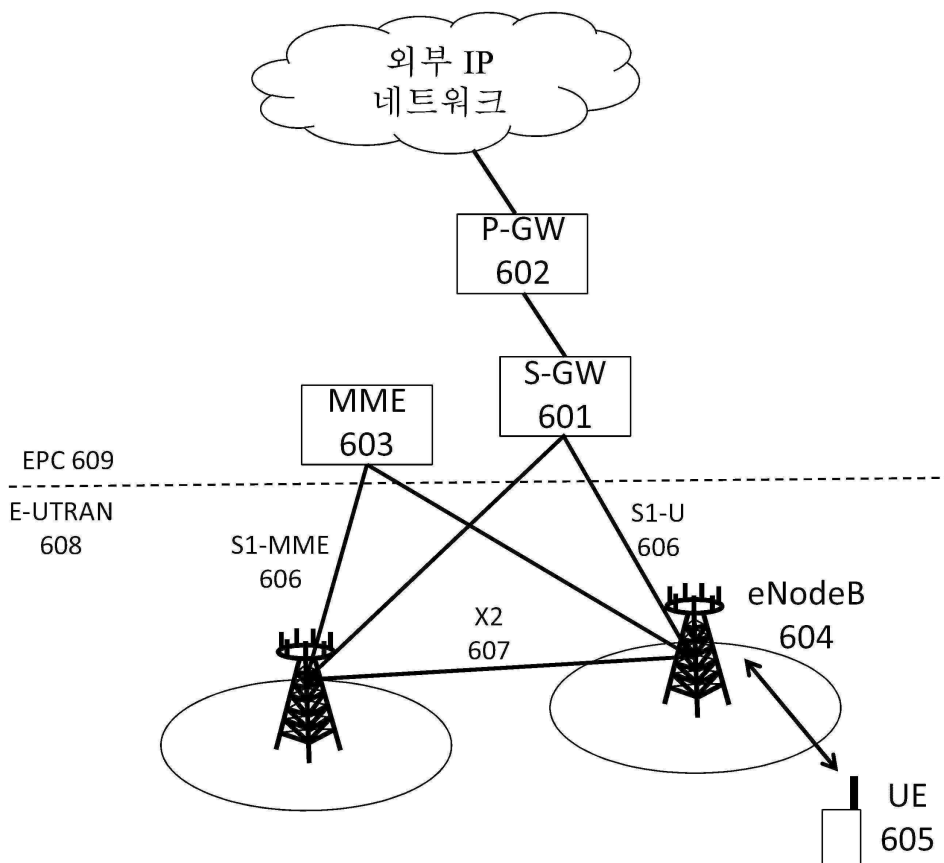
도면4



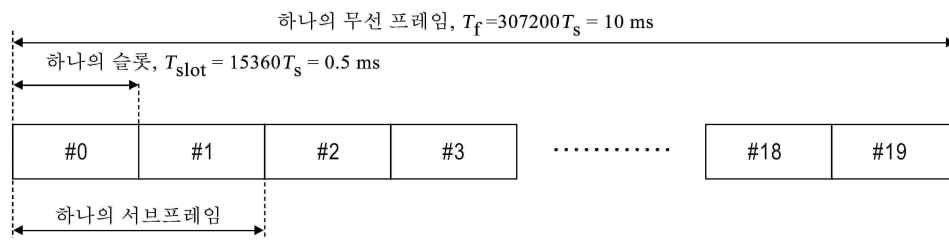
도면5



