



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0125424
(43) 공개일자 2021년10월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 28/22 (2009.01) H04B 7/0426 (2017.01)
H04B 7/06 (2017.01) H04W 24/02 (2009.01)
H04W 72/04 (2009.01) H04W 76/15 (2018.01)
(52) CPC특허분류
H04W 28/22 (2013.01)
H04B 7/0443 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0042246
(22) 출원일자 2021년03월31일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
1020200042789 2020년04월08일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
김성경
대전광역시 유성구 가정로 43, 109동 1102호
조윤희
대전광역시 유성구 장대로71번길 34, 101동 501호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인이상

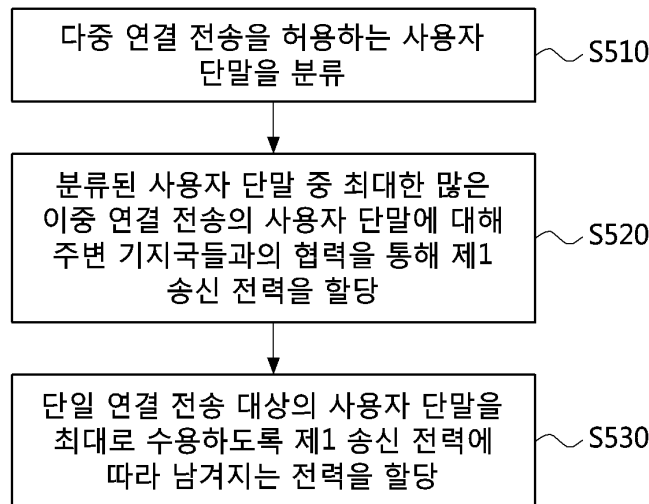
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 방법 및 장치

(57) 요약

5G NR(new radio) 기반에서 단말이 하나 이상의 기지국들로부터 동시에 데이터를 수신하는 다중 연결 상황에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 방법 및 장치가 개시된다. 데이터 송수신 방법은, 이동 통신 네트워크를 통해 사용자 단말과 연결된 기지국에 의해 실행되는 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 방법으로서, 사용자 단말 주변의 복수의 기지국들과 다중 연결 전송을 허용하는 사용자 단말을 분류하는 단계, 다중 연결 전송의 허용으로 분류된 사용자 단말 중 최대한 많은 이중 연결 전송의 사용자 단말에 대해 주변 기지국들과의 협력을 통해 제1 송신 전력을 할당하는 단계, 및 할당된 제1 송신 전력에 따라 남겨지는 제2 송신 전력을 단일 연결 전송 대상의 사용자 단말을 최대한 수용하도록 할당하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

H04B 7/0682 (2013.01)

H04B 7/0697 (2013.01)

H04W 24/02 (2013.01)

H04W 72/0473 (2013.01)

H04W 76/15 (2018.02)

(72) 발명자

나지현

대전광역시 유성구 어은로 57, 133동 1505호

권성오

울산광역시 남구 대학로 93

송지호

울산광역시 남구 대학로 93

응우옌 민 탕

울산광역시 남구 대학로 93

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711103199
과제번호	2018-0-01659
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원(IITP)
연구사업명	방송통신산업기술개발사업
연구과제명	5G NR 기반 지능형 오픈 스몰셀 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국전자통신연구원
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

이동 통신 네트워크를 통해 사용자 단말과 연결된 기지국에 의해 실행되는 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 방법으로서,

사용자 단말 주변의 복수의 기지국들과 다중 연결 전송을 허용하는 사용자 단말을 분류하는 단계;

상기 다중 연결 전송의 허용으로 분류된 사용자 단말 중 최대한 많은 이중 연결 전송의 사용자 단말을 포함하도록 주변 기지국들과의 협력을 통해 제1 송신 전력을 할당하는 단계; 및

상기 할당된 제1 송신 전력에 따라 남겨지는 제2 송신 전력을 단일 연결 전송 대상의 사용자 단말을 최대한으로 용하도록 할당하는 단계;

를 포함하는, 데이터 송수신 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 5G NR(new radio) 기반의 다중 연결 상황에서 단말이 하나 이상의 기지국들로부터 동시에 데이터를 수신할 때 사용자 전송률을 향상시킬 수 있는 데이터 송수신 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 5세대(5G) 무선 네트워크 발전의 주된 목표는 대용량의 데이터를 처리하는 사용자 체감 품질(QoE: Quality of Experience)을 현저하게 향상시키는 것이다. 5G의 데이터 전송률은 LTE-A 시스템의 수십 배에 달할 것으로 예상된다.

[0003] 5G에서 네트워크 관리자들은 어디에서나 보증된 사용자 체감 품질을 가입자들에게 제공하는 것을 목표로 하고 있으며, 이는 처리량, 신뢰성(패킷 손실률), 지연, 가용성 등 서비스 품질의 모든 특성을 포함한다.

[0004] 사용자 체감 품질을 향상시키기 위해서 네트워크 관리자들은 무선 네트워크에서 소형 셀과 와이파이가 접속점과 같이 많은 양의 전송 지점을 배치해야 한다. 이런 밀집된 네트워크에서 둘 이상의 전송지점(TP: Transmission Point)이 사용자 단말(UE: User Equipment)에 서비스를 제공할 수 있는 다중 연결은, 신뢰성뿐만 아니라 향상된 데이터 전송률을 위한 필수 해결책으로 고려된다.

[0005] 다중 연결에 대한 이론적 연구는 다중 입력 다중 출력(MIMO)에서의 체감품질 향상을 위하여 협력적 다중 연결 전송의 필요성을 보여주었다. 공학적으로는 협력적 다중 연결 전송 개념이 더 높은 데이터 전송률과 스펙트럼의 효율을 제공한다는 것이 입증되었다.

[0006] 이러한 협력적 다중 연결 개념은 복수의 TP의 협력으로 전송된 신호의 간섭을 제거하기 위해 상호 억제하거나 데이터 속도를 증가시키기 위해 적절한 빔포밍 알고리즘에 근거한 구조적 구성의 추가를 필요로 한다.

[0007] 한편, 협력적 다중 연결 전송에 대한 종래 기술은 블록 대각선화 기법을 적용하여 협력적 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 네트워크에서 사용자간 간섭을 제거하고 있다. 또한 종래 기술에서는 다중 셀 MIMO 시스템에서의 제로-포싱빔포밍 기법에 의한 차선의 사용자 선택 알고리즘을 제안하고 있다.

[0008] 즉, 기지국별 전력 제약조건하에서 네트워크 용량을 극대화하기 위해, 블록 대각선화 프리코딩 기법에 기초한 공동 전송 알고리즘이 개발되어 사용되고 있다. 또한 종래 TP 간의 협력을 위해 게임 이론 기반의 접근법을 활용하고 있으며, 이로써 네트워크 가중치 합계 비율을 극대화하고 있다. 이러한 종래 기술은 용량 극대화를 시도한 것이나, 최소 사용자 체감품질을 고려하지 않은 문제가 있다.

[0009] 또한, LTE-A(Long Term Evolution Advanced) 네트워크에서 사용자 체감품질을 향상시키기 위해, 종래 협력 기지국간 간섭을 제한하면서 셀 가장자리의 UE를 지원하기 위한 공동 전송을 제안하고 있다.

[0010] 또한, 또 다른 종래 기술에서는 시스템의 사용자 체감품질을 개선하기 위해 WLAN(Wireless Local Area Network)의 전송 협력을 연구된 바 있다. 이러한 연구에서는 사용자 체감품질을 개선하기 위해 다중 연결 개념을 채택했지만, 용량 극대화가 제외되는 한계가 있었다. 더욱이, 종래의 연구에서는 모든 UE를 지원하기 위해 시스템의 모든 TP를 활용했지만, UE의 다양한 채널 조건으로 인해 각 UE에 필요한 TP의 수가 달라서 성능이나 효율이 떨어지는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 이에 본 발명에서는, 협력적 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 시스템에서 최소 체감품질을 고려하면서 네트워크 용량을 극대화하는 방안을 제안한다. 즉, 최소 품질을 충족하면서 네트워크 용량을 극대화하기 위해, 본 발명에서는 사용자간 간섭을 제거하는 빔포밍 설계와 가장자리(edge) 영역의 사용자 체감품질을 보장하기 위한 적응형 이중 연결 알고리즘을 제안한다.

[0012] 이러한 채널 조건과 최소 품질에 근거하여, 본 발명은 또한 UE(User Equipment)가 사용자 체감품질을 만족하기 위해 이중 연결이 필요한지를 식별하기 위한 UE 분류 알고리즘을 제안한다.

[0013] 그리고, 본 발명은 UE 분류 결과에 기초하여 네트워크 용량을 최대화하는 동시에 UE의 체감품질을 충족시키기 위한 전력 할당 알고리즘을 제안한다.

[0014] 다시 말해서, 본 발명은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 도출된 것으로, 본 발명의 목적은 5G NR 기반에서 사용자 단말이 하나 이상의 기지국들로부터 동시에 데이터를 수신하는 다중 연결 상황에서 사용자 전송률을 보장하는 방법과 그 방법을 실행하는 장치를 제공하는 데 있다.

