



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년02월06일

(11) 등록번호 10-2074569

(24) 등록일자 2020년01월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 72/12 (2009.01) H04W 72/04 (2009.01)(52) CPC특허분류
H04W 72/121 (2013.01)
H04W 72/0453 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0020086

(22) 출원일자 2018년02월20일

심사청구일자 2018년02월20일

(65) 공개번호 10-2019-0099968

(43) 공개일자 2019년08월28일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020140018359 A*

KR1020170073138 A*

KR1020170127286 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

김형석

서울특별시 광진구

카시프 메흐무드

서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교

무하마드 타비쉬 니하즈

서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교

(74) 대리인

김현승

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 최상호

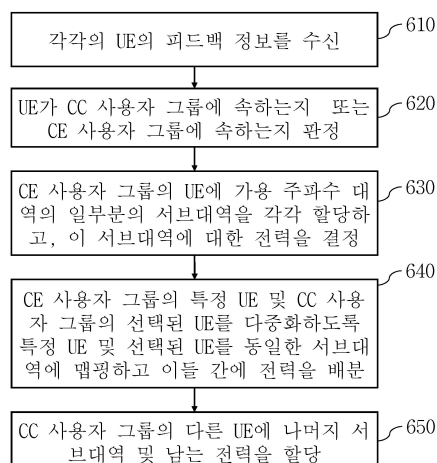
(54) 발명의 명칭 다중 셀 비직교 다중 액세스 네트워크의 다수 사용자 스케줄링을 위한 적응적 주파수 및 전력 할당 기법

(57) 요약

다중 셀 NOMA 네트워크의 다수 사용자 스케줄링을 수행하는 방법이 개시된다. 개시된 방법은, CE 사용자 그룹 내의 UE에 대해 가용 주파수 대역의 제1 부분 내의 상이한 서브대역을 할당하고, 각각의 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 CE 사용자 그룹 내의 모든 UE를 위한 총 할당된 전력이 셀에 의해 허용가능한 최대 전력 임계치 이하이도록 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 결정하는 단계와, CE 사용자 그룹 내의 특정 UE에 대해 할당된 특정 서브대역을 CC 사용자 그룹 내의 선택된 UE에 대해 할당하고, 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 선택된 UE의 데이터 레이트가 최대 레이트 임계치 이하이도록 특정 UE 및 선택된 UE 간에 할당하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도6

600



(52) CPC특허분류

H04W 72/0473 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711054220

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(미래부)

연구과제명 압축센싱과 자원할당 기술 기반의 저전력 고효율 가시광통신시스템 연구개발

기 여 율 1/1

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2017.06.01 ~ 2018.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

다중 셀 비직교 다중 액세스(Non-Orthogonal Multiple Access: NOMA) 네트워크의 다수 사용자 스케줄링을 수행하는 방법에 있어서,

상기 다중 셀 NOMA 네트워크의 셀 내의 다수의 사용자 장비(User Equipment: UE)를 각각 셀 중심(Cell Center: CC) 사용자 또는 셀 경계(Cell Edge: CE) 사용자로 분류하는 단계와,

상기 분류된 CE 사용자의 그룹인 CE 사용자 그룹 내의 각각의 UE에 대해 상기 셀을 위한 가용 주파수 대역의 제 1 부분 내의 상이한 각자의 서브대역을 할당하고, 상기 각자의 서브대역을 할당 받은 상기 각각의 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 상기 CE 사용자 그룹 내의 모든 UE를 위한 총 할당된 전력이 상기 셀에 의해 허용가능한 최대 전력 임계치 이하이도록 상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 결정하는 단계 - 상기 할당된 서브대역 각각은 상기 다중 셀 NOMA 네트워크의 인접 셀의 CE 사용자에게 할당된 서브대역과 직교이고, 상기 인접 셀의 CC 사용자에게는 할당되지 않음 - 와,

상기 분류된 CC 사용자의 그룹인 CC 사용자 그룹 내의 선택된 UE에 대해서는 상기 CE 사용자 그룹 내의 특정 UE에 대해 할당된 특정 서브대역을 할당하고, 상기 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을, 상기 선택된 UE의 데이터 레이트가 최대 레이트 임계치 이하이고, 상기 특정 UE에 대해 상기 선택된 UE보다 더 많은 전력이 할당되도록 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하는 단계와,

상기 CC 사용자 그룹 내의 다른 UE에 대해서는 상기 가용 주파수 대역의 남은 제2 부분 내의 서브대역을 할당하고, 상기 다른 UE의 데이터 레이트가 상기 최대 레이트 임계치 이하이도록 상기 셀에 의해 아직 허용가능한 남은 전력의 적어도 일부를 상기 다른 UE에 할당하는 단계 - 상기 제2 부분은 상기 인접 셀의 CC 사용자를 위한 주파수 할당에도 가용한 주파수 대역 부분임 - 를 포함하는

다수 사용자 스케줄링 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 결정하는 단계는

상기 총 할당된 전력을 상기 최대 전력 임계치와 비교하는 단계와,

상기 총 할당된 전력이 상기 최대 전력 임계치보다 큰 경우, 상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당되었는지 판정하는 단계와,

상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당된 경우, 상기 이미 할당된 모든 서브대역에 대해 결정된 전력의 비율을 유지하면서 상기 총 할당된 전력이 상기 최대 전력 임계치 이하로 설정되도록 상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 다시 결정하는 단계를 포함하는,

다수 사용자 스케줄링 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 결정하는 단계는

상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당되지 않는 경우, 상기 CE 사용자 그룹 내의 제1 UE에 대해 상기 제1 부분 내의 미할당된 서브대역을, 상기 제1 UE에 대해 이미 할당된 서브대역 외에 추가적으로 할당하고,

상기 제1 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 상기 총 할당된 전력이 감소되도록 상기 이미 할당된 서브대역 및 상기 추가적으로 할당된 서브대역에 대한 전력을 다시 결정하는 단계를 더 포함하는,

다수 사용자 스케줄링 방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하는 단계는 상기 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 각각의 채널 조건에 따라 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하는 단계를 포함하는,

다수 사용자 스케줄링 방법.

청구항 7

다중 셀 비직교 다중 액세스(Non-Orthogonal Multiple Access: NOMA) 네트워크의 다수 사용자 스케줄링을 수행하는 장치에 있어서,

상기 다중 셀 NOMA 네트워크의 셀 내의 다수의 사용자 장비(User Equipment: UE)를 각각 셀 중심(Cell Center: CC) 사용자 또는 셀 경계(Cell Edge: CE) 사용자로 분류하는 사용자 분류부와,

상기 분류된 CE 사용자의 그룹인 CE 사용자 그룹 내의 각각의 UE에 대해 상기 셀을 위한 가용 주파수 대역의 제1 부분 내의 상이한 각자의 서브대역을 할당하고, 상기 각자의 서브대역을 할당 받은 상기 각각의 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 상기 CE 사용자 그룹 내의 모든 UE를 위한 총 할당된 전력이 상기 셀에 의해 허용가능한 최대 전력 임계치 이하이도록 상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 결정하는 제1 주파수 및 전력 할당부 - 상기 할당된 서브대역 각각은 상기 다중 셀 NOMA 네트워크의 인접 셀 내의 CE 사용자에게 할당된 서브대역과 직교적이고, 상기 인접 셀 내의 CC 사용자에게는 할당되지 않음 - 와,

상기 분류된 CC 사용자의 그룹인 CC 사용자 그룹 내의 선택된 UE에 대해서는 상기 CE 사용자 그룹 내의 특정 UE에 대해 할당된 특정 서브대역을 할당하고, 상기 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을, 상기 선택된 UE의 데이터 레이트가 최대 레이트 임계치 이하이고, 상기 특정 UE에 대해 상기 선택된 UE보다 더 많은 전력이 할당되도록 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하며, 상기 CC 사용자 그룹 내의 다른 UE에 대해서는 상기 가용 주파수 대역의 남은 제2 부분 내의 서브대역을 할당하고, 상기 다른 UE의 데이터 레이트가 상기 최대 레이트 임계치 이하이도록 상기 셀에 의해 아직 허용가능한 남은 전력의 적어도 일부를 상기 다른 UE에 할당하는 제2 주파수 및 전력 할당부 - 상기 제2 부분은 상기 인접 셀 내의 CC 사용자를 위한 주파수 할당에도 가용한 주파수 대역 부분임 - 를 포함하는

다수 사용자 스케줄링 장치.

청구항 8

삭제

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 결정하는 것은

상기 총 할당된 전력을 상기 최대 전력 임계치와 비교하는 것과,

상기 총 할당된 전력이 상기 최대 전력 임계치보다 큰 경우, 상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당되었는지 판정하는 것과,

상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당된 경우, 상기 이미 할당된 모든 서브대역에 대해 결정된 전력의 비율을 유지하면서 상기 총 할당된 전력이 상기 최대 전력 임계치 이하로 설정되도록 상기 할당된 서브대역 각

각에 대한 전력을 다시 결정하는 것을 포함하는,
다수 사용자 스케줄링 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 결정하는 것은

상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당되지 않는 경우, 상기 CE 사용자 그룹 내의 제1 UE에 대해 상기 제1 부분 내의 미할당된 서브대역을, 상기 제1 UE에 대해 이미 할당된 서브대역 외에 추가적으로 할당하고, 상기 제1 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 상기 총 할당된 전력이 감소되도록 상기 이미 할당된 서브대역 및 상기 추가적으로 할당된 서브대역에 대한 전력을 다시 결정하는 것을 더 포함하는,

다수 사용자 스케줄링 장치.

청구항 11

삭제

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 제2 주파수 및 전력 할당부는 상기 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하되, 상기 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 각각의 채널 조건에 따라 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하는,

다수 사용자 스케줄링 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 다중 셀 비직교 다중 액세스(Non-Orthogonal Multiple Access: NOMA) 네트워크의 다수 사용자 스케줄링에 관한 것이고, 더욱 구체적으로는, 다중 셀 NOMA 시스템을 위한 적응적인 주파수 및 전력 할당 기법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 무선 셀룰러 네트워크(wireless cellular network)는 유례 없는 성장을 하였는데, 특히 사용자를 위한 연결성(connectivity)의 규모가 커질 뿐만 아니라 사용자 데이터 레이트(rate)에 대한 수요가 증가하는 측면에서 그러하다. 그리고, 멀티미디어 애플리케이션 및 서비스가 점점 예상대로 증가하여 구체적인 표준의 설계로 이어졌는데, 이는 매끄럽고 원활한 사용자 경험(user experience)에 초점을 맞춘 것이다. 예를 들어, 롱텀 에볼루션(Long Term Evolution: LTE) 및 LTE-A(LTE Advanced)와 같은 무선 네트워크는 증가하는 사용자 용량(capacity) 수요와 이들 사용자를 수용할 가용 스펙트럼(available spectrum)의 효율적인 활용을 염두에 두고 설계되었다.