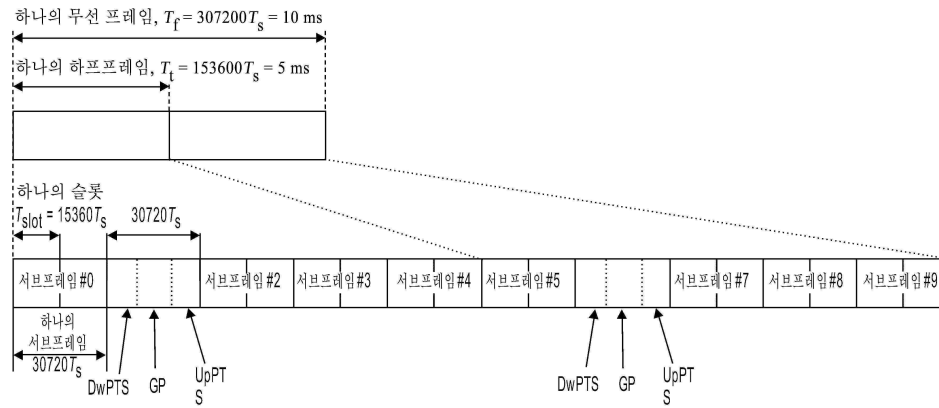
도면6



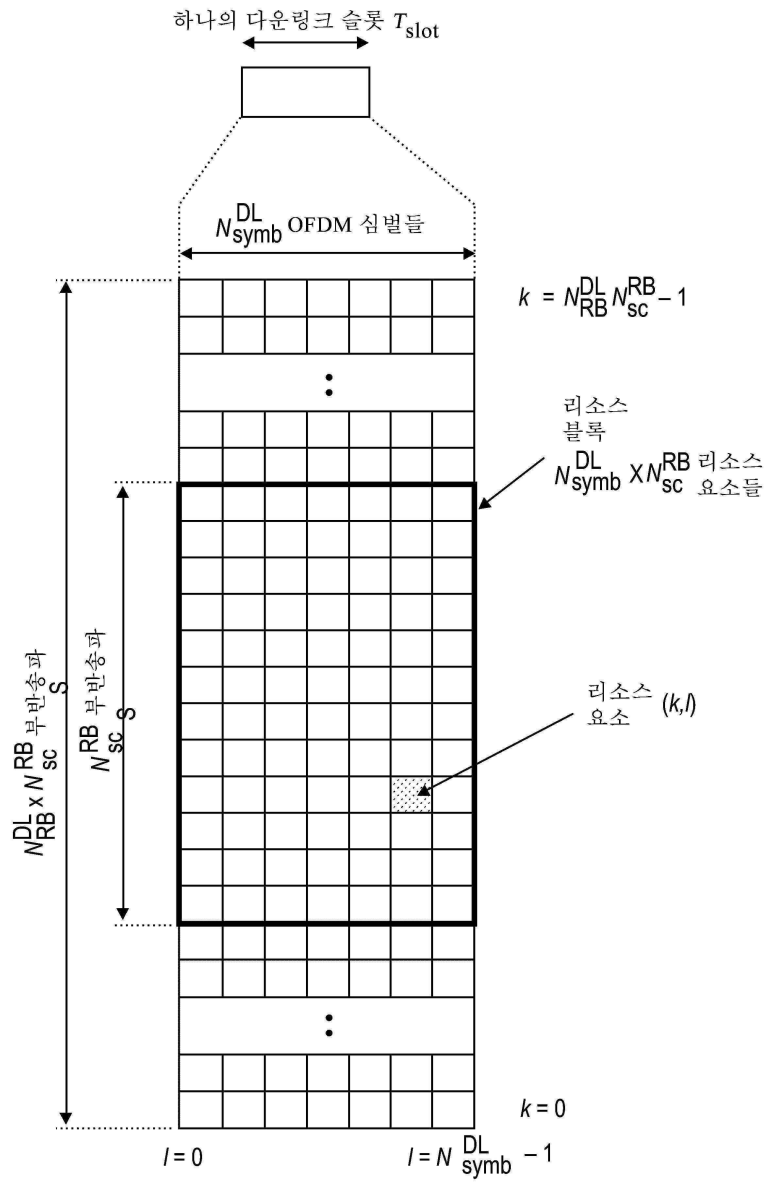
도면7a