[0015] 본 발명의 다른 목적은 다중 연결 환경을 포함한 일반적인 셀 환경의 SON(Self Organizing Network)에 적용하여 사용자 전송률을 보장할 수 있는 데이터 송수신 방법 및 장치를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0016] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 측면에 따른 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 방법은, 이동 통신 네트워크를 통해 사용자 단말과 연결된 기지국에 의해 실행되는 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 방법으로서, 사용자 단말 주변의 복수의 기지국들과 다중 연결 전송을 허용하는 사용자 단말을 분류하는 단계; 상기 다중 연결 전송의 허용으로 분류된 사용자 단말 중 최대한 많은 이중 연결 전송의 사용자 단말을 포함하도록 주변 기지국들과의 협력을 통해 제1 송신 전력을 할당하는 단계; 및 상기 할당된 제1 송신 전력에 따라 남겨지는 제2 송신 전력을 단일 연결 전송 대상의 사용자 단말을 최대 수용하도록 할당하는 단계;를 포함한다.

[0017] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 다른 측면에 따른 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 장치는, 이동 통신 네트워크를 통해 사용자 단말과 연결된 기지국에 의해 실행되는 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 장치로서, 사용자 단말 주변의 복수의 기지국들과 다중 연결 전송을 허용하는 사용자 단말을 분류하는 분류부; 상기 다중 연결 전송의 허용으로 분류된 사용자 단말 중 최대한 많은 이중 연결 전송의 사용자 단말을 포함하도록 주변 기지국들과의 협력을 통해 제1 송신 전력을 할당하는 송신전력할당부; 및 상기 할당된 제1 송신 전력에 따라 남겨지는 제2 송신 전력을 단일 연결 전송 대상의 사용자 단말을 최대 수용하도록 할당하는 잔여전력할당부;를 포함한다.

[0018] 일실시예에서, 상기 분류부, 상기 송신전력할당부 및 상기 잔여전력할당부는 소형셀이나 기지국의 제어장치의 무선자원관리 애플리케이션에 탑재되는 제1 모듈, 제2 모듈 및 제3 모듈을 포함한 소프트웨어 모듈들로 구현될 수 있다.

[0019] 일실시예에서, 상기 제1 송신 전력의 할당은 사용자 단말들 간의 간섭을 제거하는 하이브리드 빔포밍 설계와 경계 영역의 사용자 단말에서의 사용자 체감품질을 보장하기 위한 적응적 이중 연결 알고리즘에 기초하여 수행될 수 있다.

[0020] 여기서, 기지국들은 셀간 연결 링크를 통해 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)와 사용자 데이터를 실시간 공유할 수 있다. 그리고 상기 사용자 단말은 기준 신호 수신 전력(Reference Signals Received Power, RSRP)이 가장 좋은 전송 포인트의 기지국을 우선적으로 선택할 수 있다.

[0021] 또한, 상기 하이브리드 빔포밍 설계는 이중 연결 하향링크에서 사용자 단말들간 간섭을 억제하고 통신 품질을 보장하도록 블록 대각화(Block Diagram) 기법을 이용하여 기저대역 결합 행렬과 기저대역 프리코딩 행렬을 구하고, 클러스터 기반 밀리미터파 채널 모델에 대하여 원하는 달성 전송 속도(Achievable Rate)를 얻도록 특이값 분해(Singular Value Decomposition)를 계산하여 적용될 수 있다. 또한, 상대적으로 낮은 차원의 블록 대각화 처리를 위해 상기 기저대역 결합 행렬과 기저대역 프리코딩 행렬을 최대화하는 해를 구한 후에 유효 채널 행렬을 추가로 적용될 수 있다.

[0022] 일실시예에서, 상기 분류하는 단계는 네트워크 용량을 최대화하는 워터-필링(Water-filling) 알고리즘을 기반으로 단일 연결 전송이 기저국 영역 내 모든 사용자 단말의 최소품질을 만족하는 기저국의 가장 큰 송신 전력에 기초하여 수행될 수 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 의하면, 5G NR(New Radio) 기반에서 단말이 하나 이상의 기저국들로부터 동시에 데이터를 수신하는 다중 연결 상황에서 사용자 전송률을 보장할 수 있다.

[0024] 또한, 본 발명에 의하면, 다중 연결 환경을 포함한 일반적인 셀 환경의 SON(Self Organizing Network)에 적용하여 사용자 전송률을 보장할 수 있다.

[0025] 또한, 본 발명에 의하면, 협력적 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 시스템에서 최소 체감품질을 고려하면서 네트워크 용량을 극대화할 수 있다. 즉, 사용자간 간섭을 제거하는 빔포밍 설계와 가장자리(edge) 영역의 사용자 체감품을 보장하기 위한 적응형 이중 연결 알고리즘을 통해 최소 품질을 충족하면서 네트워크 용량을 극대화할 수 있다.

[0026] 또한, 본 발명에 의하면, 채널 조건과 최소 품질에 근거하여, UE(User Equipment)가 사용자 체감품을 만족하기 위해 이중 연결이 필요한지를 식별하기 위한 UE 분류 알고리즘을 제공할 수 있다. 그리고, UE 분류 결과에 기초하여 네트워크 용량을 최대화하는 동시에 UE의 체감품을 충족시키기 위한 전력 할당 알고리즘을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 본 발명에 관한 이해를 돕기 위해 상세한 설명의 일부로 포함되는, 첨부도면은 본 발명에 대한 실시예를 제공하고, 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 설명한다.

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 데이터 송수신 장치를 포함할 수 있는 무선 이중 연결 네트워크를 예시한 개념도이다.

도 2는 도 1의 무선 이중 연결 네트워크에서 본 실시예의 데이터 송수신 방법이 적용되는 시스템(Adaptive DC)와 비교예의 시스템(SC, MC)의 다른 최소 사용자 체감품질에서 사용자 체감품을 만족하는 UE(User Equipment)들의 백분율로 나타낸 그래프이다.

도 3은 도 1의 무선 이중 연결 네트워크에서 본 실시예의 데이터 송수신 방법이 적용되는 시스템(Adaptive DC)와 비교예의 시스템(SC, MC)의 각 최소 사용자 체감품질에 따른 네트워크 용량의 변화를 나타낸 그래프이다.

도 4는 도 1의 무선 이중 연결 네트워크에서 본 실시예의 데이터 송수신 방법이 적용되는 시스템(Adaptive DC)와 비교예의 시스템(SC, MC)의 각 시간의 변화에 따른 이중 연결 비율을 나타낸 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 방법에 대한 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 장치에 대한 블록도이다.

도 7은 도 6의 데이터 송수신 장치에 채용할 수 있고 SON 서버와 함께 네트워크의 최적화를 구현하는 최적화 모듈을 설명하기 위한 개략적인 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고

상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

- [0029] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0030] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0031] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0032] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가진 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0033] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0034] 명세서 전체에서 망(network)은, 예를 들어, WiFi(wireless fidelity)와 같은 무선인터넷, WiBro(wireless broadband internet) 또는 WiMax(world interoperability for microwave access)와 같은 휴대인터넷, GSM(global system for mobile communication) 또는 CDMA(code division multiple access)와 같은 2G 이동통신망, WCDMA(wideband code division multiple access) 또는 CDMA2000과 같은 3G 이동통신망, HSDPA(high speed downlink packet access) 또는 HSUPA(high speed uplink packet access)와 같은 3.5G 이동통신망, LTE(long term evolution)망 또는 LTE-Advanced망과 같은 4G 이동통신망, 및 5G 이동통신망 등을 포함할 수 있다.
- [0035] 명세서 전체에서 단말(terminal)은 이동국(mobile station), 이동 단말(mobile terminal), 가입자국(subscriber station), 휴대 가입자국(portable subscriber station), 사용자 장치(user equipment), 접근 단말(access terminal) 등을 지칭할 수도 있고, 단말, 이동국, 이동 단말, 가입자국, 휴대 가입자국, 사용자 장치, 접근 단말 등의 전부 또는 일부의 기능을 포함할 수도 있다.
- [0036] 여기서, 단말로 통신이 가능한 데스크탑 컴퓨터(desktop computer), 랩탑 컴퓨터(laptop computer), 태블릿(tablet) PC, 무선전화기(wireless phone), 모바일폰(mobile phone), 스마트 폰(smart phone), 스마트 워치(smart watch), 스마트 글래스(smart glass), e-book 리더기, PMP(portable multimedia player), 휴대용 게임기, 네비게이션(navigation) 장치, 디지털 카메라(digital camera), DMB (digital multimedia broadcasting) 재생기, 디지털 음성 녹음기(digital audio recorder), 디지털 음성 재생기(digital audio player), 디지털 영상 녹화기(digital picture recorder), 디지털 영상 재생기(digital picture player), 디지털 동영상 녹화기(digital video recorder), 디지털 동영상 재생기(digital video player) 등을 사용할 수 있다.
- [0037] 명세서 전체에서 기지국(base station)은 접근점(access point), 무선 접근국(radio access station), 노드 B(node B), 고도화 노드B(evolved nodeB, eNodeB), 송수신 기지국(base transceiver station), MMR(mobile multihop relay)-BS 등을 지칭할 수 있고, 기지국, 접근점, 무선 접근국, 노드B, eNodeB, 송수신 기지국, MMR-BS 등의 전부 또는 일부의 기능을 포함할 수 있다.