[0003] 차세대 무선 셀룰러 네트워크는 기존의 무선 셀룰러 네트워크보다 더욱 도전적인 기준을 갖는다. 예를 들어, 5세대(5th Generation: 5G) 셀룰러 네트워크에 대한 가장 중요한 기준 중 하나는 4세대(4th Generation: 4G) 네트워크 배치보다 1000배 더 많은 사용자 쓰루풋(throughput)을 제공할 수가 있느냐는 것이다. LTE는 3G 네트워크에 비해 사용자 용량에서의 몇몇 부분의 개선을 제공하기는 하지만, 이러한 개선은 사용자 용량의 예상되는 증가를 감안할 때 충분하지 않을 것이다. 또한, 주파수 분할 다중 액세스(Frequency Division Multiple Access: FDMA), 시분할 다중 액세스(Time Division Multiple Access: TDMA), 코드 분할 다중 액세스(Code Division Multiple Access: CDMA) 및 직교 주파수 분할 다중 액세스(Orthogonal Frequency Division Multiple Access: OFDMA)를 비롯하여 여러 직교 다중 액세스(Orthogonal Multiple Access: OMA)가 현재 및 이전 세대의 무선 셀룰러 네트워크에서 사용자에게 다중 액세스를 제공하는 데에 널리 사용되지만, 차세대 셀룰러 네트워크의 수요

에 대처할 수는 없을 것이다. 예를 들어, OMA 방안에서 사용자간 간섭(inter-user interference)을 최소화하는 방식으로 주파수 리소스가 할당될 수 있는데, 이러한 할당은 사용자 쓰루풋 및 연결성을 주파수 리소스의 가용성에 의해 허용되는 어떤 한도까지 증가시킬 수 있을 뿐이다.

[0004] 5G 이상의 무선 셀룰러 네트워크에서 사용자에게 다중 액세스를 제공하기 위한 촉망 받는 후보 중 하나는 비직교 다중 액세스(Non-Orthogonal Multiple Access: NOMA)이다. 중첩 코딩(superposition coding)을 사용함으로써, NOMA는 여러 사용자가 동일한 시간 및 주파수 리소스를 공유할 수 있게 하는바, 사용자 연결성, 스펙트럼 효율성(spectral efficiency)이 향상될 수 있으며, 나아가 사용자 공정성(user-fairness)도 향상될 수 있다. 예를 들어, 5G 무선 셀룰러 네트워크의 전송된 요구사항을 충족시키기 위한 무선 액세스(radio access) 기법으로서, 순차적 간섭 제거(Successive Interference Cancellation: SIC) 수신기를 수반하는 NOMA 기법이 제안되었다. OMA 사용자가 전적으로 리소스 분할(resource division) 메커니즘에 기반하여 구별되는 반면, NOMA 체계에서는 리소스 공유(resource sharing) 방안이 활용된다. OMA에서의 1대1 사용자-리소스 맵핑(mapping)과는 대조적으로, 리소스 공유는 중첩 원리에 의해 가능하게 되는데, 이에 따르면 합성 신호(composite signal)가 개별 사용자 신호들로부터 구성되고 공통 주파수 리소스로 맵핑된다. 이와 같이, NOMA는 단일 리소스를 여러 사용자가 공유함으로써 쓰루풋을 향상시킬 뿐만 아니라 대규모의 연결성을 제공한다. 공통 리소스 상에서의 사용자의 중첩에 의해 제공되는 스펙트럼 효율성도 OMA 방안에 비해 NOMA에 내재된 이점이다. 나아가, M.D. Shipon Ali, H. Tabassum, and E. Hossain, "Dynamic User Clustering and Power Allocation for Uplink and Downlink Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) Systems", IEEE Access, vol. 4, Special Issue, pp. 6325-6343, Aug. 2016에 제시된 바와 같이, NOMA에서 사용자 쓰루풋/용량을 더욱 증대시키기 위해 사용자 클러스터링(user clustering)(이는, 예컨대 높은 채널 이득의 사용자와 낮은 채널 이득의 사용자를 함께 페어링하는 방식으로, 갖가지 채널이득을 갖는 사용자들을 클러스터링하는 기법임)이 사용될 수 있다. 사용자 클러스터 간의 간섭(클러스터간 간섭(inter-cluster interference)으로도 알려짐)을 방지하기 위해, 사용자 클러스터들은 직교 주파수 리소스 상으로 맵핑될 수 있다.

[0005] NOMA의 중요한 고려사항은 간섭 완화이다. NOMA 네트워크 환경에서의 간섭은, OMA에 비해 NOMA가 갖는 이익을 상당히 감소시키는데, 그것의 몇몇 근원은 다음과 같다. 우선, 부정확한 채널 상태 정보(Channel State Information: CSI)는 그러한 잘못된 CSI를 보고한 사용자에게 따라, 하나 이상의 사용자에게 대해서 NOMA 수신기에 있어서의 SIC 디코딩 동안에 에러를 유발한다. 또한, 사용자가 잘못 클러스터링되면 SIC 프로세스에서 어려움이 생길 수 있다. 나아가, 클러스터 내의 사용자 밀도가 SIC의 복잡도 및 각 사용자의 쓰루풋의 한도에 영향을 미칠 수 있다. 더 나아가, 클러스터의 수에 따라 각 클러스터를 위해 가용한 대역폭의 양, 그리고 궁극적으로 개별 사용자 쓰루풋 이득이 결정지어질 수 있다.

[0006] 특히, 간섭은 다중 셀(multi-cell) NOMA 환경에서 훨씬 더 영향력이 있다. 예를 들어, 다중 셀 NOMA 네트워크에서는 간섭의 주된 근원이 더 있는데, 이는 클러스터내 간섭 및 클러스터간 간섭과는 다른 셀간 간섭(Inter-Cell Interference: ICI), 즉 인접한 셀 내의 상이한 클러스터 사이에서 발생하는 간섭이다. 기존의 다중 셀 무선 네트워크에서 사용자 용량과 스펙트럼 효율성을 개선하기 위해 주파수 재사용 방안이 사용되었다. 예를 들어, 4G 네트워크는 스펙트럼 효율성을 개선하면서 잠재적인 ICI를 줄이기 위해 부분 주파수 재사용(Fractional Frequency Reuse: FFR)을 이용하거나, 그것의 일반화된 버전인 소프트 주파수 재사용(Soft Frequency Reuse: SFR)을 이용할 수 있다. 이러한 주파수 재사용 방안들에 따르면, 각 셀을 위한 가용 스펙트럼은 서브채널로 분할되고, 각 서브채널은 셀 중심(Cell Center: CC) 사용자 그룹을 위한 것과 셀 경계(Cell Edge: CE) 사용자 그룹을 위한 것으로 구분된다. 이어서, 상이한 그룹의 사용자들에게 상이한 전력 레벨을 할당함으로써 ICI가 효과적으로 제어될 수 있다.

[0007] 그러나, 간섭 완화를 위시하여 NOMA의 앞서 언급된 이점들을 달성하기 위한 해결책에 대한 연구가, 특히 단일 셀 NOMA에 비해 다중 셀 NOMA와 관련된 영역에서, 아직 미흡한 형편이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] NOMA 네트워크의 다수 사용자 스케줄링을 위한 개선된 장치 및 방법이 본 문서에 개시된다.

과제의 해결 수단

[0009] 적어도 하나의 실시예에 따르면, 다중 셀 NOMA 네트워크의 다수 사용자 스케줄링을 수행하는 방법은, 셀 경계

(Cell Edge: CE) 사용자 그룹 내의 각각의 사용자 장비(User Equipment: UE)에 대해 가용 주파수 대역의 제1 부분 내의 상이한 서브대역을 할당하고, 상기 각각의 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 상기 CE 사용자 그룹 내의 모든 UE를 위한 총 할당된 전력이 셀에 의해 허용가능한 최대 전력 임계치 이하이도록 상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 결정하는 단계와, 상기 CE 사용자 그룹 내의 특정 UE에 대해 할당된 특정 서브대역을 셀 중심(Cell Center: CC) 사용자 그룹 내의 선택된 UE에 대해 할당하고, 상기 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하는 단계(상기 선택된 UE의 데이터 레이트가 최대 레이트 임계치 이하이도록 상기 선택된 UE에 대해 전력이 할당됨)를 포함한다.

[0010] 상기 다수 사용자 스케줄링 방법은, 상기 CC 사용자 그룹 내의 다른 UE에 대해 상기 가용 주파수 대역의 남은 제2 부분 내의 서브대역을 할당하고, 상기 다른 UE의 데이터 레이트가 상기 최대 레이트 임계치 이하이도록 상기 셀에 의해 아직 허용가능한 남은 전력의 적어도 일부를 상기 다른 UE에 할당하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0011] 상기 결정하는 단계는, 상기 총 할당된 전력을 상기 최대 전력 임계치와 비교하는 단계와, 상기 총 할당된 전력이 상기 최대 전력 임계치보다 큰 경우, 상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당되었는지 판정하는 단계와, 상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당된 경우, 상기 이미 할당된 모든 서브대역에 대해 결정된 전력의 비율을 유지하면서 상기 총 할당된 전력이 상기 최대 전력 임계치 이하로 설정되도록 상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 다시 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 결정하는 단계는, 상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당되지는 않은 경우, 상기 CE 사용자 그룹 내의 제1 UE에 대해 상기 제1 부분 내의 미할당된 서브대역을, 상기 제1 UE에 대해 이미 할당된 서브대역 외에 추가적으로 할당하고, 상기 제1 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 상기 총 할당된 전력이 감소되도록 상기 이미 할당된 서브대역 및 상기 추가적으로 할당된 서브대역에 대한 전력을 다시 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0013] 상기 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하는 단계는 상기 특정 UE에 대해 상기 선택된 UE보다 더 많은 전력을 할당하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하는 단계는 상기 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 각각의 채널 조건에 따라 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 적어도 하나의 실시예에 따르면, 다중 셀 NOMA 네트워크의 다수 사용자 스케줄링을 수행하는 장치는, 셀 경계(Cell Edge: CE) 사용자 그룹 내의 각각의 사용자 장비(User Equipment: UE)에 대해 가용 주파수 대역의 제1 부분 내의 상이한 서브대역을 할당하고, 상기 각각의 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 상기 CE 사용자 그룹 내의 모든 UE를 위한 총 할당된 전력이 셀에 의해 허용가능한 최대 전력 임계치 이하이도록 상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 결정하는 제1 주파수 및 전력 할당부와, 상기 CE 사용자 그룹 내의 특정 UE에 대해 할당된 특정 서브대역을 셀 중심(Cell Center: CC) 사용자 그룹 내의 선택된 UE에 대해 할당하고, 상기 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하는 제2 주파수 및 전력 할당부(상기 선택된 UE의 데이터 레이트가 최대 레이트 임계치 이하이도록 상기 선택된 UE에 대해 전력이 할당됨)를 포함한다.

[0016] 상기 제2 주파수 및 전력 할당부는 또한, 상기 CC 사용자 그룹 내의 다른 UE에 대해 상기 가용 주파수 대역의 남은 제2 부분 내의 서브대역을 할당하고, 상기 다른 UE의 데이터 레이트가 상기 최대 레이트 임계치 이하이도록 상기 셀에 의해 아직 허용가능한 남은 전력의 적어도 일부를 상기 다른 UE에 할당할 수 있다.

[0017] 상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 결정하는 것은, 상기 총 할당된 전력을 상기 최대 전력 임계치와 비교하는 것과, 상기 총 할당된 전력이 상기 최대 전력 임계치보다 큰 경우, 상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당되었는지 판정하는 것과, 상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당된 경우, 상기 이미 할당된 모든 서브대역에 대해 결정된 전력의 비율을 유지하면서 상기 총 할당된 전력이 상기 최대 전력 임계치 이하로 설정되도록 상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 다시 결정하는 것을 포함할 수 있다.