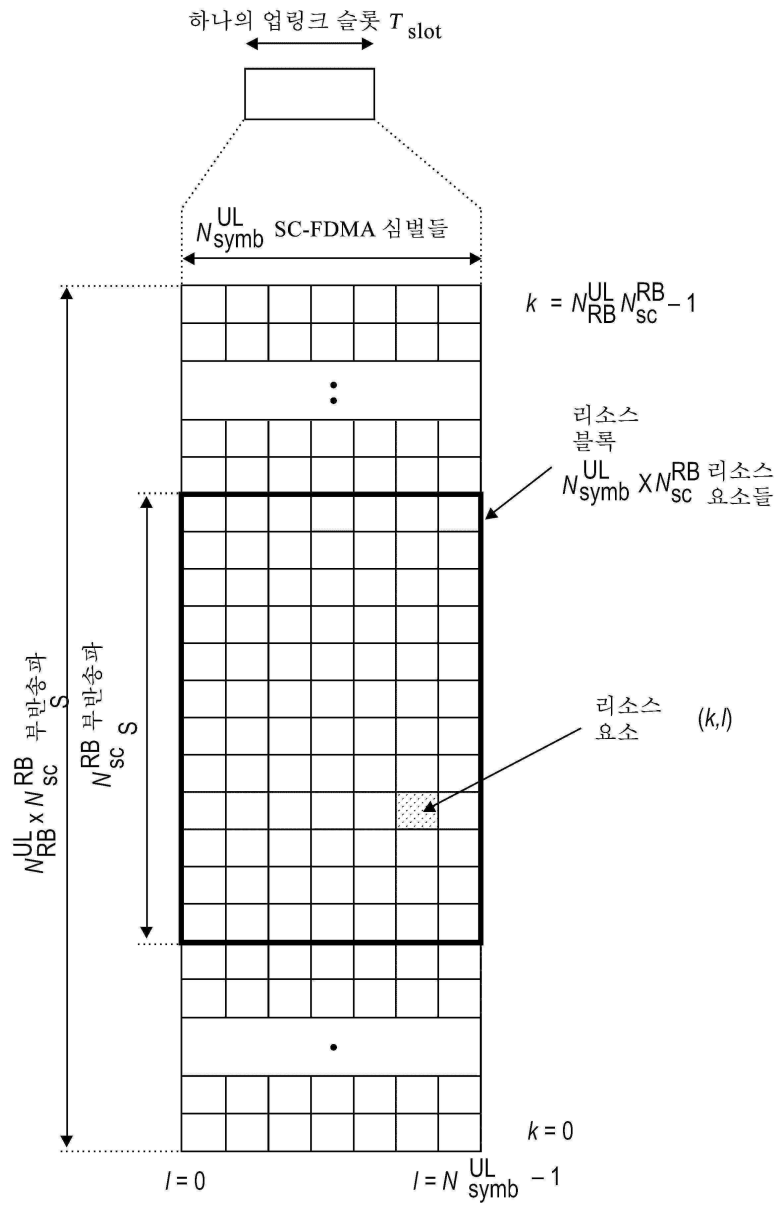
도면7b



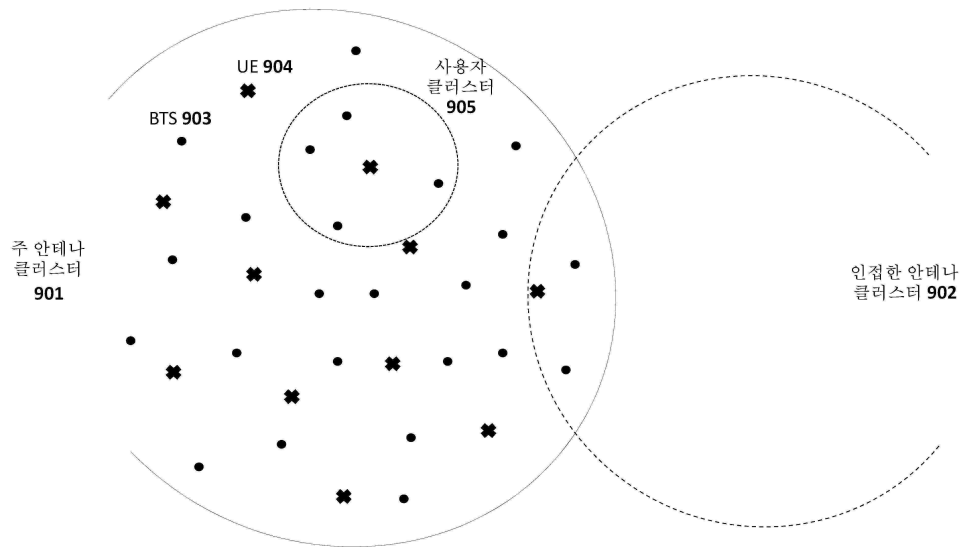
도면8a



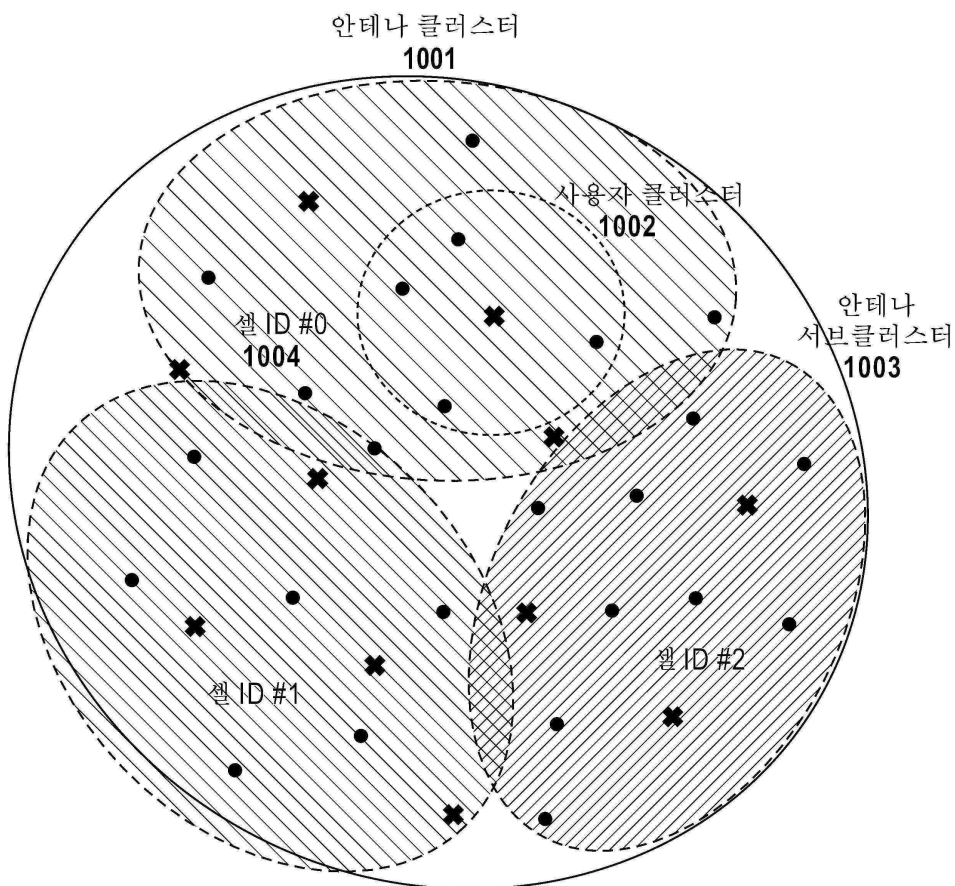