[0039] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 데이터 송수신 장치를 포함할 수 있는 무선 이중 연결 네트워크를 예시한 개념도이다.

[0040] 시스템 모델

[0041] 본 실시예에서 사용하는 시스템 모델과 가정을 정의하면 다음과 같다.

[0042] 도 1을 참조하면, 먼저, 처리량을 개선하기 위해 다수의 전송지점(TP: Transmission Point)이 공동 전송 방식을 통해 UE(User Equipment)에 동시에 서비스할 수 있는 협력 MIMO(Multi-Input Multi-Output)를 고려한다. 이러한 협력 MIMO는 여러 TP에서 데이터를 협력적으로 이용할 수 있게 하여, 동일한 시간 빈도 자원으로 하나의 UE 또는 복수의 UE에 데이터를 전달할 수 있다. 전송지점(TP)은 LTE 기지국, 소형셀 기지국 등을 포함할 수 있다.

[0043] 다중 연결된 UE의 집합을 $\mathcal{U}$ 그리고 협력 TP의 집단에 의해 제공된 것을 $\mathcal{T}$ 라고 정의한다. 실제로, 도 1과 같이 여러 개의 다중 연결 UE 집단과 해당 TP 집단이 있을 수 있다. 예를 들어, $\mathcal{U}_1$ 과 $\mathcal{U}_2$ 는 각각 $\mathcal{T}_1$ 과 $\mathcal{T}_2$ 에 의해 독립적으로 제공된다. 여기서 TP 시스템의 TP의 개수는 N_{TP} 가 된다.

[0044] MIMO 시스템은 밀리미터파(millimeter Wave, mmWave) 주파수에서 작동하며, TP와 UE는 완전히 연결된 하이브리드 빔포밍 구조를 갖는다. 빔포밍을 위해, 하나의 TP가 N_a 안테나와 N_{rf} 라디오 주파수(RF: radio frequency) 체인을 가진다. 각각의 UE는 M_a 안테나와 M_{rf} RF 체인을 가지고 있다. 단일 데이터 스트림은 각각의 UE에서 사용된다.

[0045] 채널들이 블록 페이딩(fading)을 경험한다고 할 때, 입력과 출력에서 사용자의 $u \in \mathcal{U}$ 는 일반적으로 하기 수학식 1과 같이 정의된다.

수학식 1

$$y_u = W_{bb_u}^H W_{rf_u}^H \sum_{j \in \mathcal{T}} \left(H_{j,u} F_{rf_j} F_{bb_{ju}} s_u + \sum_{v \in \mathcal{U}, v \neq u} H_{j,u} F_{rf_j} F_{bb_{jv}} s_{j,v} + n_u \right)$$

[0047] 여기서 s_u 는 $E[s_u s_u^H] = 1$ 인 UE u 에 대한 송신 베이스 밴드 신호($E[x]$ 는 x 의 기대치를 나타내며, x^H 는 x 의

복합공역 전치벡터)이다. $H_{j,u} \in \mathbb{C}^{M_a \times N_a}$ 는 TP j 로부터 UE u 의 채널행렬로, $n_u \in \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ 은 가산

성 복소 가우시안 잡음(Additive complex Gaussian noise)으로 동일하고 독립적으로 분포한다. $F_{bb_{ju}}$ 는 K 사용자들을 위한 TP j 의 기저대역 프리코딩(precoding) 행렬 $N_{rf} \times K$ 이다. $F_{bb_{ju}}$ 는 UE u 를 위한 TP j 의 기저대역 프리코딩 행렬 $N_{rf} \times 1$ 이다. $F_{bb_{ju}}$ 는 TP j 의 기저대역 프리코딩 행렬이다. $W_{bb_{ju}}$ 는 TP j 를 위한 UE u 의 기저대역 결합 벡터 $M_{rf} \times 1$ 이며, W_{rf_u} 는 RF 결합 행렬 $M_a \times M_{rf}$ 이다.

[0048] 다중연결 전송을 더 살펴보기 위해, 수학식 1을 하기 수학식 2와 같이 표현할 수 있다.

수학식 2

$$y_u = W_{bb_u}^H \tilde{H}_u F_{bb_u} s_u + \sum_{u \in \mathcal{U}, v \neq u} W_{bb_u}^H \tilde{H}_u F_{bb_v} s_v + W_{bb_u}^H W_{rf_u}^H n_u$$

[0050] 여기서, $\tilde{H}_{j,u} \in \mathbb{C}^{M_{rf} \times N_{rf}}$ 는 효율적인 채널 행렬이고, 이는 수학식 3과 같이 표현될 수 있다.

수학식 3

[0051]

$$\tilde{H}_{j,u} = W_{rfu}^H H_{j,u} F_{rfj}$$

[0052]

여기서, $\tilde{H} = [\tilde{H}_1, u, \dots, \tilde{H}_{|T|}, u]$ 이다. 피연산자 $|\cdot|$ 는 집합의 수를 의미한다. Q_u 를 UE u 의 전력 부하 계수로 정의할 때, UE u 를 위한 달성 전송 속도(achievable rate)는 하기 수학식 4와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

[0053]

$$R_u = \log_2 \left(1 + D_u^{-1} W_{bbu}^H \tilde{H}_u F_{bbu} Q_u F_{bbu}^H \tilde{H}_u^H \right)$$

[0054]

여기서, D_u 는 하기 수학식 5와 같이 표현될 수 있다.

수학식 5

[0055]

$$D_u = \sum_{u \in U, v \notin u} W_{bbu}^H \tilde{H}_u F_{bbv} P_v F_{bbv}^H \tilde{H}_u^H W_{bbu} + W_{bbu}^H W_{rfu} W_{rfu} W_{bbu} \sigma^2$$

[0057]

밀리미터파(mmWave) 채널의 제한된 산란 특징을 모의실험하기 위해 무선 채널 모델은 클러스터 기반 mmWave 채널 모델을 사용한다.

[0058]

TP j 의 UE k 에 대한 mmWave 채널 $H_{j,k}$ 는 다음과 같이 표현된다:

[0059]

$$H_{j,k} = \sqrt{\frac{N_a M_a}{\mu_{j,k} N_C N_P}} \sum_{m=1}^{N_C} \sum_{n=1}^{N_P} \alpha_{m,n}^{j,k} a_{UE}^{j,k}(\theta_{m,n}^{j,k}) a_{TP}^{j,k}(\phi_{m,n}^{j,k})$$

[0060]

여기서, $\mu_{j,k}$ 는 TP j 에서 UE k 까지 그림자 페이딩 (Shadow fading)를 포함한 대규모 경로 손실이며, N_C 는 클러스터의 수, N_P 는 한 클러스터에서 파생되는 무선 경로의 수, $\alpha_{m,n}^{j,k}$ 은 클러스터 m 에서 무선 경로 n 의 복합 이득, $a_{UE}^{j,k}(\theta_{m,n}^{j,k})$ 와 $a_{TP}^{j,k}(\phi_{m,n}^{j,k})$ 는 $\theta_{m,n}^{j,k}$ 와 $\phi_{m,n}^{j,k}$ 의 방위각에서 수신 및 송신선 모양의 독립적인 무선 경로, $\theta_{m,n}^{j,k}$ 와 $\phi_{m,n}^{j,k}$ 은 각각 도착각(AoA)과 출발각(AoD)으로, 0에서 2π 까지 균일하게 분포되어 있다.

[0061]

균일한 선형 배열(ULA: Uniform Linear Array) 안테나 배치를 고려한다고 가정할 때, 각 무선 경로의 배열 응답 벡터 $a(\theta)$ 는 하기 수학식 6과 같이 특정될 수 있다.

수학식 6

$$\mathbf{a}(\theta) = \frac{1}{\sqrt{L_a}} \left[1, e^{j2\pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta}, \dots, e^{j(L_a-1)2\pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta} \right]^T$$

수학식 6에서, L_a 는 안테나 요소의 수, λ 는 파장, d 는 요소 간 거리를 나타낸다. 본 실시예에서는, λ 의 절반 간격을 고려한다(예를 들면, $\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{2}$).

본 실시예에서는 TP들이 셀간 연결 링크를 통해 채널 상태 정보(CSI Channel state information)와 사용자 데이터를 매우 적은 시간지연을 갖고 공유한다고 가정한다. 그러므로, 동기화 지연은 무시할 수 있다. 더욱이, CSI는 송신기와 수신기에서 알려진 것으로 가정한다.

최소 채널품질을 고려하면서 총 용량을 극대화하기 위해, 본 실시예에서는 최적화 문제를 다음의 수식과 같이 제안한다:

$$\begin{aligned} \text{(P1): } & \max_{\{F_{bb}, F_{rf}, W_{bb}, W_{rf}\}} \sum_{u \in \mathcal{U}} R_u \\ \text{s. t. } & \sum_{u \in \mathcal{U}} \text{Tr} \left(F_{bb,j,u} F_{rf,j} F_{rf,j}^H F_{bb,j,u}^H \right) \leq P_{\max}, j \in \mathcal{T}, R_u \geq R_{\min} \end{aligned}$$

여기서, $P_{\max}$ 와 $R_{\min}$ 은 각각 최대 전송 강도와 최소 필요 처리량을 의미한다. 제안된 최적화 문제는 시스템이 UE의 최소 사용자 채널품질을 만족시키기 위해 모든 TP를 포함하는 다중 연결 전송을 고려한다. 그리고 무선 연결은 높은 전파 손실을 일으킬 우려가 있기 때문에, 전력 할당 효율을 높이기 위해 본 실시예에서는 이중 연결을 고려한다.