[0018] 상기 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 결정하는 것은, 상기 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당되지는 않은 경우, 상기 CE 사용자 그룹 내의 제1 UE에 대해 상기 제1 부분 내의 미할당된 서브대역을, 상기 제1 UE에 대해 이미 할당된 서브대역 외에 추가적으로 할당하고, 상기 제1 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 상기 총 할당된 전력이 감소되도록 상기 이미 할당된 서브대역 및 상기 추가적으로 할당된 서브대역에 대한 전력을 다시 결정하는 것을 더 포함할 수 있다.

[0019] 상기 제2 주파수 및 전력 할당부는 상기 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하되, 상기 특정 UE에 대해 상기 선택된 UE보다 더 많은 전력을 할당할 수 있다.

[0020] 상기 제2 주파수 및 전력 할당부는 상기 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당하되, 상기 결정된 전력을 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 각각의 채널 조건에 따라 상기 특정 UE 및 상기 선택된 UE 간에 할당할 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명의 실시예에 따르면, 다중 셀 NOMA 네트워크 환경에서 CE 사용자가 맞닥뜨리는 ICI와 같은 간섭에 효과적으로 대처할 수 있다.

[0022] 본 발명의 실시예는 다중 셀 NOMA 네트워크 환경에서 스펙트럼 효율성과 사용자 쓰루풋을 향상시키면서 사용자 공정성도 보장하는 리소스 할당 방안을 제공한다.

[0023] 본 발명의 실시예에 따르면, 다중 셀 NOMA 네트워크 환경에서 사용자를 위한 전력 및 주파수의 동적 할당이 가능하게 된다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 단일 셀 NOMA 시스템에서의 다운링크 시나리오를 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 다중 셀 NOMA 시스템에서의 다운링크 시나리오를 설명하기 위한 도면이다.

도 3a 내지 도 3d는 다중 셀 NOMA 시스템을 위한 간섭 관리 기법을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 다중 셀 시스템에서의 FFR 방안을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따라 다중 셀 NOMA 네트워크의 다수 사용자 스케줄링을 수행하는 장치의 개략적인 블록도이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 다수 사용자 스케줄링 장치의 동작을 나타내는 흐름도이다.

도 7은 예시적인 NOMA 시스템의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션에서 사용되는 네트워크의 모델을 개략적으로 도시한다.

도 8은 예시적인 NOMA 시스템의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하에서는, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 실시예를 가질 수 있고, 몇몇 실시예가 본 명세서에 개시된다. 그러나, 이는 본 발명에 대한 한정이지 아니라 예시로서 제공되며, 본 발명의 사상 및 범주에 속하는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 망라하는 것으로 이해되어야 한다. 개시된 실시예에 따른 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 다음의 상세한 설명에서 특정한 세부사항이 제공되는데, 몇몇 실시예는 이들 세부사항 중 일부 또는 전부가 없더라도 실시될 수 있다. 또한, 본 발명의 다양한 양상을 불필요하게 모호하게 하지 않도록 공지 기술의 구체적인 설명은 생략될 수 있다.

[0026] 후술되는 용어는 단지 특정 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 한정적 의미로 고려되고자 의도된 것이 아니다. 단수 형태의 표현은 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 복수 형태의 의미를 포함한다. 또한, 이 문서에서, "포함하다" 또는 "가지다"와 같은 용어는 어떤 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 정보 또는 이들의 조합이 존재함을 나타내려는 것이며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 정보 또는 이들의 조합의 존재 또는 가능성을 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0027] NOMA 시스템의 개요

[0028] NOMA 시스템을 개관하기 위해, 다수 사용자 다운링크 NOMA 시스템을 고려한다. 도 1은 3개의 사용자 장비(User Equipment: UE)(이는 "사용자"로 약칭될 수도 있음)(121, 122, 123)가 있는 예시적인 단일 셀 NOMA 시스템(100)에서의 다운링크 시나리오를 도시한다. 이러한 환경에서 모든 사용자(121, 122, 123)는 상이한 채널 이득을 겪을 수 있다. 예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같이, h_1 , h_2 및 h_3 는 각각 클러스터 내의 사용자(121) UE₁,

사용자(122) UE₂ 및 사용자(123) UE₃의 채널 이득이되, h_1 이 가장 큰 크기를 갖고 h_3 이 가장 작은 크기를 갖는다고 가정될 수 있다.

[0029] 도 1에 도시된 바와 같이, 기지국(Base Station: BS) 장비(110)는 3개의 상이한 신호를 단일의 공유된 주파수 리소스 상에서 비직교적으로(non-orthogonally) 송신할 수 있다. 예를 들어, 다음과 같이, 사용자 신호들이 선형으로 중첩될 수 있다.

수학식 1

$$x = p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3$$

[0030]

[0031] 여기서 x_i 는 UE_i를 위한 사용자 신호이되, $i=1,2,3$ 이다. 예를 들어, 각 사용자(121, 122, 123)에 대한 전력 도메인(power domain)에서의 다중화를 통해 상이한 사용자 신호들이 중첩될 수 있다. 이제 UE_i에서의 수신된 신호 y_i 는 다음과 같이 주어질 수 있다.

수학식 2

$$y_i = h_i x + w_i$$

[0032]

[0033] 여기서 h_i 는 UE_i의 채널 이득이고 w_i 는 외부 및 내부 간섭을 포함하는 수신된 잡음이다.

[0034] 각각의 사용자(121, 122, 123)는 모든 사용자 신호를 포함하는 그러한 합성 신호를 수신하고, 수신된 합성 신호로부터 그 자신의 신호를 추출할 수 있다. 예를 들어, 각 사용자(121, 122, 123)는 그 자신의 신호를 복구하기 위해 SIC가 가능한 각자의 수신기(131, 132, 133)를 사용하여 다른 사용자 신호를 포함하는 주요한 간섭 신호를 제거할 수 있다. SIC 수신기(131, 132, 133)가 자기의 원하는 사용자 신호를 획득할 수 있도록 사용자 신호들 간에는 상당한 구분이 있어야 한다. 이것은 NOMA에서의 소정의 전력 할당 방식에 따라 상이한 전력 레벨로 상이한 사용자 신호를 다중화함으로써 보장될 수 있다. 예를 들어, 다운링크 NOMA 시스템(가령, NOMA 시스템(100))에서, 더 나은 채널 조건을 갖는 사용자(가령, BS(110)에 매우 근접하여 높은 채널 이득을 갖는 사용자(121))는 더 많은 페이딩(fading) 및 경로 손실을 겪을 사용자(가령, BS(110)로부터 멀리 있는 다른 사용자(122, 123))에 비해 낮은 전력 레벨을 할당 받을 수 있다. 도 1에 도시된 환경에서, UE₃(123)에 가장 높은 전력이 할당되고 UE₁(121)에 가장 낮은 전력이 할당될 수 있다. 따라서, 약한 채널 이득을 갖는 사용자는 강한 채널 이득을 갖는 사용자의 신호로 인해 겪는 간섭의 레벨이 더 낮다. 강한 채널 이득을 갖는 사용자는 약한 채널 이득을 갖는 사용자의 신호로 인해 겪는 간섭의 레벨이 더 높을 터이나, 더 나은 채널 조건을 가지므로 SIC에 의한 디코딩이 용이할 수 있다. 도 1을 참조하면, UE₁(121)은 SIC를 수행하여 UE₂ 신호 및 UE₃ 신호 양자 모두에 의한 간섭을 제거할 수 있는 반면, UE₂(122)는 UE₃ 신호에 의한 간섭을 제거할 수 있을 뿐이다. UE₃(123)은 UE₁ 신호 및 UE₂ 신호에 의한 간섭을 겪지만, 이를 제거할 수는 없다. 대신에, UE₃(123)은 자신의 신호의 디코딩을 수행할 뿐인데, 이러한 디코딩 프로세스에서 UE₁ 신호 및 UE₂ 신호는 낮은 전력 레벨로 BS(110)로부터 송신되고 전파 중에 약화되는바 잡음으로 취급될 수 있다.

[0035] 도 2는 예시적인 다중 셀 NOMA 시스템(200)에서의 다운링크 시나리오를 도시한다. 도 2에 도시된 바와 같이, 다중 셀 배치에서 두 가지 사용자 유형, 곧 BS(211, 212) 근처의 CC 사용자(가령, 사용자(221, 223)) 및 셀 커버리지(cell coverage)의 경계(201, 202) 근처의 CE 사용자(가령, 사용자(222, 224))가 정의될 수 있다. 일반적인 다중 셀 네트워크에서 모든 사용자, 특히 CE 사용자가 ICI를 겪을 것이지만, 다중 셀 OMA 네트워크에 비해 다중 셀 NOMA 네트워크에서 ICI가 훨씬 더 심할 것이다. 다중 셀 OMA 네트워크의 CE 사용자는 단지 몇몇 시간 슬롯이나 주파수 대역이 ICI를 겪을 것임에 반해, 다중 셀 NOMA 네트워크의 CE 사용자는 항상 ICI를 겪을 것이기 때문이다.

[0036] 다중 셀 NOMA 시스템(200)에서도, 전송된 바와 같이 사용자들이 클러스터링될 수 있다. 이러한 클러스터링에는 채널 조건의 차이가 사용될 수 있는바, 예컨대 강한 채널 이득을 갖는 사용자와 약한 채널 이득을 갖는 사용자

를 함께 페어링하여 SIC 프로세스를 수월하게 할 수 있다.

[0037] 예시적인 시스템 모델

[0038] 이제, 예시적인 NOMA 시스템에서의 다운링크 시나리오가 더욱 상세히 논의된다. 이하의 논의는 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 시스템(200))에도 적용될 수 있다. 예시적인 NOMA 시스템에서 다음의 사항이 가정된다. 각 셀 내의 사용자의 수는 K 이다. 총 시스템 대역폭은 B 이고, 이는 다수 사용자 송신을 위해 사용되는 L 개의 서브대역(sub-band)으로 분할된다. 서브대역 각각은 OMA나 NOMA를 사용할 수 있다. BS의 송신 안테나의 수는 N_t 이고, UE의 수신 안테나의 수는 N_r 이다. 각각의 BS의 총 송신 전력 한도는 P_{\max} 이다.

[0039] 예를 들어, 다수 사용자 스케줄러(가령, BS(211, 212)와 연관된 스케줄러)에 의해 K 개의 사용자 중에서 m_b 개의 사용자가 선택되어 주파수 블록 $b(1 \leq b \leq L)$ 에 사용자의 세트 $U_b = \{u_b(1), u_b(2), u_b(3), \dots, u_b(m_b)\}$ 가 맵핑되는데, 여기서 m_b 는 주파수 블록 b 에서 비직교식으로 다중화되는 사용자의 수를 나타내고 $u_b(j)$ 는 주파수 블록 b 에 스케줄링된 j 번째($1 \leq j \leq m_b$) 사용자의 인덱스(index)를 나타낸다. NOMA 다운링크에서, BS(가령, BS(211, 212))는 각각의 $u_b(j)$ 번째 사용자 데이터를 서로 독립적으로 채널 코딩하고 변조할 것이다. $u_b(j)$ 번째의 코딩된 변조 심볼이 $s_b(u_b(j))$ 이고(여기서 $E[|s_b(u_b(j))|^2] = 1$), 주파수 블록 b 에서의 송신을 위해 사용자 $u_b(j)$ 에 할당된 전력 레벨을 $p_b(u_b(j))$ 라고 하면, 주파수 리소스 b 에서의 송신 신호 x_b 는 다음과 같이 주파수 블록 b 에서의 모든 m_b 사용자의 $s_b(u_b(j))$ 가 중첩 코딩된 것일 수 있다.