도면8b



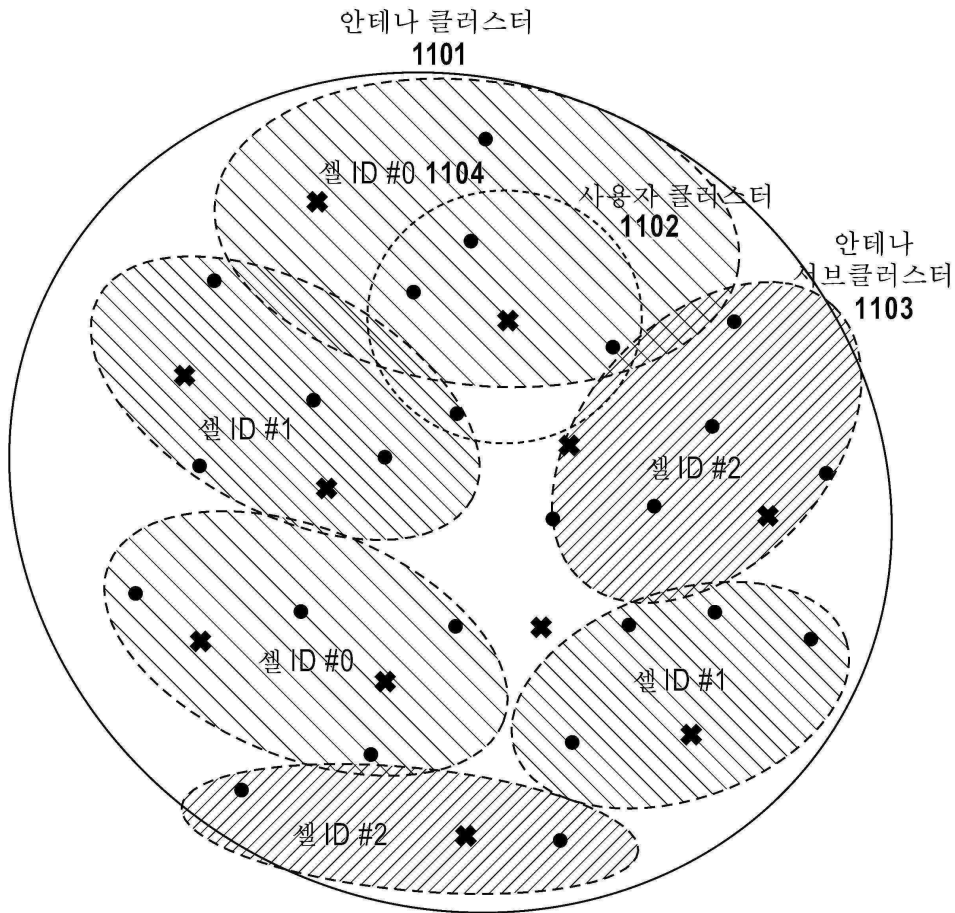
도면9



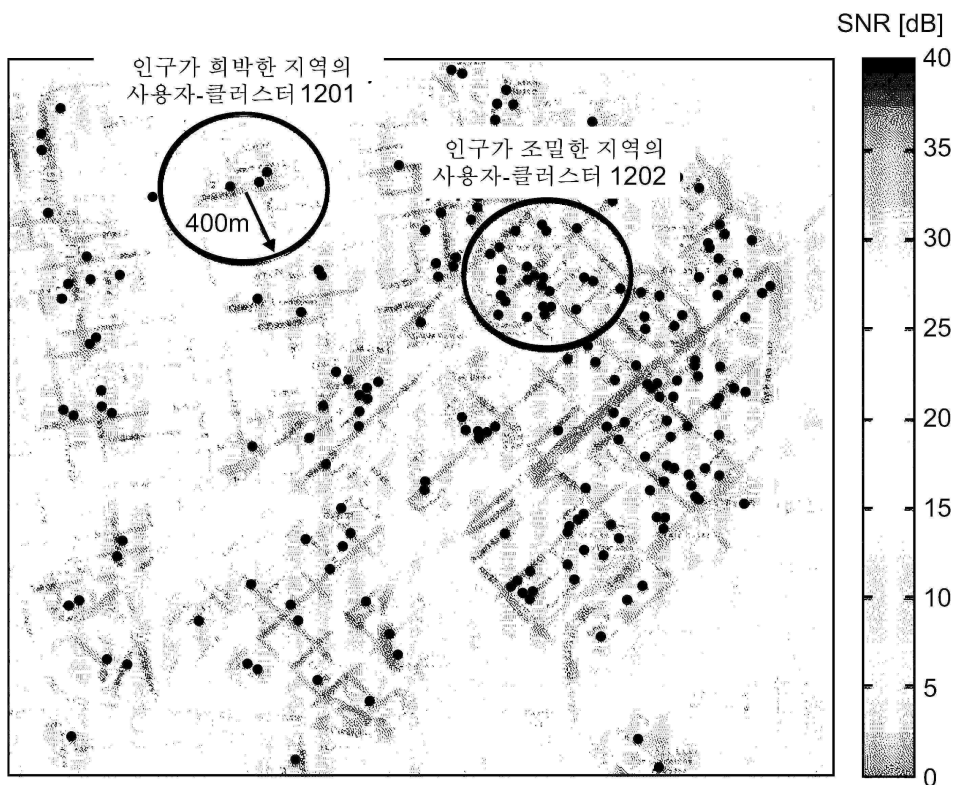