이하에서는 최적화 문제(P1)를 해결하기 위해 다중 연결 전송을 위한 하이브리드 빔포밍 설계에 대해 설명한다. 그런 다음, UE 분류 알고리즘과 전력 할당 알고리즘에 대해 설명하기로 한다.

하이브리드 빔포밍 설계

본 실시예에서는 다중 연결 전송만큼이나 사용자들 간의 간섭을 막고 큰 안테나 이득을 가지는 하이브리드 빔포밍을 사용한다.

이를 위해, 먼저 고려할 것은, RF 설계의 목표는 큰 빔포밍 이득을 취득하여 높은 채널 손실을 보상하는 것이다.

즉, 첫번째로, 다음의 수식으로 표현되는 최적화 문제의 해를 찾으므로 각 UE의 결합 RF 행렬을 극대화할 수 있다:

$$\max_{W_{rf,u} \in \mathcal{W}} \sum_{i \in \mathcal{J}} \left\| (W_{rf,u})^H H_{j,u} \right\|_1^2.$$

여기서, $\mathcal{W}$ 는 공간 주파수 (spatial frequency)가 $2\pi d/\lambda \sin \theta$ 일 때, $M_a \times M_a$ 차원의 이산푸리에변환 (DFT: Discrete Fourier Transform) 행렬을 의미한다.

행렬 $W_{rf,u}$ 가 주어지고 $\hat{H}_{j,|u|}^T = W_{rf,u} H_{j,u}$ 일 때, 행렬 $\hat{H}_j$ 를 $\hat{H}_j = [\hat{H}_{j,1}^T, \dots, \hat{H}_{j,|u|}^T]^T$ 와 같이 정의할

수 있다.

[0078] 그러면, $\xi_{j,u}$ 가 $\hat{H}_j^T$ 의 (j,u) 번째 단계의 요소이므로, 동일한 이득 전송 알고리즘을 기반으로 $F_{rfj} = \frac{1}{\sqrt{N_a}} e^{i\xi_{j,u}}$ 를 구할 수 있다.

[0080] 다음으로, 이중 연결 하향링크에서 사용자간 간섭을 억제하기 위해, 블록 대각화(BD: Block Diagram) 기법을 이용하여 기저대역 결합 행렬과 프리코딩 행렬(W_{bb} 와 F_{bb})을 구한다.

[0081] 낮은 차원의 블록 대각화(BD) 처리를 위해, 유효 채널 행렬(effective channel matrix)을 고려한다.

[0082] 위의 수학적식 5로부터 $\bar{H}_u F_{bbu} = 0, \forall u \neq v$ 인 행렬 F_{bb} 를 설계하면, UE u 에 대한 행렬 결합은 하기 수학적식 7과 같이 표현될 수 있다.

수학적식 7

[0083]
$$\bar{H}_u = [\tilde{H}_1^T, \dots, \tilde{H}_{u-1}^T, \tilde{H}_{u+1}^T, \dots, \tilde{H}_{|u|}^T]^T$$

[0084] 수학적식 7에서, BD의 기본은 영공간(Null space) $\bar{H}_u$ 에 속해 있는 F_{bbu} 를 구하는 것이다. 특이값 분해(SVD: Singular Value Decomposition)에 따라, F_{bbu} 를 구할 수 있다. SVD의 $\bar{H}_u$ 는 하기 수학적식 8과 같이 표현될 수 있다.

수학적식 8

[0085]
$$\bar{H}_u = \bar{U}_u \bar{\Sigma}_u [\bar{V}_u^1, \bar{V}_u^0]^H$$

[0086] 위의 수학적식 8에서, $\bar{V}_u^1 \in \mathcal{C}^{2|u|M_{rf} \times (|u|-1)M_{rf}}$ 는 $\bar{H}_u$ 의 첫번째 오른쪽 특이 벡터 $(|u|-1)M_{rf}$ 를 포함하며, $\bar{V}_u^0$ 은 $\bar{H}_u$ 의 영공간 오른쪽 마지막 특이 벡터 $2|u|M_{rf} - (|u|-1)M_{rf}$ 를 포함한다. 그리고 $\bar{H}_u$ 의 계수(rank)는 $2|u|M_{rf} > (|u|-1)M_{rf}$ 를 만족한다.

[0087] 그리고, F_{bbu} 가 $\bar{H}_u$ 의 영공간에 있을 때, 수학적식 2를 다음과 같이 다시 표현할 수 있다:

[0088]
$$y_u = W_{bbu}^H \tilde{H}_u F_{bbu} s_u + W_{bbu}^H W_{rfu}^H n_u$$

[0090] 최적의 달성 전송 속도(achievable rate)를 얻기 위해, SVD를 하기 수학적식 9와 같이 계산한다.

수학적식 9

[0091]
$$\tilde{H}_u \bar{V}_u^0 = \tilde{U}_u \tilde{\Sigma}_u \tilde{V}_u^{0H}$$

[0092] 하기 [표 1]은 매개 변수를 요약한 것이다.

표 1

Parameter	Description
$H_{j,u}$	UE u 와 TP j 간의 채널 행렬
F_{bbj}	TP j 의 기저밴드 프리코딩 행렬
F_{rfj}	TP j 의 RF 프리코딩 행렬
$F_{j,u}$	UE u 를 위한 TP j 의 전체 프리코딩 행렬
W_{bbu}	UE u 의 기저밴드의 결합 행렬
W_{rfu}	UE u 의 RF 결합 행렬
$\tilde{H}_{j,u}$	UE u 와 TP j 의 유효 채널 행렬
$\bar{H}_u$	BD 기술을 위한 유효 행렬 결합
$g_{j,k}$	단일 연결 UE k 와 TP j 간의 채널 품질
g_u	이중 연결 UE u 간의 채널 품질
$P_{j,k}^{min}$	SC UE k 가 최소 사용자 체감품질의 필요치 충족을 위한 TP j 의 최소 파워
P_{DCj}^{max}	이중 연결을 위한 SC UE k 의 최대 파워
$\mathcal{U}_n$	n 번째 이중 연결 UE 집합
$\mathcal{U}_{total}$	시스템에서 이중 연결 UE의 집합
$\mathcal{U}^\dagger$	시스템에서 최적으로 설정된 이중 연결 UE 집합
$\mathcal{J}_n$	$\mathcal{U}_n$ 를 서비스하는 n 번째 TP 집합
$\mathcal{K}_j$	TP j 의 단일 연결 UE 집합
$\tilde{\mathcal{K}}_j$	TP j 의 최적 단일 연결 UE 집합

[0093]

[0094]

위의 수학적식과 관련하여 $A^{(1)}$ 이 행렬 A 의 첫번째 열이라고 할 때, F_{bbu} 와 W_{bbu} 의 최적인 프리코딩과 결합 기저밴드 행렬은 $\tilde{V}_u^0 \tilde{V}_u^{(1)}$ 와 $\tilde{U}_u^{(1)}$ 이다. 그리고 TP j (이하 '제1 TP'라고 한다) 안에 있는 이중 연결 UE들의 전체 프리코딩 행렬은 다음과 같이 표현할 수 있다:

[0095]

$$F_{DCj} = [F_{rfj}F_{bbj,1}, \dots, F_{rfj}F_{bbj,|u|}]$$

[0097]

기저대역 프리코딩 행렬과 결합 행렬을 통해, UE들 간의 간섭이 제거되며 수학적식 4의 달성 전송 속도 (achievable rate)는, $\hat{\Sigma}_u^*$ 가 대각 특이행렬 $\hat{\Sigma}_u$ 에서 첫번째 그리고 제일 큰 특이값일 때, $R_u = \log_2(1 + \sigma^{-2}(\hat{\Sigma}_u^*)^2 Q_u)$ 로 표현될 수 있다.

[0098]

UE가 단일 TP에서 서비스를 받을 수 있기 때문에, BD 기법을 단일 연결 전송에 적용할 수 있다. UE가 기준 신호 수신 전력(RSRP: Reference Signals Received Power)이 가장 좋은 최적의 TP를 선택하는 것을 가정하면, 제1 TP에 단일 연결된 UE들의 집합을 $\mathcal{K}_j$ 로 정의할 수 있고, UE $k \in \mathcal{K}_j$ 는 수학적식 3의 연결 행렬 $\tilde{H}_{j,k}$ 를 수학적식 7, 수학적식 8, 수학적식 9로부터 구할 수 있다.

[0099]

그러면 UE k 에 대한 제1 TP의 기저대역 프리코딩 벡터 $F_{bbj,k}$, UE k 에 대한 제1 TP의 기저대역 결합 벡터 W_{bbj} , UE k 와 제1 TP의 채널 중에서 가장 큰 특이값 $\hat{\Sigma}_{j,k}^*$ 를 얻을 수 있다. 즉, 본 실시예에 의하면, 셀 간의 mmWave 채널 전파 손실로 단일 연결 UE들에 대한 셀 간의 간섭은 상대적으로 작아져 무시할 수 있다.