수학식 3

$$x_b = \sum_{j=1}^{m_b} \sqrt{p_b(u_b(j))} s_b(u_b(j))$$

[0040]

[0041] 예를 들어, 성능 목표를 충족시키기 위해서 합성 신호에서 가용 전력 중 더 많은 부분이 CE 사용자에게 할당될 수 있고, 결과적으로 CC 사용자에게는 더 적은 전력이 할당될 수 있다. 이러한 전력 할당은 CE 사용자 신호는 더 많은 신호 페이딩뿐만 아니라 더 많은 간섭을 겪을 것이고 CC 사용자 신호는 더 적은 페이딩 영향을 받을 것임을 감안한 것이다.

[0042] 주파수 블록 b 에서의 사용자 $u_b(j)$ 는 다음과 같은 신호 $y_b(u_b(j))$ 를 수신할 수 있다.

수학식 4

$$y_b(u_b(j)) = h_b(u_b(j))x_b + w_b(u_b(j))$$

[0043]

[0044] 여기서 $h_b(u_b(j))$ 는 주파수 블록 b 에서의 사용자 $u_b(j)$ 의 채널 계수의 $N_r \times N_t$ 행렬이고, $w_b(u_b(j))$ 는 주파수 블록 b 에서의 사용자 $u_b(j)$ 의 잡음 플러스(plus) ICI인 $N_r \times 1$ 벡터이다. 채널 계수들은 송신기(가령, BS(211, 212)의 송신기)로부터의 거리에 의존적인 경로 손실, 음영 손실(shadowing loss) 및 순시 페이딩(instantaneous fading) 계수들을 포함할 수 있다. 편의상, 순시 페이딩 계수는 주파수 블록 내에서 일정하게 유지된다고 가정될 수 있다.

[0045] 사용자 $u_b(j)$ 의 수신기는 ICI를 백색 잡음으로 취급할 수 있고, 수신된 신호 $y_b(u_b(j))$ 에 대해 다이버시티 조합(diversity combining)을 수행할 수 있다. 예를 들어, 사용자 $u_b(j)$ 의 SIC 수신기는 $y_b(u_b(j))$ 에 대해 최대 비율 조합(Maximum Ratio Combining: MRC)을 수행하여 다음과 같이 주어지는 다이버시티 조합된 신호를 획득할 수 있다.

수학식 5

$$\begin{aligned}\hat{y}_b(u_b(j)) &= h_b^H(u_b(j))y_b(u_b(j))/\|h_b\| \\ &= \sqrt{g_b(u_b(j))}x_b(u_b(j)) + z_b(u_b(j))\end{aligned}$$

[0046]

[0047]

여기서 $g_b(u_b(j)) = \|h_b(u_b(j))\|^2$ 및 $z_b(u_b(j))$ 는 각각 MRC가 적용된 후의 채널 이득 및 잡음 플러스 ICI이다. 이하에서, $z_b(u_b(j))$ 의 평균 전력은 $n_b(u_b(j)) = E[|z_b(u_b(j))|^2]$ 로 표기된다. 그리고, 주파수 블록 b에서의 사용자 $u_b(j)$ 의 채널 이득은 $g_b(u_b(j))/n_b(u_b(j))$ 라고 정의될 수 있다.

[0048]

NOMA 다운링크에서, 각각의 UE에 구현된 SIC 수신기는 각자의 개별 신호를 중첩된 수신된 신호로부터 복구할 수 있다. SIC를 위한 디코딩 순서는 각각의 UE가 겪는 (ICI 및 잡음을 포함하는) 간섭과 채널 조건 간의 비율에 좌우될 수 있다. 예를 들어, SIC 디코딩 순서는 잡음 및 ICI 전력에 의해 정규화된 채널 이득의 오름차순일 수 있다. NOMA 사용자는 합성 신호로부터 그 자신의 개별 신호를 디코딩하기 전에, 간섭 제거를 위해 디코딩 차례가 온 다른 사용자의 신호를 순서대로 검출할 수 있다.

[0049]

예시적인 간섭 관리 기법

[0050]

예시적인 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 다중 셀 NOMA 시스템(200))에서 ICI를 감소시키고 나아가 CE 사용자의 쓰루풋을 높이기 위해 셀 간 협력 기술이 채용될 수 있다. ICI는 단일 셀 네트워크에 비해 다중 셀 아키텍처에서 CE 사용자의 성능에 상당한 악화를 야기한다. 특히, 다중 셀 NOMA 환경에서는 수신된 신호가 상이한 셀의 CE 사용자 신호의 중첩으로 인해 훨씬 더 복잡하게 되므로, 단일 셀 환경을 위한 간섭 제거 기법과 채널 모델링이 직접적으로 적용되기 어렵다. 예시적인 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 다중 셀 NOMA 시스템(200))은 셀 간의 협력에 기반하여 ICI를 완화하는 다중 셀 간섭 관리(interference management) 기법을 이용할 수 있다. 예를 들어, 여러 BS가 (가령, 백홀(backhaul) 연결을 통해) 서로 협력하여 소정의 정보를 공유하고 적어도 하나의 BS가 사용자를 서빙할 수 있다. 이러한 기법은 이른바 "협력 처리"(Coordinated Processing: CP)와 "공동 처리"(Joint Processing: JP)로 분류될 수 있다. 이러한 분류는 사용자 데이터가 여러 BS 사이에 공유되는지 여부에 기반한다. 이하에서 CP 기법이 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 시스템(200))에 적용되면 NOMA-CP로 지칭될 수 있고, JP 기법이 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 시스템(200))에 적용되면 NOMA-JP로 지칭될 수 있다. NOMA-JP 기법은 송신 가능한 BS들 간의 이상적인 백홀을 전제하는 반면, NOMA-CP 기법은 그러하지 않다.

[0051]

NOMA-JP는 여러 BS 간의 데이터 공유를 수반한다. 특히, NOMA-JP에서, 사용자 데이터가 여러 BS에서 가용하다. 그러면 사용자는 하나 이상의 BS로부터 자신의 데이터를 얻을 수 있다. 그러한 서빙(serving) BS의 수에 따라, NOMA-JP는 두 가지 부류로 구분될 수 있다.

[0052]

우선, NOMA 공동 송신(Joint Transmission: JT)(이하에서 "NOMA-JT"로 약칭될 수도 있음) 기법은 다수의 BS가 서로에 대해 간섭으로 작용하는 것이 아니라 공유된 리소스를 사용하여 사용자를 동시에 서빙할 것을 요구한다. NOMA-JT는 CC 사용자의 데이터 레이트를 그다지 약화시키지 않으면서 CE 사용자의 수신 신호의 품질을 상당히 개선할 수 있다. 이는 한 사용자가 여러 BS로부터 데이터를 수신한다는 점에서 다중 입력 다중 출력(Multiple Input Multiple Output: MIMO) 송신의 효과를 가져오고, 따라서 단일 셀 MIMO 방안과 유사하게 ICI가 효과적으로 제거될 수 있다. NOMA-JT 기법에 따르면, 사용자 데이터와 더불어, 채널 정보(가령, CSI), 다른 정보(가령, 빔포밍(Beamforming: BF) 정보) 등등이 BS들 간에 공유된다. 다만, NOMA-JT 기법은 모든 송신 BS에서 가용한 전역(global) CSI가 필요한바, 과도한 백홀 오버헤드(overhead)를 초래할 수 있다. 그러한 CSI 공유 오버헤드를 극복하기 위해, 협력 중첩 코딩(Coordinated Superposition Coding: CSC) 방안이 사용될 수도 있다. 이 방안에 따르면, 도 3a에 도시된 바와 같이, 각각의 CC 사용자는 각자의 BS에 의해 서빙되고 CE 사용자는 두 BS 모두에 의해 서빙된다. 셀 간의 이러한 협력은 CC 사용자의 레이트를 해치지 않으면서도 공통적인 CE 사용자에게 적절한 송신 레이트를 제공할 수 있다.

[0053]

다음으로, NOMA 동적 셀 선택(Dynamic Cell Selection: DCS)(이하에서 "NOMA-DCS"로 약칭될 수도 있음) 기법은 여러 BS가 사용자 데이터를 공유하나 그 중 하나의 선택된 BS만이 해당 사용자를 서빙할 것을 요구한다. 그러한

송신 BS는 시간에 따라 (가령, 채널 조건에 기반하여) 동적으로 변경될 수 있다. 이를 위해, NOMA-DCS 기법에서는 사용자 데이터는 물론 CSI와 같은 정보가 BS들 간에 공유될 수 있다. 예를 들어, 도 3b에 도시된 바와 같이, 어떤 BS로부터 공통적인 CE 사용자로의 채널 계수가 다른 BS로부터 공통적인 CE 사용자로의 채널 계수보다 더 큰 크기를 갖는 경우, 앞의 BS는 NOMA 기법을 사용하여 동시에 CE 사용자와 CC 사용자의 쌍을 서빙하고, 뒤의 BS는 자신의 CC 사용자만 서빙한다. 오직 하나의 BS가 CE 사용자 데이터를 가지므로, CE 사용자는 다른 BS로부터의 신호를 잡음으로 간주할 수 있고, 따라서 ICI가 제거될 수 있다. 또한, 다른 BS에 의해 서빙되는 CC 사용자는 SIC를 사용하지 않으므로, 검출 프로세스가 단순화될 수 있다.

[0054] NOMA-CP는 NOMA-JP와 달리 여러 BS 간에 사용자의 데이터가 공유되지 않는다. 그러나, 협력하는 BS들은 채널 정보(가령, CSI)와 네트워크 정보(가령, BF 정보나 스케줄링 정보)를 교환할 수 있다. NOMA-CP의 두 가지 종류는 NOMA 협력 빔포밍(Coordinated Beamforming: CB)(이하에서 "NOMA-CB"로 약칭될 수도 있음) 및 NOMA 협력 스케줄링(Coordinated Scheduling: CS)(이하에서 "NOMA-CS"로 약칭될 수도 있음)이다.

[0055] 우선, 도 3c에 예시된 NOMA-CB에서, 사용자 데이터는 하나의 서빙 BS에서 가용할 뿐이다. 빔포밍 결정은 전역 CSI에 기반한 협력으로써 행해질 수 있다. 나아가, ICI를 제거함으로써 CE 사용자의 데이터 레이트를 개선하기 위해서 BS들을 위한 BF 벡터들의 공동 최적화(joint optimization)를 수행하는 두 가지 NOMA-CB 방안이 있는데, 이는 ICI뿐만 아니라 클러스터간 간섭도 제거한다. 아울러, 클러스터내 간섭은 SIC를 사용하여 제거될 수 있다. 그러한 방안들 중 하나는 BS에서의 전역 CSI를 요구하는 반면, 다른 하나는 BS에서의 CE 사용자의 서빙 채널 이득을 요구할 뿐이다.

[0056] 다음으로, NOMA-CS에 따르면, 상이한 BS들이 ICI가 낮게 NOMA 사용자들을 서빙하기 위해 스케줄링을 협력하여서 CE 사용자에게 적절한 서비스(가령, 적절한 서비스 품질(Quality of Service: QoS))를 보장한다. 도 3d에 도시된 바와 같이, NOMA-CS에서, 협력 BS들 중 하나만이 자신의 CC 사용자 및 CE 사용자에게 합성 NOMA 신호를 송신하고, 다른 인접 BS는 합성 신호 대신에 CC 사용자에게 의도된 신호를 CC 사용자에게 송신할 뿐이다.