도면10



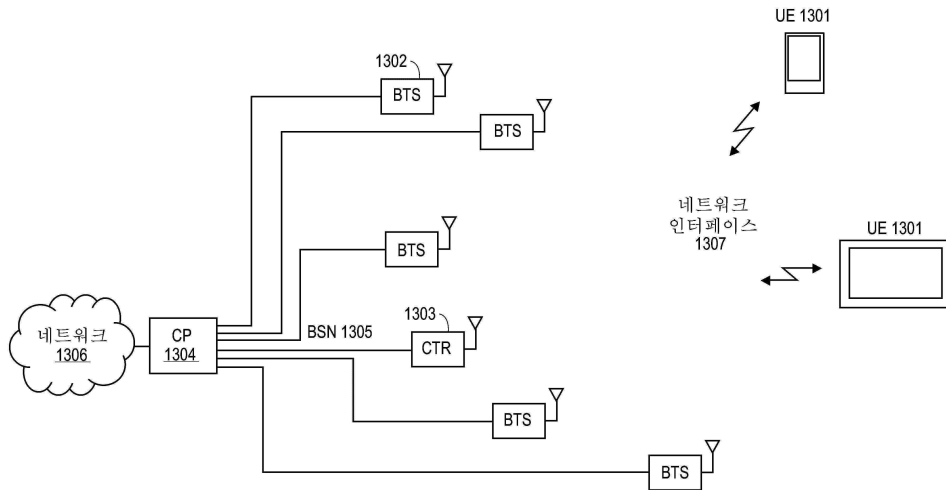
도면11



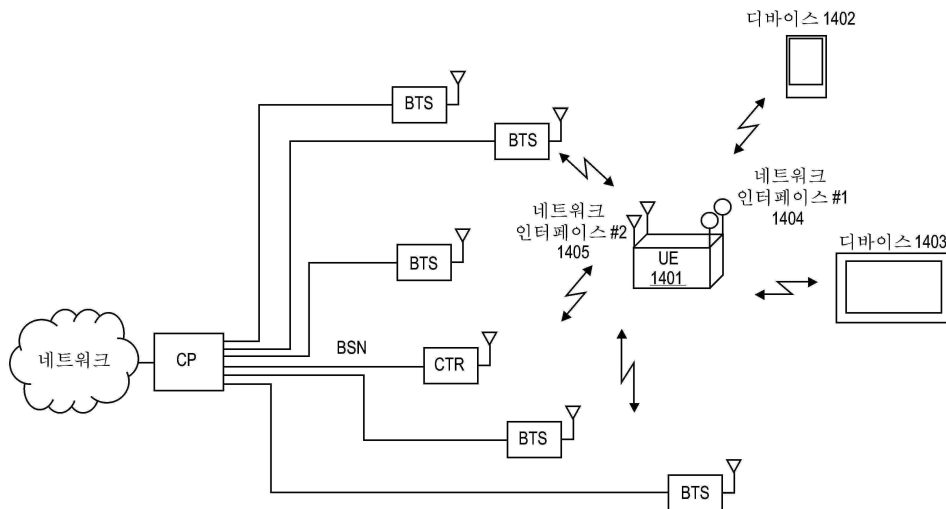
도면12