[0101]

전력 할당 알고리즘

[0102] 본 실시예에서는 이중연결 전송을 통해 품질을 보장하면서 네트워크 용량을 최대화 하는 전력 할당 알고리즘을 제시한다.

[0103] 채널 환경과 요구되는 품질에 따라 일부 UE들은 하나의 연결로 충분하나 다른 UE들은 이중 연결 전송이 필요하다. 따라서, 본 실시예에서는 먼저 이중 연결 통신 전송을 필요로 하는 UE들을 판별한다. 그런 다음 이중연결 통신의 품질을 최대화하기 위해 전력을 할당한다. 그리고 남은 전력을 단일 연결 전송 기기들의 비율을 최대화 만드는데 사용한다.

[0104] 전력 할당 알고리즘을 정리하면 다음의 표 2와 같다.

표 2

알고리즘 1 적응형 이중 연결 전력 할당 알고리즘

- 1: UE들을 단일연결과 이중연결로 분류한다. (알고리즘 2)
- 2: 최대한 많은 이중 연결 UE들을 충족시키기 위해 전력을 할당한다.
- 3: (P3)를 풀어 남은 전력을 네트워크 수용성을 최대화시키는데 사용한다.

[0105]

[0106] 다음으로, UE를 분류하는 알고리즘은 네트워크 용량을 최대화하는 워터-필링(water-filling) 알고리즘을 기반으로 할 수 있다. 이 알고리즘은 단일 연결 전송이 모든 UE들의 최소 품질을 만족할 수 있는지 검토하는데 사용된다.

[0107] 좀더 구체적으로 설명하면, 각각의 제1 TP에 대하여 UE 분류 알고리즘은 채널 품질 $\bar{\Sigma}_{j,k}(k = 1, \dots, |\mathcal{K}_j|)$ 에 따라 정렬된 리스트 $\bar{\mathcal{K}}_j$ 를 얻기 위해 단일 연결 UE 리스트 K_j 를 나열한다. 그리고 단일 연결 전송 기기 리스트 K_j 를 분류한다.

[0108] 그리고, 어떤 UE가 단일 연결 전송을 수행할 수 없는지 파악하기 위해, UE $\tilde{k} \in \bar{\mathcal{K}}_j$ 에서 최소 사용자 체감품질을 만족하는 조건 하에 단일 연결 전송의 최소 전력을 계산한다. 최소 전력은 하기 수학적식 10과 같이 표현될 수 있다.

수학적식 10

$$P_{j,k}^{min} = \|F_{j,k}\|^2 \left(\frac{2^{R_k^{min}} - 1}{g_{j,k}^2} \right)$$

[0109]

[0110] 수학적식 10에서, $g_{j,k} = \sigma^{-2}(\hat{\Sigma}_{j,k}^*)^2$ 는 제1 TP에서 UE $\hat{k}$ 로 단일 연결 전송시에 얻는 채널 이득이다. $\|\bullet\|$ 은 norm-2 연산을 의미한다.

[0111] 한편, 수학적식 10에서 최소 전력 $P_{j,k}^{min}$ 는 채널 이득 $g_{j,k}$ 와 역수 관계이므로, $\bar{\mathcal{K}}_j$ 의 마지막 UE는 최소 품질을 만족시키기 위해 가장 큰 전력이 필요하다.

[0112] 그런 이유로 채널의 조건으로 인해 모든 UE가 단일 연결을 만족할 수 없으므로 제1 TP의 최적의 단일 연결 통신 리스트를 찾아야 한다.

[0113] 제1 TP의 최적의 단일 연결 통신 리스트를 얻기 위해 UE 분류 알고리즘은 $\sum_{k=1}^{|\bar{\mathcal{K}}_j|} P_{j,k}^{min} \leq P_{max}$ 를 만족시키는 $\bar{\mathcal{K}}_j$ 의 마지막 UE를 제거한다. UE 분류 알고리즘은 단일 연결로 만족시키지 못하는 UE를 이중 연결 UE 집합에 저

장하며 $\mathcal{U}_{total}$ 이라 지칭한다.

[0114] 각각의 UE $u \in \mathcal{U}_{total}$ 에 대하여 이중 연결 통신을 위한 두번째 TP는 두 번째로 큰 RSRP에 근거하여 결정된다. 이 경우, 이중 연결 UE들은 다른 TP 쌍으로부터 제공받을 수 있기에 이중 연결 UE들을 TP 쌍으로 그룹화할 수 있다.

[0115] 위에서 살핀 바와 같이, 예를 들어 도 1에서 UE1과 UE2를 포함하는 이중 연결 UE 집합 $\mathcal{U}_1$ 은 TP1과 TP2로 이루어진 TP 집합 $\mathcal{T}_1$ 에 의해 연결이 제공된다. 마찬가지로, UE4만을 포함하는 이중 연결 UE 집합 $\mathcal{U}_2$ 는 TP1과 TP3로 이루어진 TP 집합 $\mathcal{T}_2$ 에 의해 연결이 제공된다.

[0116] UE 분류 알고리즘(사용자 분류 알고리즘 또는 알고리즘 2)을 요약하면 다음의 [표 3]과 같다.

표 3

알고리즘 2 사용자 분류 알고리즘

- 1: 입력: $F_{j,k}, \bar{\Sigma}_{j,k}, j = 1, \dots, N_{TP}, k = 1, \dots, |K_j|$.
- 2: 출력: U_n 들과 대응되는 $T_n, \tilde{K}_j, j = 1, \dots, N_{TP}$
- 3: **for each** TP j **do**
- 4: 단일 연결 채널 품질 $\bar{\Sigma}_{j,k} (k = 1, \dots, |K_j|)$ 을 바탕으로 단일 연결 UE 목록 K_j 을 오름차순으로 정렬하여 목록 $\tilde{K}_j$ 를 얻는다.
- 5: (10)을 통해 $P_{j,k}^{min} (k = 1, \dots, |K_j|)$ 를 계산한다.
- 6: **while** $\sum_{k=1}^{|K_j|} P_{j,k}^{min} > P_{max}$ **do**
- 7: $\tilde{K}_j$ 의 마지막 리스트의 UE를 제거하고 UE를 이중 연결 집합 $\mathcal{U}_{total}$ 에 입력한다.
- 8: **end while**
- 9: **end for**
- 10: **for** 이중 연결 UE집합 U **do**
- 11: RSRP를 바탕으로 두번째로 좋은 TP를 찾는다.
- 12: **end for**
- 13: $\mathcal{U}_{total}$ 에서 공통된 TP를 가지는 이중 연결 UE들을 그룹 지어 U_n 과 이에 대응되는 T_n 을 찾는다.

[0117]

[0119] 이하에서는 단일 연결 UE들의 전송 속도합(sum rate)을 최대화함과 동시에 이중 연결 전송 UE들의 품질을 만족시킬 수 있는 전력 할당 알고리즘을 좀더 상세히 설명하기로 한다.

[0120] 네트워크 용량을 최대화하면서 요구되는 품질을 충족시키기 위해 이중 연결 통신 UE들에게 전력을 할당하고 남은 전력은 단일 연결 UE들로 네트워크 용량을 극대화한다.

[0121] 이를 위해, 먼저 각 이중 연결 UE의 채널 품질을 만족할 수 있는 전력을 계산한다. 이중 연결 UE u 에 포함된 각각의 제1 TP에 대하여 이중 연결 UE를 위해 할당된 최소 전력은 하기 수학식 11과 같이 표현될 수 있다.

수학식 11

$$P_{j,u}^{min} = \|F_{j,u}\|^2 \left(\frac{2^{R_u^{min}} - 1}{g_u^2} \right)$$

[0122]

[0123] UE u 에 대응되는 TP집합으로부터 이중 연결 전체 채널 이득 g_u 은 $\sigma^{-2}(\hat{\Sigma}_{j,k}^*)^2$ 이다.

[0124] 모든 이중 연결 UE들은 전력의 한계로 인해 동시에 동작할 수 없는 경우가 있으므로 $\mathcal{U}_{total}$ 로부터 $\mathcal{U}^\dagger$ 라 불리는 최적의 부분집합을 구하여야 한다.

[0125] 최종적으로 $\mathcal{U}^\dagger$ 를 얻기 위해 아래의 수식과 같이 최적화 문제를 풀 수 있다:

$$(P2): \max |\mathcal{U}^\dagger|$$

$$\text{s. t. } \sum_{u \in \mathcal{U}^\dagger} \|F_{j,u}\|^2 Q_u^{\min} \leq P_{DC_j}^{\max}, j = 1, \dots, N_{TP}$$

$$Q_u \geq 0, u \in \mathcal{U}^\dagger$$

[0127] 만약 제1 TP가 서비스할 UE u 가 없으면, $\|F_{j,u}\|^2 Q_u^{\min} = 0$ 이다.

[0128] 그리고 이중 연결 UE 집합 $\mathcal{U}^\dagger$ 를 다음과 같은 과정을 통하여 얻을 수 있다.

[0129] 먼저, $\mathcal{U}^\dagger$ 를 $\mathcal{U}^\dagger = \mathcal{U}$ 와 같이 $\mathcal{U}$ 로 초기화 한다.