[0057] 2개의 셀 각각이 P개의 클러스터를 갖고 각각의 클러스터는 두 사용자를 가지며, 각각의 BS와 사용자가 P개의 안테나를 가진다고 가정하면, NOMA-CS, NOMA-CB, NOMA-DCS 및 NOMA-JT에 의해 지원되는 사용자의 수는 각각 4P 미만($<4P$), $4(P-1)$, 3P 및 3P(또는 4P)이라고 알려져 있다.

[0058] 적응적 FFR 기반의 주파수 및 전력 할당

[0059] 예시적인 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 다중 셀 NOMA 시스템(200))의 설계에서 NOMA UE 클러스터를 형성하는 것과 그러한 클러스터의 크기를 결정하는 것이 고려될 필요가 있다. 이러한 사용자 클러스터링은 동일한 클러스터 내의 NOMA 사용자들이 동일한 시간-주파수 리소스 블록 상에서 동작하게 하고자 한다. 같은 셀 내의 다른 클러스터들에는 직교 리소스가 할당되며, 따라서 동일한 클러스터 내의 UE 사이에서 셀내 간섭 관리가 요구될 뿐이다. 그러나, 다른 셀들의 클러스터들이 동일한 리소스 블록을 공유할 수가 있는데, 이는 ICI를 유발한다.

[0060] 예시적인 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 다중 셀 NOMA 시스템(200))에서는, 각 셀의 CE 사용자에게 서로 직교하는 상이한 주파수 대역을 할당하고 다른 셀의 CC 사용자에게 그 대역을 할당하지 않는 방식으로, 곧 FFR를 기반으로, 다운링크 NOMA에 적합하게 마련될 수 있다(기존의 다운링크 OFDMA에서 CE 사용자의 성능을 향상시키기 위해 제안된 FFR 방안은 다운링크 NOMA에서 그대로 적용되기 어려운데, 다운링크 NOMA에서는 예컨대 CE 사용자 및 CC 사용자가 페어링되는 것과 같이, 둘 이상의 사용자가 동일한 주파수 리소스 상에 스케줄링될 가능성이 매우 높기 때문이다).

[0061] 전술된 바와 같이, 주파수 재사용 방안은 사용자 용량을 향상시키고 할당된 주파수 스펙트럼을 효율적으로 활용하기 위해서 채택될 수 있으며, 나아가 ICI를 감소시켜 CE 사용자에게 더 나은 성능을 보장하기 위해 적용될 수 있다. 예를 들어, FFR은 CE 사용자의 성능 문제를 해결하기 위해 제안된 것으로서, CE 사용자의 높은 SINR뿐만 아니라 높은 네트워크 쓰루풋을 제공한다.

[0062] 다운링크 OFDMA 시스템의 성능은 보통 ICI에 의해 제한되는데, CE 사용자가 ICI로부터 더 영향을 받는다. FFR 방안에 따르면, ICI를 감소시키기 위해서, 셀 경계 지역에는 더 낮은 재사용 인자(reuse factor)가 사용된다. 예컨대, 도 4에 도시된 바와 같이, 다운링크 OFDMA를 위한 FFR 방안은 셀들(401, 402, 403) 내의 CC 사용자에게 동일한 대역(410)을 할당하나(즉, 주파수 재사용 인자는 1임) 셀들(401, 402, 403) 내의 CE 사용자에게는 구분되는 직교 대역(421, 422, 423)을 각각 할당하는바(즉, 주파수 재사용 인자는 $1/3$ 임), CC 사용자들을 위한 채널과 CE 사용자들을 위한 채널이 분리된다. SFR 방안은 어떤 셀의 CE 사용자에게 할당된 스펙트럼을 다른 셀의 CC 사용자가 사용할 수 있다는 점에서 FFR과 차이가 있다. 반면에, SFR은 리소스 효율성 및 간섭 감소 간의 균형을 이

를 수 있다. SFR 방안에 따르면, 각 셀은 주어진 전체 주파수 대역을 사용할 수 있으나, CE 사용자를 위한 송신 전력은 CC 사용자보다 더 높게 설정된다. 그런데, SFR 방안은 FFR 방안에 비해 전체 시스템 효율을 높일 수는 있지만, CC 사용자 및 CE 사용자 모두에 대해 더 많은 간섭을 야기할 수 있다. 이런 점에 비추어 볼 때, 간섭 완화가 매우 중요한 경우에는 FFR이 상당히 더 나은 선택이 될 수 있다.

[0063] 전술된 바와 같이, 다운링크 NOMA에서는 거의 항상 동일한 주파수 리소스 상에 다수의 사용자가 있을 것이다. OFMDA를 위한 FFR 방안은 통상적으로 둘 이상의 사용자가 동일한 서브대역으로 스케줄링되는 NOMA 시스템을 지원하지 않으나, 다운링크 NOMA에 맞도록 안출될 필요가 있다. 또한, FFR의 재사용 인자는 네트워크의 주파수 계획 시에 정해질 수도 있지만, 그러한 정적(static) FFR 방안은 셀의 경계 지역에 영향을 미치는 변화하는 채널 조건과 간섭이 일어나는 조건을 감안하지 않은 것이므로, 실제 환경에서 CE 사용자의 시스템 성능이 상당한 정도에 이르기 어렵다.

[0064] 이하에서 설명되는 바와 같이, 예시적인 실시예는 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 시스템(200))을 위한 적응적인 FFR 기반의 주파수 및 전력 할당 기법을 제공한다. 이러한 기법은 NOMA의 이점을 얻는 것뿐만 아니라 셀 서비스 영역 내의 모든 사용자에게 균형 잡힌 서비스를 보장하기 위해, 이들 사용자에게 서비스 제공을 하는 동안의 공정성을 제공하는 것을 고려한다.

[0065] 예시적인 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 다중 셀 NOMA 시스템(200))에서, 스케줄러(가령, BS(211, 212)와 연관된 스케줄러)는 우선 CE 사용자 또는 CC 사용자로의 사용자 분류를 수행한다. 이하에서, CE 사용자의 그룹은 U_e 로 표기되고, CC 사용자의 그룹은 U_c 로 표기된다.

[0066] 스케줄러(가령, BS(211, 212)와 연관된 스케줄러)는 사용자 클러스터링을 (가령, 동적으로) 수행하면서, CC 사용자와 CE 사용자에게 주파수 블록을 할당한다. 예시적인 FFR 기반의 주파수 할당을 위해, 전체 송신 대역폭 B의 1/3에 해당하는 주파수 대역 B_e 가 CE 사용자 그룹을 위해 사용된다. 그리고, 전체 송신 대역폭 B의 나머지 2/3에 해당하는 주파수 대역 B_c 가 CC 사용자 그룹을 위해 사용될 뿐만 아니라, 어떤 CC 사용자는 어떤 CE 사용자와 동일한 서브대역에 맵핑될 수 있다(가령, NOMA 클러스터 크기가 2인 경우, 페어링된 CE 사용자와 CC 사용자). 그리고, CE 사용자 그룹을 위한 주파수 대역 내의 모든 서브대역은 ICI 감소를 위해 인접 셀의 CE 서브대역과 직교할 것이 요구된다.

[0067] 스케줄러(가령, BS(211, 212)와 연관된 스케줄러)는 CE 사용자 그룹을 위한 주파수 대역 상의 송신 전력 밀도를 CC 사용자 그룹에 비해 더 높게 설정한다. 스케줄러의 스케줄링 정책으로부터 시스템 효율성(가령, 평균 사용자 쓰루풋에 의해 측정될 수 있음) 및 사용자 공정성(가령, 셀 경계 평균 사용자 쓰루풋에 의해 측정될 수 있음)은 상당한 영향을 받는다. 이와 관련하여, 비례적 공정성(Proportional Fairness: PF) 스케줄러는 셀 내의 사용자들 간의 평균 사용자 쓰루풋의 곱을 최대화함으로써 시스템 효율성과 공정성 간의 양호한 트레이드오프를 달성한다고 알려져 있다. 또한, 다수 사용자 스케줄링은 스케줄링된 사용자로의 송신 전력 할당과 서로 관련되는데, 사용자 간의 간섭으로 인해 다른 사용자의 쓰루풋에도 영향을 미치기 때문이다. 스케줄러가 최적의 전력 할당을 수행하는 데에는 너무 높은 계산상의 복잡도가 요구되므로, 실제 구현에서는 다른 방식의 전력 할당을 사용할 필요가 있다.

[0068] 예시적인 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 다중 셀 NOMA 시스템(200))에서 사용자 공정성, 쓰루풋 성능 및 ICI 완화를 보장하기 위해 예시적인 주파수 및 전력 할당 프로세스에서 다음과 같은 파라미터가 사용될 것이다.

[0069] - R_{min} : CE 사용자의 최소 레이트 임계치

[0070] - R_{max} : CC 사용자의 최대 레이트 임계치

[0071] - P_{max} : 셀의 최대 전력 임계치

[0072] 이들 파라미터는 NOMA CC 사용자 및 CE 사용자에게 전력 및 주파수 리소스를 효율적으로 할당하는 데에 일조한다. 예시적인 FFR 기반 주파수 및 전력 할당 방안은 ICI를 제거하면서도 특정한 채널 의존적인 데이터 레이트 한도를 CC 사용자와 CE 사용자 모두에게 부과함으로써 모든 NOMA 사용자를 위한 충분한 수준의 쓰루풋을 보장할 수 있다. 구체적으로, CE 사용자에 대한 할당은 채널 조건에 좌우될 R_{min} 을 고려하되, CE 사용자가 충분한 데이터 레이트를 얻을 수 있도록 NOMA 네트워크가 설계될 수 있다. 유사하게, CC 사용자로의 할당은 CE 사용자와 더불어 있을 수 있는 NOMA 환경에서 CC 사용자의 데이터 레이트를 어느 정도로 제한하는 데에 R_{max} 를 이용한다.

또한, BS는 지정된 전력 레벨을 가지므로, NOMA 사용자(특히, CE 사용자)를 위한 전력 할당은 최대 송신 전력 P_{\max} 라는 한계 하에서 수행된다.

[0073] 예시적인 실시예에서, 스케줄러(가령, BS(211, 212)와 연관된 스케줄러)에 의해 수행되는 적응적인 FFR 기반의 주파수 및 전력 할당 프로세스는 CE 사용자 그룹을 위한 주파수 및 전력 할당과, 이어서 CC 사용자 그룹을 위한 전력 및 주파수 할당을 포함한다.

[0074] CE 사용자는 ICI에 의해 가장 영향을 받을 사용자이므로, NOMA가 제공하는 쓰루풋 및 용량 이득을 달성하기 위해서는 CE 사용자의 성능이 우선시된다. CE 사용자 그룹을 위한 주파수 및 전력 할당은 다음과 같이 수행될 수 있다.

[0075] - CE 사용자 그룹 U_E 내의 각 사용자에게 주파수 대역 B_E 의 하나의 서브대역이 하나씩 할당되고, CE 사용자를 위해 요구되는 전력은 최소 레이트 임계치 R_{\min} 조건을 만족하도록 도출된다.

[0076] - 만일 n 번째 셀에서 주파수 블록 b 에 대해 모든 CE 사용자를 위한 할당된 전력의 총합 $P_{n,b}$ 가 P_{\max} 이하인지, 즉 다음 식을 만족하는지 여부가 판정된다.