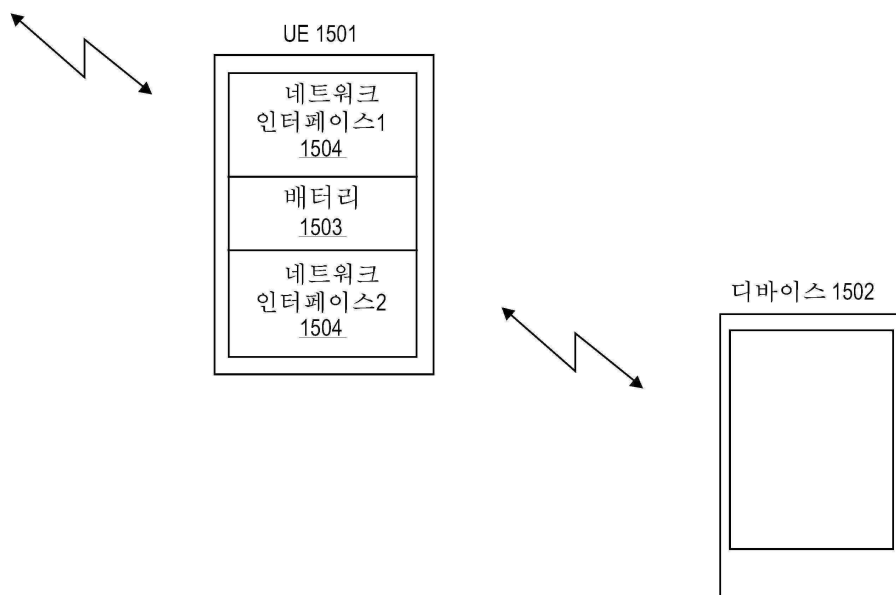
도면13



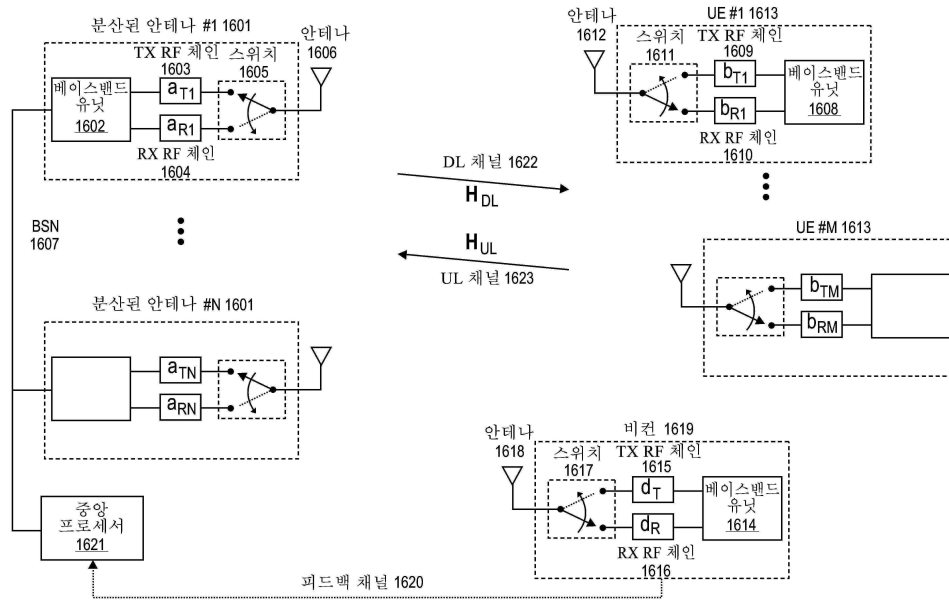
도면14