[0130] 다음, 각각의 제1 TP가 UE들의 이중 연결성을 만족하기 위해 제1 TP에 대하여 남아 있는 최대전력 $P_{DC_j}^{\max}$ 는 하기 수학적 식 12와 같이 계산될 수 있다.

수학적 식 12

$$P_{DC_j}^{\max} = P_{\max} - \sum_{\tilde{k}=1}^{|\tilde{K}_j|} P_{j,\tilde{k}}^{\min}$$

[0132] 수학적 식 12에 의하면, 제1 TP가 제공하는 이중 연결 UE들은 $P_{j,u}^{\min}$ 을 바탕으로 오름차순으로 정렬될 수 있다. 이중 연결성은 매크로 기지국과 소형셀 기지국이 서로 다른 주파수를 사용하는 환경에서 단말이 매크로 기지국과 소형셀 기지국에 동시에 연결하는 것을 포함할 수 있다.

[0134] 분류 과정 이후에 전력 할당 알고리즘은 리스트 상에서 가장 최근의 UE를 반복적으로 제거하고 이중 연결 전송에 사용되는 전력이 $P_{DC_j}^{\max}$ 를 넘지 않을 때까지, 즉 $\sum_{u \in \mathcal{U}^\dagger} \|F_{j,u}\|^2 Q_u^{\min} \leq P_{DC_j}^{\max}$ 의 조건을 만족할 때까지 이중 연결 UE 집합 $\mathcal{U}^\dagger$ 를 추출할 수 있다.

[0135] $\mathcal{U}^\dagger$ 가 만들어진 후 각각의 제1 TP를 위한 이중 연결 전력의 전체 전력 P_{DC_j} 를 하기 수학적 식 13과 같이 계산할 수 있다.

수학적 식 13

$$P_{DC_j} = \sum_{u \in \mathcal{U}^\dagger} \|F_{j,u}\|^2 Q_u^{\min}$$

[0138] 이중 연결 UE 집합 $\mathcal{U}^\dagger$ 를 얻기 위한 이중연결의 전력 할당 알고리즘(알고리즘 3)을 정리하면 아래의 [표 4]와 같다.

표 4

알고리즘 3 이중연결의 전력 할당 알고리즘

```

1:  입력:  $F_{SC_j}, \bar{S}_{j,k}, j = 1, \dots, N_{TP}, k = 1, \dots, |K_j|$ .
2:  출력:  $U^+$  and  $P_{DC_j}, j=1, \dots, N_{TP}$ 
3:  for UE  $u \in U$  do
4:    (11)을 이용하여 각 TP j에 대한  $P_{j,u}^{min}$ 를 계산한다.
5:  end for
6:   $U = U^+$ 로 설정
7:  for 시스템의 각 TP j do
8:    (12)를 이용해  $P_{DC_j}^{max}$  계산
9:    최소 전력을 바탕으로 TP j의 영향을 받는 이중 연결 UE들을 분류한다.
10:   (13)을 이용하여  $P_{DC}$ 를 계산한다.
11:   while  $P_{DC_j} > P_{DC_j}^{max}$  do
12:     TP j와  $U^+$ 로부터 마지막 UE를 제거한다.
13:   end while
14: end for

```

[0139]

[0140] UE들의 이중 연결을 완료한 이후에 각 제1 TP에 남은 전력을 이용하여 단일 연결 UE들의 전송 속도합을 최대화 한다.

[0141] 제1 TP의 최소 전력 $P_{SC_j}^{max}$ 는 다음의 수식과 같이 얻을 수 있다:

[0142]
$$P_{SC_j}^{max} = P_{max} - P_{DC_j}$$

[0143] 각각의 제1 TP에 대하여 본 실시예에서는 다음의 수학적 14의 최적화 문제(P3)에 따라 단일 연결 UE들의 전력을 할당할 수 있다.

수학적 14

$$\begin{aligned}
 & (P3): \max \sum_{\tilde{k}=1}^{|\tilde{\mathcal{K}}_j|} R_{\tilde{k}} \\
 & \text{s. t. } \sum_{\tilde{k}=1}^{|\tilde{\mathcal{K}}_j|} \|F_{j,\tilde{k}}\|^2 Q_{j,\tilde{k}} \leq P_{SC_j}^{max},
 \end{aligned}$$

$$Q_{j,\tilde{k}} \geq 0, j = 1, \dots, |\tilde{\mathcal{K}}_j|$$

$$R_{\tilde{k}} \geq R_{\tilde{k}}^{\min}$$

[0144]

[0145] 위의 수학적 14에서 최적화 문제(P3)는 볼록 최적화 문제(Convex optimization problem)이고 제약 조건이 타당 하기에 워터-필링(water-filling) 방법으로 해결할 수 있다.

[0147] 이하에서는 네트워크 용량과 최소품질을 만족하는 UE의 비율을 비교하여 본 실시예에 따른 알고리즘의 효율을

평가한 결과를 제시한다.

- [0148] 도 2는 도 1의 무선 이중 연결 네트워크에서 본 실시예의 데이터 송수신 방법이 적용되는 시스템(Adaptive DC)와 비교예의 시스템(SC, MC)의 다른 최소 사용자 체감품질에서 사용자 체감품질을 만족하는 UE(User Equipment)들의 백분율로 나타낸 그래프이다. 도 3은 도 1의 무선 이중 연결 네트워크에서 본 실시예의 데이터 송수신 방법이 적용되는 시스템(Adaptive DC)와 비교예의 시스템(SC, MC)의 각 최소 사용자 체감품질에 따른 네트워크 용량의 변화를 나타낸 그래프이다. 그리고, 도 4는 도 1의 무선 이중 연결 네트워크에서 본 실시예의 데이터 송수신 방법이 적용되는 시스템(Adaptive DC)와 비교예의 시스템(SC, MC)의 각 시간의 변화에 따른 이중 연결 비율을 나타낸 그래프이다.
- [0149] 시뮬레이션
- [0150] 도 2 내지 도 4에 도시한 바와 같이, 본 실시예에 따른 데이터 송수신 방법을 위한 적응력 있는 이중 연결 알고리즘(Adaptive DC)과 비교예의 두 가지 알고리즘(단일 연결 알고리즘인 SC 알고리즘, 그리고 다중 TP를 포함하는 다중 연결(MC) 알고리즘)에 대한 모의 실험을 통한 성능 비교 분석 결과를 나타내었다.
- [0151] 모의 실험은 7개의 TP ($N_{TP}=7$) 그리고 각 TP당 12개의 UE들을 서비스하는 것으로 초기 설정을 하였다. TP들은 50m 간격으로 규칙적으로 배치하였다. TP의 최대 전송 전력은 30dBm이다. 100MHz 대역폭의 28GHz 반송 주파수를 이용하였다. 수신단에서 노이즈 전력(noise figure)은 10dB이다. 모든 알고리즘은 하이브리드 빔포밍을 가정하였다. 그리고, $N_a = 256$, $N_{rf} = 48$, $M_a = 8$, $M_{rf} = 4$ 를 빔포밍 변수로 사용하였다.
- [0152] 또한, $N_C = 3$, $N_p = 2$ 로 설정하여 채널을 생성하였다. UE는 3km/h로 랜덤하게 걷는 것으로 설정하였다. 시스템의 모든 UE에게 동일한 최소 품질을 설정하였다.
- [0153] 모의 실험 결과, 도 2에 나타낸 바와 같이, 본 실시예에 따른 알고리즘과 비교예의 두 알고리즘에서 최소 사용자 체감품질은 100Mbps, 200Mbps, 300Mbps로 변환에 따라 만족시키는 UE들의 비율을 확인할 수 있다.
- [0154] 본 실시예(Adaptive DC)의 방법은 모든 UE를 만족시키는데 반해 비교예 1의 SC 방법은 일부분만을 만족시키고 있다. 이는 SC 알고리즘이 최소 요구 품질을 무시하고 셀의 가장자리에 있는 UE들을 TP 하나로 서비스하기 때문에 무선환경이 나쁘다는 것을 나타낸다.
- [0155] 비교예 2의 MC 알고리즘은 100Mbps, 200Mbps의 최소 품질에 대하여 모든 UE들을 만족시키고 있지만, 300Mbps의 최소 사용자 체감품질에서 최소 품질을 만족시킬 수 있는 UE의 비율은 50% 이하이다. 즉, MC 알고리즘은 UE를 지원하기 위해 모든 TP들을 요구하기 때문에 UE가 TP로부터 너무 멀리 떨어진 경우 전력이 비효율적으로 할당될 수 있음을 보여준다.
- [0156] 이와 같이 본 실시예에 따른 알고리즘은 적응형 이중 연결을 위한 해결책을 제시하기 때문에 더 좋은 성능을 나타내고 있다.
- [0157] 또한, 도 3에 나타낸 바와 같이, 네트워크 용량의 비교 결과, 본 실시예에 따른 적응형 DC 알고리즘은 2번째로 좋은 성능을 가지고 있고, 가장 좋은 성능을 보여주는 비교예 1의 SC 알고리즘과 비슷하다는 사실을 알 수 있다.
- [0158] 반면에 비교예 2의 MC 알고리즘은 가장 낮은 성능을 나타내고 있다. MC 알고리즘은 모든 TP들이 UE를 지원하게 되며 그것은 높은 전송 손실 때문에 비효율적이다. 따라서 MC 알고리즘은 가장 낮은 성능을 나타내고 있다.
- [0159] 이와 같이, 본 실시예에 따른 알고리즘은 TP의 중심부 근처에 있는 단일 연결 UE들의 비율을 최대화하고, 또한 셀 주변의 UE들의 최소품질을 이중 연결을 통하여 만족시킬 수 있기 때문에 위와 같은 결과를 얻을 수 있다.
- [0160] 또한, 도 4에 나타낸 바와 같이, UE의 이중 연결 비율은 UE의 이동 때문에 시간이 지남에 따라 변한다는 사실을 알 수 있다. 본 모의 실험에서는 시간이 흐름에 따라 서로 다른 10개의 시간에서 스냅샷을 얻었으며 그 결과 요구되는 최소 사용자 체감품질을 충족하기 위해 UE를 순응적으로 분류할 수 있다는 사실을 알 수 있다. 최소품질이 100Mbps, 200Mbps, 300Mbps로 증가할수록 최소품질 요구조건을 충족하기 위해 더 많은 전력이 필요하기에 이중 연결 UE의 비율이 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0161] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 방법에 대한 흐름도이다.