수학식 6

$$\sum_{j=1}^{m_b} p_b(u_b(j)) = P_{n,b} \leq P_{\max}$$

[0077]

[0078] - $P_{n,b}$ 가 P_{\max} 보다 큰 경우, CE 사용자 그룹을 위한 모든 서브대역이 할당되었는지 판정된다. 만일 CE 사용자 그룹을 위한 모든 서브대역이 할당된 경우, CE 사용자 그룹을 위한 주파수 대역 내의 모든 서브대역 상의 전력의 비율은 그대로 유지하면서 CE 사용자 그룹을 위한 할당된 전력의 총합 $P_{n,b}$ 가 그 셀의 BS의 최대 송신 전력 P_{\max} 와 같도록 설정한다. 만일 CE 사용자 그룹을 위해 모든 서브대역이 할당되지 않은 경우, 요구되는 송신 전력을 줄이기 위해 추가적인 서브대역이 CE 사용자 그룹에 할당된다. 그 서브대역은 최소 레이트 임계치 R_{\min} 조건을 충족하면서 모든 CE 사용자를 위한 할당된 전력의 총합이 최소가 되게 하는 사용자에게 할당된다. 최소의 총 송신 전력으로써 최소 레이트 임계치를 만족시키기 위해 워터 필링(water-filling) 기반의 전력 할당이 활용될 수 있다.

[0079] CE 사용자로의 주파수 및 전력 할당 후에, CC 사용자 그룹을 위한 전력 및 주파수 할당은 다음과 같이 수행될 수 있다.

[0080] - 소정의 CC 사용자가 CE 사용자와 동일한 서브대역 상으로 스케줄링된다. 예를 들어, 하나의 CE 사용자는 해당 서브대역에 대해 최대의 쓰루풋을 달성하도록 선택된 하나의 CC 사용자와 다중화된다. 이 사용자 그룹은 $S_n(b)$ 로 표기된다.

[0081] - CE 사용자가 맵핑된 주파수 블록 b 에서의 할당된 총 전력 $P_{n,b}$ 가 그들의 채널 조건에 따라 각 사용자에게 할당된다. 실시예에서, 사용자 간의 채널 조건의 변동을 보상하는 PF 기반 전력 할당 기법을 사용하여 각 사용자로의 전력 할당이 수행될 수 있다. 예를 들어, 변화하는 채널 이득에 따라, 사용자 그룹 $S_n(b)$ 내의 사용자 k 의 송신 전력은 다음 수학적식과 같이 주어진다.

수학식 7

$$p_b(k) = \frac{P_{n,b}}{\sum_{j \in S_n(b)} (g_b(j)/n_b(j))^{-\beta}} \left(\frac{g_b(j)}{n_b(j)} \right)^{-\beta}$$

[0082]

[0083] 여기서 β 는 0 이상이고 1 이하인 감쇠 인자(decay factor)이다. 감쇠 인자가 0인 경우, 균등한 전력 할당이 이루어진다. 감쇠 인자가 클수록, 양호하지 않은 채널 조건을 갖는 사용자에게 더 많은 전력이 할당된다. 각각의

사용자는 할당된 전력을 명시적인 제어 시그널링에 의해 인지할 필요가 있다.

- [0084] - 나머지 서브대역들에서의 주파수 할당이 수행된다. 예를 들어, 나머지 전력과 나머지 서브대역들이 계산될 수 있고, 나머지 CC 사용자들은 PF 메트릭에 의해 스케줄링될 수 있다.
- [0085] CC 사용자(CE 사용자와 동일한 주파수 블록에 맵핑된 CC 사용자든, 또는 나머지 서브대역에 맵핑된 CC 사용자든)로의 할당이 수행될 때마다 사용자 공정성을 위해 R_{\max} 조건이 충족될 필요가 있다는 점에 유의한다.
- [0086] 전술된 바와 같이, 예시적인 주파수 및 전력 할당은 사용자의 채널 조건의 차이를 감안하여 주파수 및 전력을 사용자에게 적응적으로 할당할 수 있다. 이에 따라, CE 사용자에게는 ICI에 대한 더 나은 보호를 제공하고 CC 사용자에게는 더 넓은 대역폭 할당을 제공함으로써 셀 평균 사용자 쓰루풋과 셀 경계 사용자 쓰루풋 양자 모두를 개선할 수 있다.
- [0087] 예시적인 다수 사용자 스케줄러의 동작
- [0088] 이제, 도 5 및 도 6을 참조하여, 예시적인 다중 셀 NOMA 시스템(가령, 다중 셀 NOMA 시스템(200))의 다수 사용자 스케줄링을 수행하는 장치(가령, BS(211, 212)와 연관된 스케줄러)의 동작이 논의된다. 도 5는 본 발명의 실시예에 따라 다중 셀 NOMA 네트워크의 다수 사용자 스케줄링을 수행하는 장치를 개략적으로 나타낸다. 도 5에 도시된 예시적인 스케줄링 장치(500)는 다중 셀 NOMA 네트워크의 BS들 중 하나 내에 포함될 수 있거나, 다중 셀 NOMA 네트워크의 BS들과는 별개로 배치될 수 있다. 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 다수 사용자 스케줄링 장치의 동작을 설명하기 위한 도면이다. 도 6에 도시된 스케줄링 프로세스(600)는 단지 예로서 제공될 뿐이며, 몇몇 다른 실시예에서는 도 6의 프로세스의 동작 중 일부가 생략되고/되거나 다른 동작이 추가될 수 있음에 유의하여야 한다.
- [0089] 동작(610)에서, 예시적인 다수 사용자 스케줄링 장치(500)의 피드백 정보 수집부(510)는 특정 주파수 블록에 맵핑된 다수의 UE 각각에 관한 피드백 정보를 해당 UE로부터 수신한다. UE의 피드백 정보는 UE에 의해 수신된 신호의 전력을 나타내는 정보(가령, UE의 수신 신호 세기 표시(Received Signal Strength Indication: RSSI))를 포함할 수 있고, UE의 채널 정보(가령, CSI와 같이, UE와 서버 BS 간의 채널 조건을 나타내는 정보)를 더 포함할 수 있다. 몇몇 실시예에서, UE의 피드백 정보는 앞서 언급된 예시적인 간섭 관리 기법에 따라 여러 BS 사이에 공유될 수 있다.
- [0090] 동작(620)에서, 예시적인 다수 사용자 스케줄링 장치(500)의 사용자 분류부(520)는 각각의 UE에 대해, 해당 UE가 CC 사용자 그룹에 속하는지 또는 CE 사용자 그룹에 속하는지를 판정한다. 종래에 제안된 사용자 클러스터링은 통상적으로 UE를 그것의 채널 품질이나 서버 BS로부터의 거리에 따라 정렬하나, 사용자 분류부(520)는 UE의 서버 BS로부터의 거리 또는 채널 이득과 같은 정보를 대신하여, 또는 이에 더하여, UE의 SINR를 기반으로 및/또는 서버 셀로부터 UE에 의해 수신된 신호의 전력과 인접 셀로부터 UE에 의해 수신된 신호의 전력 간의 차이를 기반으로, 사용자를 CC 사용자 또는 CE 사용자로 분류할 수 있다.
- [0091] 몇몇 실시예에서, 사용자 분류부(520)는 피드백 정보 수집부(510)에 의해 수집된 피드백 정보에 기반하여 SINR 값을 계산할 수 있다. 예를 들어, 사용자 클러스터링부(520)는 다음의 식에 따라 각각의 UE의 SINR 값을 획득할 수 있다.

수학식 8

$$SINR_{u_b(j)} = \frac{g_b(u_b(j))p_b(u_b(j))}{\sum_{k \in U_b, \frac{g_b(u_b(j))}{n_b(u_b(j))} < \frac{g_b(k)}{n_b(k)}} g_b(u_b(k))p_b(u_b(k)) + n_b(u_b(j))}$$

- [0092]
- [0093] 수학식 5를 다시 참조하면, 수학식 8은 사용자 $u_b(j)$ 의 수신기의 SIC에서의 디코딩 순서가 채널 이득의 오름차순으로 주어지고, 사용자 $u_b(j)$ 의 SIC 수신기가 $g_b(u_b(j))/n_b(u_b(j))$ 보다 작은 채널 이득 $g_b(k)/n_b(k)$ 를 갖는 다른 사용자 k 의 신호에 의한 간섭을 순차적으로 완벽히 제거할 수 있는 경우에 있어서 사용자 $u_b(j)$ 의 SINR을 나타낸다. 수학식 8의 서브대역 SINR을 계산하기 위해서는, 각각의 사용자에게 할당된 송신 전력에 대한 정보가 (가령, 여러 BS 간에 공유될 것이) 요구된다.

[0094] 다른 예에서, 사용자 분류부(520)는 각각의 UE의 추정된 SINR 값을 SINR 값으로서 획득할 수 있다. 특히, 다음 식에서 주어진 바와 같이, 각각의 UE의 추정된 SINR 값은 전송된 특정 주파수 블록에 맵핑된 모든 UE의 수신된 신호의 전력의 평균 대 해당 UE가 겪는 간섭 및 잡음의 비율 수 있다.

수학식 9

$$SINR_{u_b(j)} = \frac{(\frac{1}{m_b}) \sum_{k=1}^{m_b} y_b^2(u_b(k))}{\sum_{u_b(k) \in \bar{u}_b} y_b^2(u_b(k)) + w_b^2(u_b(j))}$$

[0095]

[0096] 여기서 \bar{u}_b 는 주파수 블록 b에 스케줄링된 사용자 중에서, 자신의 수신된 신호가 사용자 $u_b(j)$ 에 의해 잡음으로 취급되는 사용자의 세트이다. 수학식 9의 SINR 추정치를 계산하는 데에는 사용자에게 의해 수신된 신호의 전력에 대한 정보가 사용될 수 있다.

[0097] 몇몇 실시예에서, 사용자 분류부(520)는 획득된 SINR 값을 임계 SINR 값과 비교하여, 획득된 SINR이 임계 SINR 값보다 큰 경우 UE가 CC 사용자 그룹에 속한다고 판정하고, 그렇지 않은 경우 UE가 CE 사용자 그룹에 속한다고 판정할 수 있다. 이를 위해, 사용자 분류부(520)는 해당 UE의 서빙 BS의 셀 내의 UE의 수 및 해당 UE의 채널 정보에 기반하여 임계 SINR 값을 판정할 수 있다. 나아가, 사용자 분류부(520)는 획득된 SINR 값을 임계 SINR 값과 비교한 결과 및 해당 UE를 서빙하는 서빙 BS로부터 해당 UE에 의해 수신된 신호의 전력과 서빙 BS에 인접한 다른 BS로부터 해당 UE에 의해 수신된 신호의 전력의 차이를 임계 전력 레벨과 비교한 결과에 기반하여, 해당 UE가 CC 사용자 그룹에 속하는지 또는 CE 사용자 그룹에 속하는지를 판정할 수 있다.

[0098] 동작(630) 내지 동작(650)에서, 예시적인 다수 사용자 스케줄링 장치(500)의 주파수 및 전력 할당부(530)는 UE의 분류를 위한 전송된 판정 후에, 적응적인 주파수 및 전력 할당을 수행한다. 예를 들어, 앞서 언급된 예시적인 적응적 FFR 기반의 주파수 및 전력 할당이 수행될 수 있다. 특히, 전력 할당에서, CE 사용자에게 대해 CC 사용자보다 더 많은 전력이 할당될 수 있다.