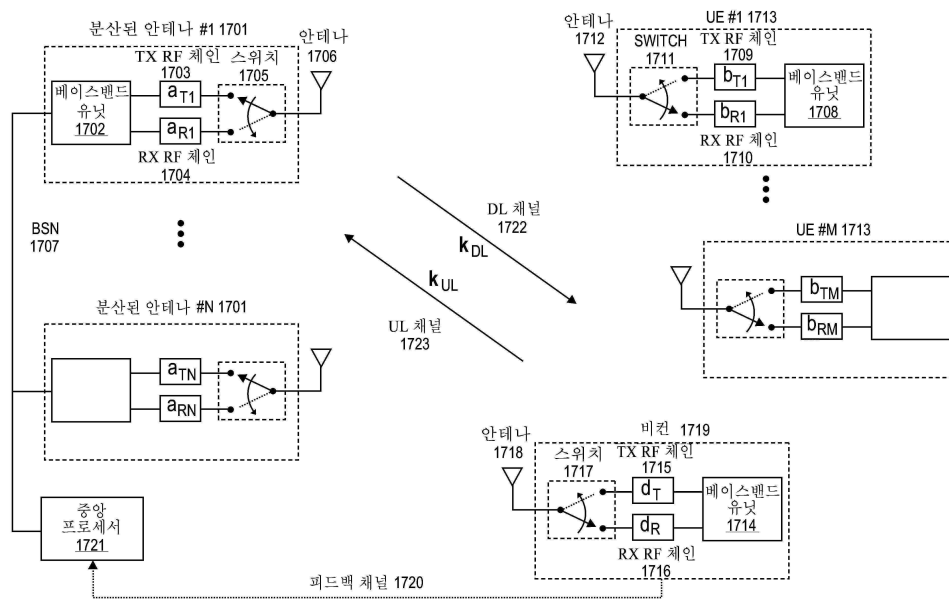
도면15



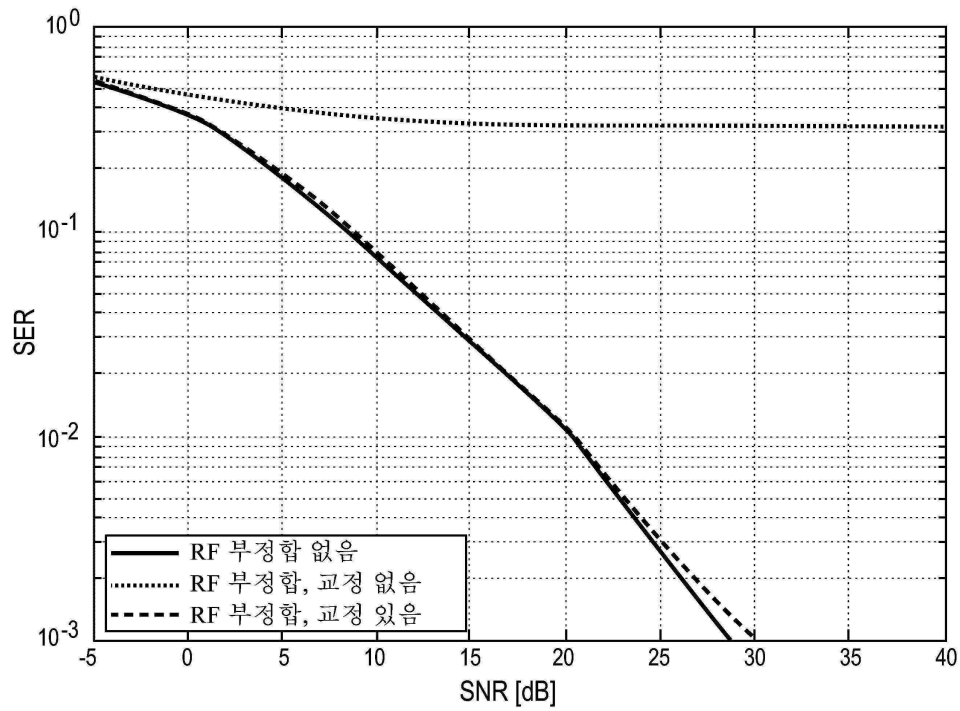
도면16