- [0162] 도 5를 참조하면, 이동 통신 네트워크를 통해 사용자 단말과 연결된 기지국에 의해 실행되는 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 방법은, 사용자 단말 주변의 복수의 기지국들과 다중 연결 전송을 허용하는 사용자 단말을 분류하는 단계(S510), 다중 연결 전송의 허용으로 분류된 사용자 단말 중 최대한 많은 이중 연결 전송의 사용자 단말을 포함하도록 주변 기지국들과의 협력을 통해 제1 송신 전력을 할당하는 단계(S520), 및 할당된 제1 송신 전력에 따라 남겨지는 제2 송신 전력을 단일 연결 전송 대상의 사용자 단말을 최대한 수용하도록 할당하는 단계(S530)를 포함한다.
- [0163] 전술한 경우, 제1 송신 전력의 할당은 사용자 단말들 간의 간섭을 제거하는 하이브리드 빔포밍 설계와 경계 영역의 사용자 단말에서의 사용자 체감품질을 보장하기 위한 적응적 이중 연결 알고리즘에 기초하여 수행된다. 또한, 기지국들은 셀간 연결 링크를 통해 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)와 사용자 데이터를 실시간 공유한다. 그리고, 사용자 단말은 기준 신호 수신 전력(Reference Signals Received Power, RSRP)이 가장 좋은 전송 포인트의 기지국을 우선적으로 선택한다.
- [0164] 여기서, 하이브리드 빔포밍 설계는 이중 연결 하향링크에서 사용자 단말들간 간섭을 억제하고 통신 품질을 보장하도록 블록 대각화(Block Diagram) 기법을 이용하여 기저대역 결합 행렬과 기저대역 프리코딩 행렬을 구하고, 클러스터 기반 밀리미터파 채널 모델에 대하여 원하는 달성 전송 속도(Achievable Rate)를 얻도록 특이값 분해(Singular Value Decomposition)를 계산하여 적용하는 것을 포함할 수 있다. 또한, 상대적으로 낮은 차원의 블록 대각화 처리를 위해 기저대역 결합 행렬과 기저대역 프리코딩 행렬을 최대화하는 해를 구한 후에 유효 채널 행렬을 추가로 적용할 수 있다.
- [0165] 한편, 상기의 분류하는 단계(S510)는 네트워크 용량을 최대화하는 워터-필링(Water-filling) 알고리즘을 기반으로 단일 연결 전송이 기지국 영역 내 모든 사용자 단말의 최소품질을 만족하는 기지국의 가장 큰 송신 전력에 기초하여 수행될 수 있다.
- [0166] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 다중 연결 환경에서 사용자 전송률을 보장하는 데이터 송수신 장치에 대한 블록도이다. 그리고 도 7은 도 6의 데이터 송수신 장치에 채용할 수 있고 SON 서버와 함께 네트워크의 최적화를 구현하는 최적화 모듈을 설명하기 위한 개략적인 블록도이다.
- [0167] 도 6 또는 도 7의 데이터 송수신 장치의 구조는 5G NR(New Radio) 기반의 소형셀 기지국 등에 적용가능하다. 도 6을 참조하면, 데이터 송수신 장치(600)는 메인 프로세서(610), 모뎀 유닛(620) 및 저장부(630)를 구비한다. 또한, 데이터 송수신 장치(600)는 타이머(640), 로컬 프로세서(650), TP 인터페이스(Interface, I/F)(660), 측정부(670) 또는 이들의 조합을 더 구비할 수 있다.
- [0168] 메인 프로세서(610)는 다양한 칩셋 하드웨어에서 동작할 수 있도록 운영체제(Operating System) 및 하드웨어 장치 드라이버에 대한 API(Application Programming Interface)를 탑재하고, 무선자원관리 애플리케이션(Radio Resource Management Application, 612), 무선 접속 제어부(Call Control Application, 614), 스케줄러(Schedule, 616), 무선트래픽 처리부(618) 등을 구비할 수 있다.
- [0169] 메인 프로세서(610)는 타이머(640) 및 작업(task) 관리, 프로토콜 기능 간 다양한 통신방식 지원, 소프트웨어 간 메모리 구분 및 관리, 처리 데이터에 대한 메모리 관리 등의 기능을 수행할 수 있다. 즉, 무선자원관리 애플리케이션(612)은 무선 접속 제어부(614)와 스케줄러(616)와 무선트래픽 처리부(618)를 통해 기지국 용량을 고려한 동적인 호 승인 절차, 사용자의 채널 품질에 따른 전원 제어와 링크 적응, 기지국 간 혹은 매크로-소형셀 간 간섭 제어, 소형셀 기지국 트래픽 로드를 고려한 에너지 절감, 무선 모니터링을 통한 주변 셀 정보 관리, 초기 형상 자동 설정, 기지국 통계정보나 로그(log) 수집, 기지국 상태 관리 및 운용 관리 등의 기능을 수행할 수 있다.
- [0170] 이를 위해, 메인 프로세서(610)와 TP 인터페이스(660) 사이에는 로컬 프로세서(650)가 배치될 수 있고, 로컬 프로세서(650)는 전송지점(TP) 간의 연결과 신호 및 데이터 송수신을 제어하여 전송지점 간의 협력을 지원할 수 있다.
- [0171] 모뎀 유닛(620)은 RF 유닛(간략히 'RF', 622)과 5G NR 모뎀(624)을 구비할 수 있다. RF(622)는 RF 송수신기, 아날로그 디지털 컨버터(ADC), 디지털 아날로그 컨버터(DAC), CPRI(Common Public Radio Interfact) 등을 구비할 수 있다.
- [0172] 저장부(630)는 기지국의 이벤트 정보 등에 대한 로그(Log)를 저장하는 제1 저장부(632)를 구비할 수 있다. 또한, 저장부(630)는 도 7에 도시한 바와 같이 최적화 모듈(634)을 저장할 수 있다. 최적화 모듈(634)은

SON(Self Organizing Network) 정책(636)과 최적화 기준(638)을 포함할 수 있다.

[0173] SON 정책(636)은 미리 설정된 최적화 기준(638)에 따라 기지국 등의 해당 장치가 속한 네트워크 운용이 시작되기 전에 주변 정보를 수집하고 분석하여 자율적으로 시스템을 최적의 상태로 자가 구성하기 위한 알고리즘과 이 알고리즘을 수행하기 위한 수단, 명령, 프로그램 등을 포함한다. 또한, SON 정책(636)은 미리 설정된 최적화 기준(638)에 따라 시스템 운용 중 측정부(670)을 통해 수집된 정보 예를 들어, 시스템 성능 측정 정보, 주변 셀 정보, 고장 및 경고 정보 등을 기반으로 실시간으로 시스템 관련 파라미터를 조정하여 시스템을 최적화하는 동작 시나리오와 이 시나리오를 실행하기 위한 수단, 명령, 프로그램 등을 포함할 수 있다.

[0174] 이를 위해, 메인 프로세서(610)는 SON 인터페이스를 구비할 수 있고, SON 인터페이스는 소형셀 기지국 내부에서 동작하는 SON 기능과 소형셀 기지국 외부 네트워크에서 동작하는 SON 기능 간 상호연동을 지원하는 개방형 인터페이스 SON API를 포함할 수 있다.

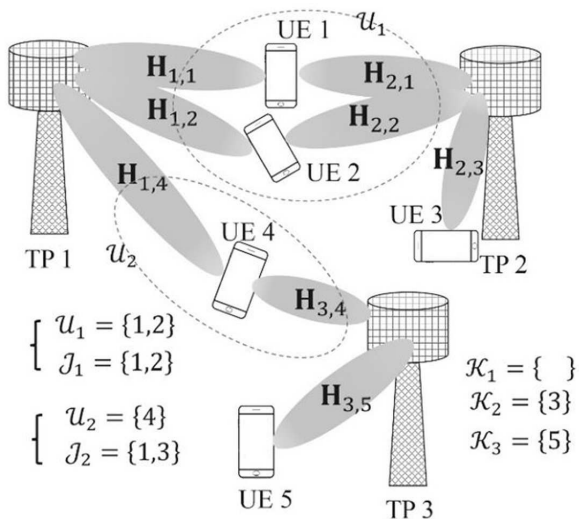
[0175] 본 발명에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터 수단을 통해 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위해 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체의 예에는 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리(flash memory) 등과 같이 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함될 수 있다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러(compiler)에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터(interpreter) 등을 사용해서 컴퓨터에 의해 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함할 수 있다. 상술한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 적어도 하나의 소프트웨어 모듈로 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0176] 또한, 상술한 방법 또는 장치는 그 구성이나 기능의 전부 또는 일부가 결합되어 구현되거나, 분리되어 구현될 수 있다.