[0099] 동작(630)에서, 주파수 및 전력 할당부(530)의 제1 주파수 및 전력 할당부(531)(이하에서 "제1 할당부"로 약칭될 수도 있음)는 CE 사용자 그룹 내의 각각의 UE에 대해 가용 주파수 대역의 제1 부분 내의 상이한 서브대역을 할당한다. 또한, 제1 할당부(531)는 각각의 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 상기 CE 사용자 그룹 내의 모든 UE를 위한 총 할당된 전력이 셀에 의해 허용가능한 최대 전력 임계치 이하이도록 그러한 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 결정한다.

[0100] 이러한 전력 결정을 위해, 제1 할당부(531)는 CE 사용자 그룹 내의 모든 UE를 위한 총 할당된 전력을 최대 전력 임계치와 비교하고, 총 할당된 전력이 최대 전력 임계치보다 큰 경우, 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당되었는지 판정할 수 있다. 만일 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당된 경우, 제1 할당부(531)는 이미 할당된 모든 서브대역에 대해 결정된 전력의 비율을 유지하면서 총 할당된 전력이 최대 전력 임계치 이하로 설정되도록 이미 할당된 서브대역 각각에 대한 전력을 다시 결정할 수 있다. 만일 제1 부분 내의 모든 서브대역이 이미 할당되지는 않은 경우, 제1 할당부(531)는 CE 사용자 그룹 내의 소정의 UE에 대해 제1 부분 내의 미할당된 서브대역을, 그 UE에 대해 이미 할당된 서브대역 외에 추가적으로 할당하고, 해당 UE의 데이터 레이트가 최소 레이트 임계치 이상이고 총 할당된 전력이 감소되도록 이미 할당된 서브대역 및 추가적으로 할당된 서브대역에 대한 전력을 다시 결정할 수 있다.

[0101] 동작(640)에서, 주파수 및 전력 할당부(530)의 제2 주파수 및 전력 할당부(532)(이하에서 "제2 할당부"로 약칭될 수도 있음)는 CE 사용자 그룹 내의 특정 UE 및 CC 사용자 그룹 내의 선택된 UE를 다중화한다. 구체적으로, 제2 할당부(532)는 CE 사용자 그룹 내의 특정 UE에 대해 할당된 특정 서브대역을 CC 사용자 그룹 내의 선택된 UE에 대해 할당한다. CC 사용자 그룹 내의 그 UE는 서브대역 상에서의 쓰루풋을 최대화하도록 선택될 수 있다. 또한, 제2 할당부(532)는 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 선택된 UE의 데이터 레이트가 최대 레이트 임계치 이하이도록 특정 UE 및 선택된 UE 간에 할당한다. 이러한 할당에서, 제2 할당부(532)는 선택된 UE보다 특정 UE에 대해 더 많은 전력을 할당할 수 있다. 또한, 제2 할당부(532)는 특정 서브대역에 대해 결정된 전력을 특정 UE 및 선택된 UE 각각의 채널 조건에 따라 특정 UE 및 선택된 UE 간에 할당할 수 있다. 예컨대, 특정 서브대역에 대해 함께 맵핑된 UE들 간의 전력 할당은 수학식 7에 따라 수행될 수 있다.

[0102] 동작(650)에서, 제2 할당부(532)는 CC 사용자 그룹 내의 다른 UE에 대해 가용 주파수 대역의 남은 제2 부분 내의 서브대역을 할당하고, 그러한 다른 UE의 데이터 레이트가 최대 레이트 임계치 이하이도록 셀에 의해 아직 허용가능한 남은 전력의 적어도 일부를 해당 UE에 할당한다. 몇몇 실시예에서, 아직 서브대역을 할당 받지 않은 CC 사용자들의 스케줄링은 PF 메트릭을 사용하여 수행될 수 있다.

[0103] 예시적인 실시예는 본 문서에 기술된 동작, 기법, 프로세스, 또는 이의 어떤 양상이나 부분이 체현된 컴퓨터 프로그램을 포함하는 비일시적(non-transitory) 컴퓨터 판독가능 저장 매체, 예컨대 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD와 같은 광 기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 매체, 그리고 ROM, RAM, 플래시 메모리, 솔리드 스테이트(solid-state) 메모리와 같은 메모리 디바이스를 포함할 수 있다. 이러한 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에는 프로그램 명령어, 로컬 데이터 파일, 로컬 데이터 구조 등등이 단독으로 또는 조합되어 포함될 수 있다. 개시된 동작, 기법, 프로세스, 또는 이의 어떤 양상이나 부분을 구현 하거나 이용할 수 있는 프로그램은 컴퓨터에 의해 실행될 수 있는 어떤 유형의 (가령, 컴파일형(compiled) 또는 해석형(interpreted)) 프로그래밍 언어, 예컨대, 어셈블리(assembly), 기계어(machine language), 프로시저형(procedural) 언어, 객체지향(object-oriented) 언어 등등으로 구현될 수 있고, 하드웨어 구현과 조합될 수 있다. 용어 "컴퓨터 판독가능 저장 매체"는, 컴퓨팅 장치(예컨대, 다수 사용자 스케줄링 장치(500))에 의한 실행을 위한 명령어(실행 시에 컴퓨팅 장치로 하여금 개시된 기법을 수행하게 함)를 저장할 수 있고, 그러한 명령어에 의해 사용되거나 이와 연관된 데이터 구조를 저장할 수 있는 임의의 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체의 예는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD와 같은 광 기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 매체, 그리고 ROM, RAM, 플래시 메모리, 솔리드 스테이트(solid-state) 메모리와 같은 메모리 디바이스를 포함하되, 이에 한정되지 않는다.

[0104] 예시적인 시스템의 성능

[0105] 예시적인 다중 셀 NOMA 시스템이 동작하는 다중 셀 네트워크 환경은 다음 표에 제시된 파라미터로써 시뮬레이션된다.

표 1

파라미터	값
셀 레이아웃	19개의 6각형 셀 (셀당 3개의 섹터)
셀 반경	1km
음영 인자	표준 편차 8dB인 대수 정규(Log-Normal) 분포
채널 모델링	레이리 페이딩(Rayleigh Fading) 모델
경로 손실 모델	$133.6 + 35 \log_{10}(d[\text{km}])$ dB
열 잡음 밀도	-174 dBm/Hz
BS 송신 전력	46 – 50 dBm
시스템 대역폭	20 MHz
채널 대역폭	200 kHz
사용자 수	셀당 30 (섹터당 10)
서브채널	100
감쇠 인자	0.6
주파수 재사용	1(중심), 1/3(경계)
NOMA 전력 인자	$P_1=0.2, P_2=0.8$
OMA	서브캐리어=64, CP=1/4, FFT=64 point
변조	8, 16, 64-PSK

[0106]

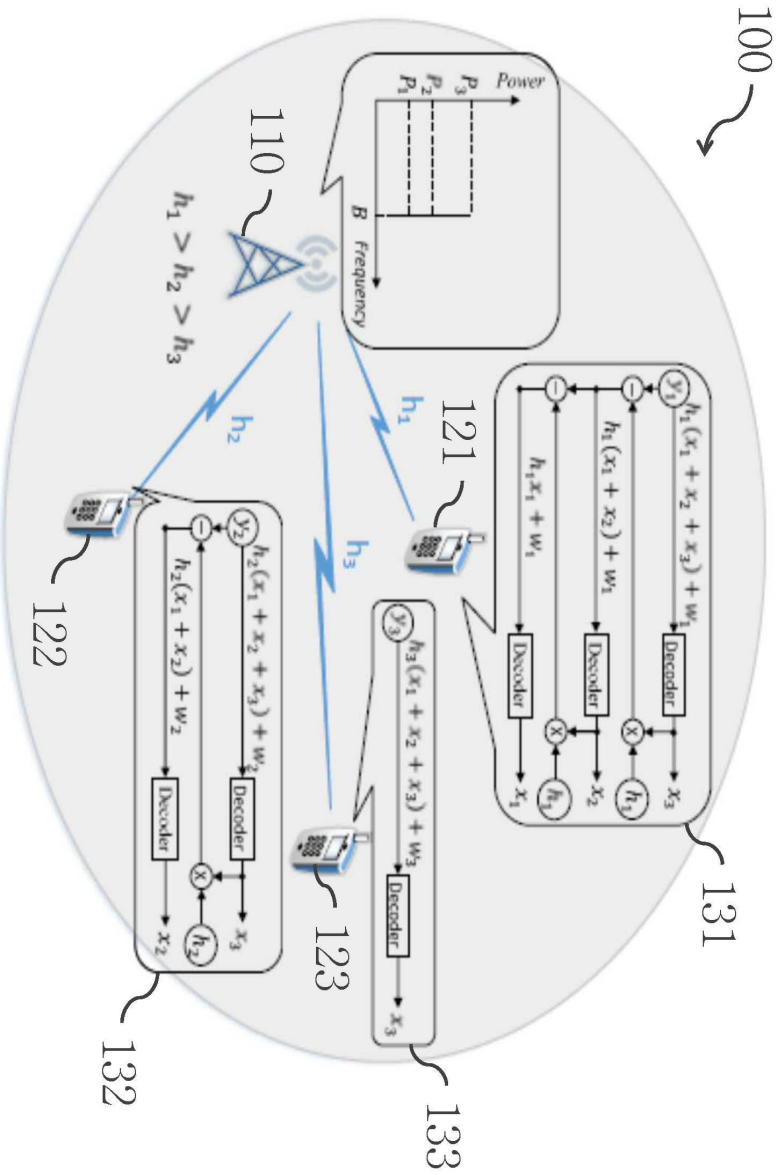
- [0107] 도 7에 도시된 바와 같이, 시뮬레이션을 위한 네트워크 모델은 19개의 6각형 셀(반경 1km)이 랩어라운드(wrap-around) 방식으로 배치된다. 각 셀 내에서 사용자들은 셀 중심 구역에서든 셀 경계 구역에서든 무작위로 분포된다. 각 셀 내에 분포된 사용자의 수는 30이고 섹터당 사용자의 수는 10이다. 각 셀 내의 사용자는 무작위 순서로 생성된 셀간 잔여 전력을 겪는다. 레일리 페이딩 채널 모델이 사용되며, 간섭을 하는(interfering) BS로부터 셀 경계 사용자가 겪는 ICI는 가산성 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise: AWGN)으로 적용된다. 모든 사용자, 특히 경계 사용자가 거리 의존적인 경로 손실을 겪는다. 음영 인자(shadowing factor)는 표준 편차가 8dB이다.
- [0108] 네트워크 설정 단계에서, 각각의 사용자는 모든 통신하는 BS로부터의 최대 수신 SNR에 기반하여 그것의 서빙 BS를 선택한다. 초기에 각 셀의 반경의 절반의 거리로써 셀 중심 구역과 셀 경계 구역의 분할이 수행된다. 이후에 그러한 셀 구역 분할은 전송된 바와 같이 SINR에 기반하여 정제된다. 즉, 사용자들은 이러한 기준에 따라 각각 어떤 셀 구역의 사용자로 분류된다. 편의상 사용자들은 클러스터 크기 2로 마련된다. 이후에 각 셀에서 FFR이 구현된다. 셀 중심 구역의 사용자에게 대해서는 1이라는 주파수 재사용 인자가 사용되고 셀 경계 구역의 사용자에게 대해서는 1/3이라는 주파수 재사용 인자가 사용된다. 시뮬레이션에서, CE 사용자만 ICI에 의해 영향을 받는다고 가정된다. 이후에 앞서 언급된 공정성 기준에 따라 CE 사용자와 CC 사용자에게 적절한 주파수 및 전력이 할당된다. 클러스터 내의 두 사용자 모두는 NOMA를 사용하여 함께 다중화될 수 있도록 그 두 사용자의 CSI에 따라 적절한 전력이 할당된다. 각각의 UE는 수신된 중첩된 신호로부터 자신의 데이터를 추출하기 위해 SIC를 수행한다.
- [0109] 도 8은 예시적인 NOMA 시스템의 성능을 설명하기 위한 도면이다. 앞서 언급된 바와 같이, 예시적인 FFR 기반 주파수 및 전력 할당 방안은 NOMA 시스템 설계에서 적절한 서비스 및 공정성을 보장하기 위해서 CE 사용자에게 대한 최소 레이트 임계치(R_{\min})와 CC 사용자에게 대한 최대 레이트 임계치(R_{\max})를 고려한다. 예시적인 방안에서, CC 사용자에게 할당된 전력과 CE 사용자에게 할당된 전력의 비율은 (가령, 수학적 식 7에서 볼 수 있듯이) 고정되지 않았다. 비교를 위해, OMA 시스템 외에, 고정된 (채널 독립적인) 전력 할당을 사용하는 NOMA 시스템(이하에서 "고정 NOMA 시스템"으로 약칭될 수도 있음)에 대한 시뮬레이션이 수행되었다. 예를 들어, 고정 NOMA 시스템에서, 주어진 사용자 세트 내의 사용자들이 그것들의 채널 조건의 양호성을 나타내는 정보(가령, 채널 이득 및/또는 SINR에 기반함)의 내림차순으로 정렬된다. 이 전력 할당 방안에 따르면, n 번째 셀에서 주파수 블록 b 에 새로 스케줄링된 사용자 세트 S 내의 k 번째 정렬된 사용자를 위한 송신 전력은 $(k+1)$ 번째 정렬된 사용자를 위한 송신 전력 및 (0보다 크고 1 이하인) 고정된 파라미터의 곱이다. 아울러, 사용자 세트 S 내의 사용자를 위한 송신 전력의 총합 $P_{n,b}$ 는 제한된다. 고정된 파라미터가 클수록, 고정 NOMA 시스템은 좋은 채널 조건을 갖는 사용자에게 더 많은 전력을 할당한다. 그러한 파라미터는 고정된 값을 가지므로, 사용자는 자신에게 할당된 전력을 스케줄링된 사용자의 수 및 사용자 순서에 관한 정보로부터 알 수 있는데, 그러한 정보는 SIC 동작에 어차피 필요한 것이다. 이와 달리, 채널 조건의 변동에 따라 동적으로 전력으로 할당하는 예시적인 FFR 기반 할당 방안에서, 각각의 사용자는 할당된 전력을 명시적인 제어 시그널링에 의해 인지할 필요가 있다. 도 8에서 볼 수 있듯이, 예시적인 FFR 기반 할당을 수행하는 NOMA 시스템(도 8에서 "Fair NOMA"로 표기됨)이 고정 NOMA 시스템(도 8에서 "Fixed Power NOMA"로 표기됨)과 OMA 시스템(도 8에서 "OMA"로 표기됨)에 비해 더 높은 용량을 제공한다. 고정 NOMA 시스템의 용량 성능은 SNR이 상당히 큰 값에 도달할 때에 예시적인 NOMA 시스템의 용량 성능에 접근한다.
- [0110] 이상에서 본 발명의 몇몇 실시예가 상세하게 기술되었으나, 이는 제한적이 아니고 예시적인 것으로 간주되어야 한다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 개시된 실시예의 세부사항에 대해 본 발명의 범주로부터 벗어나지 않고서 다양한 변경이 행해질 수 있음을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 범주는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위 및 그 균등물에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