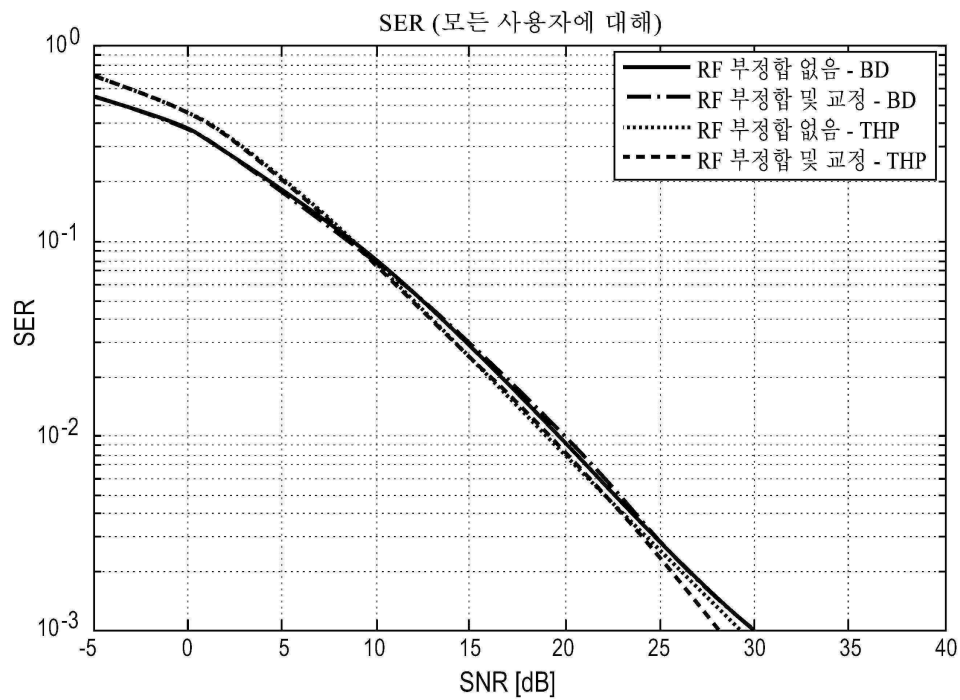
도면17



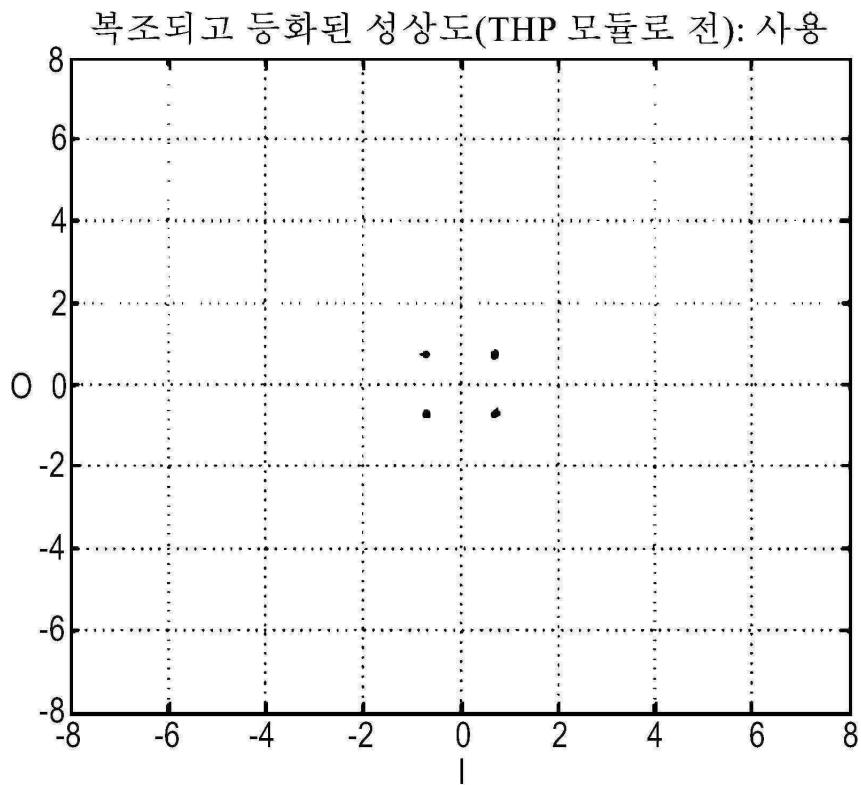
도면18



도면19



도면20a



도면20b