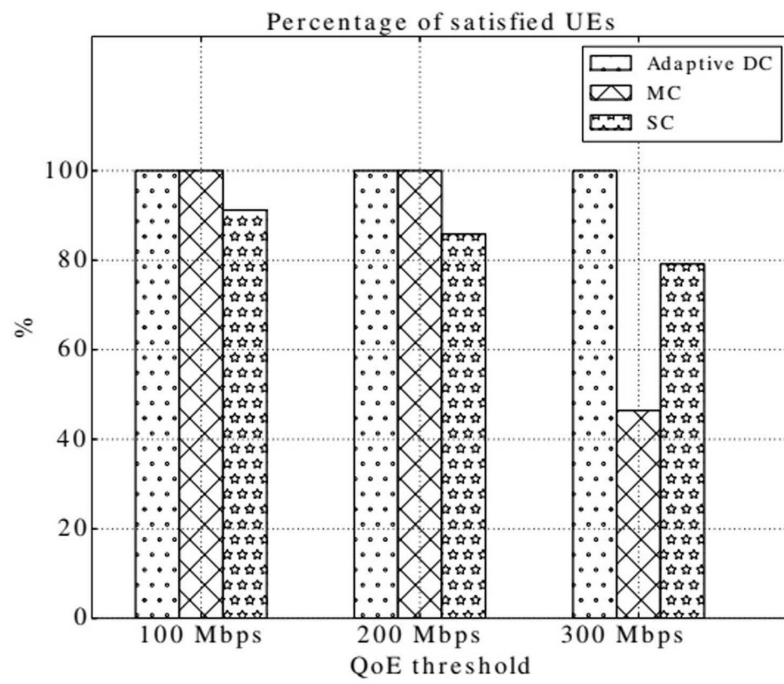
[0177] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면

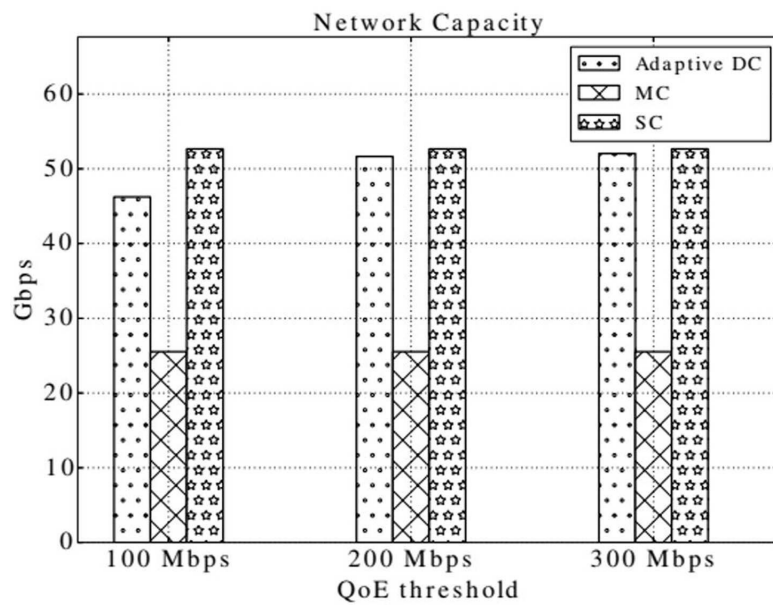
도면1



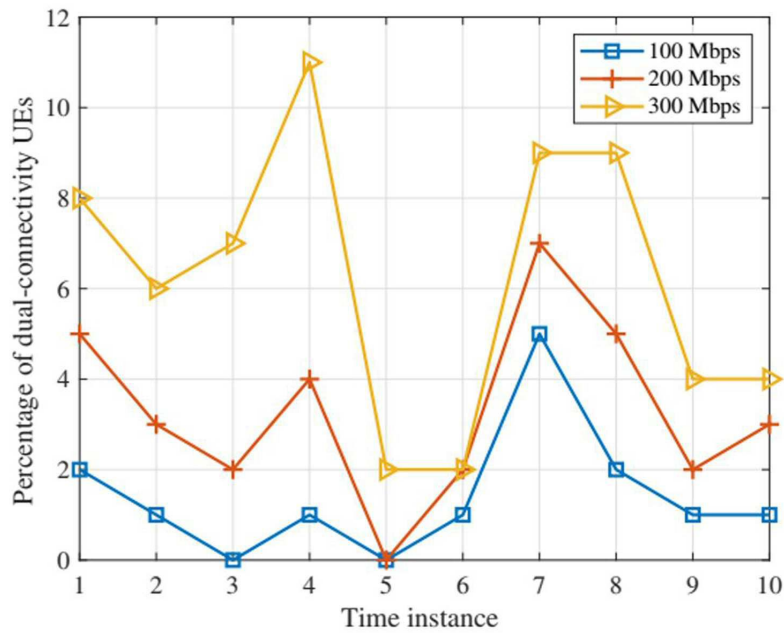
도면2



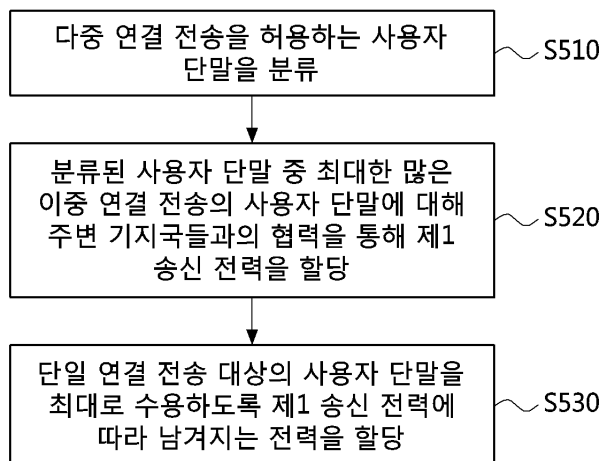
도면3



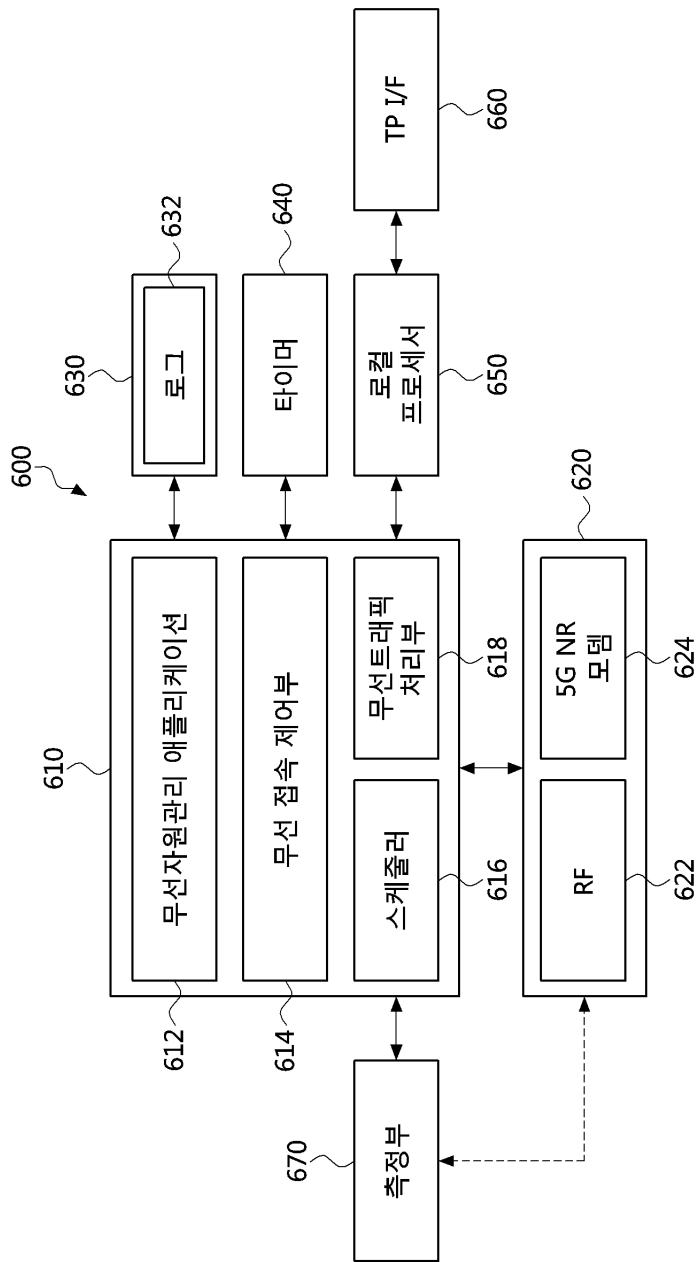
도면4



도면5



도면6



도면7