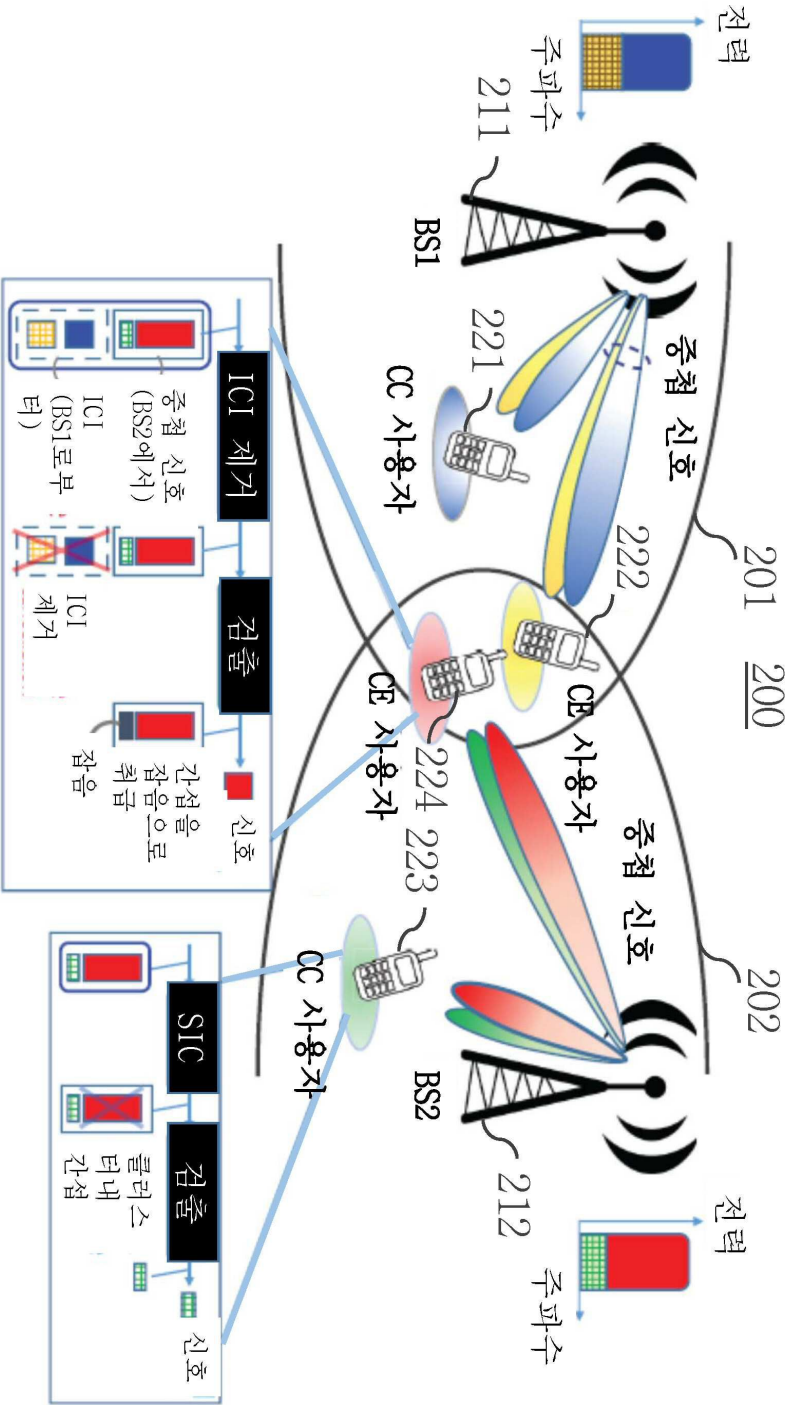
- [0111] 100: 단일 셀 NOMA 시스템
200: 다중 셀 NOMA 시스템
500: 다수 사용자 스케줄링 장치
510: 피드백 정보 수집부
520: 사용자 분류부
530: 주파수 및 전력 할당부

도면

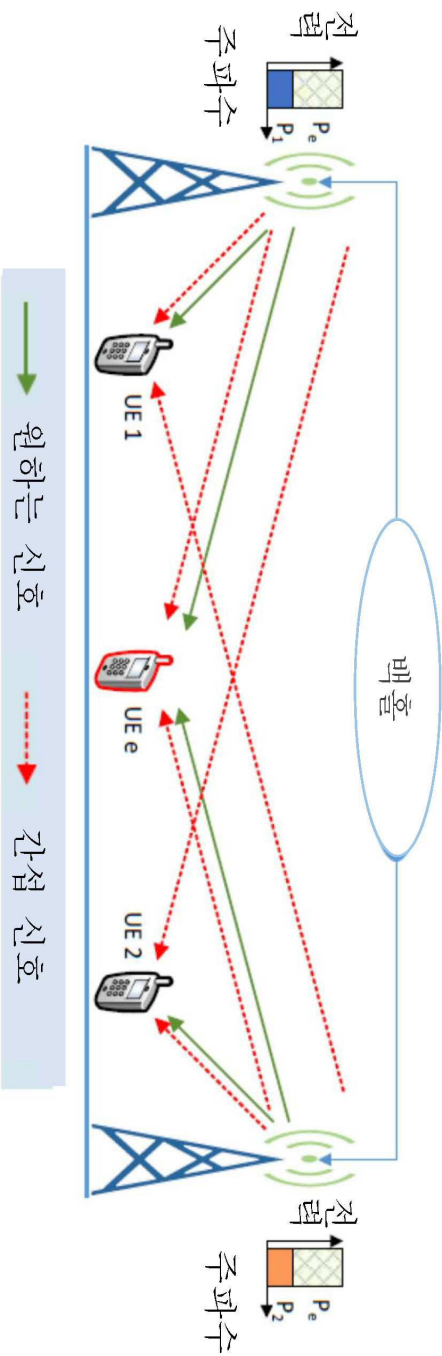
도면1



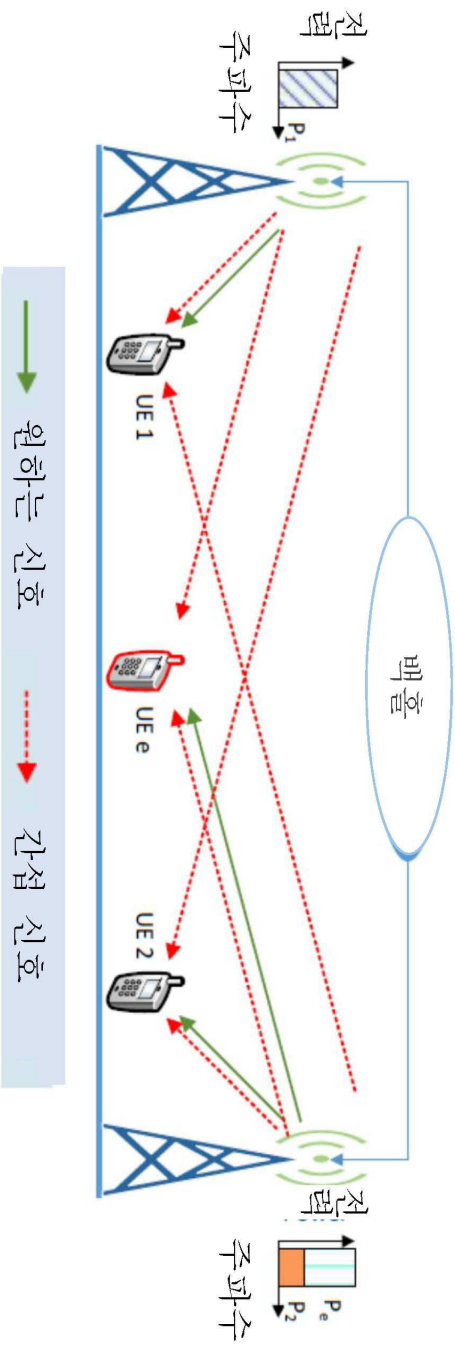
도면2



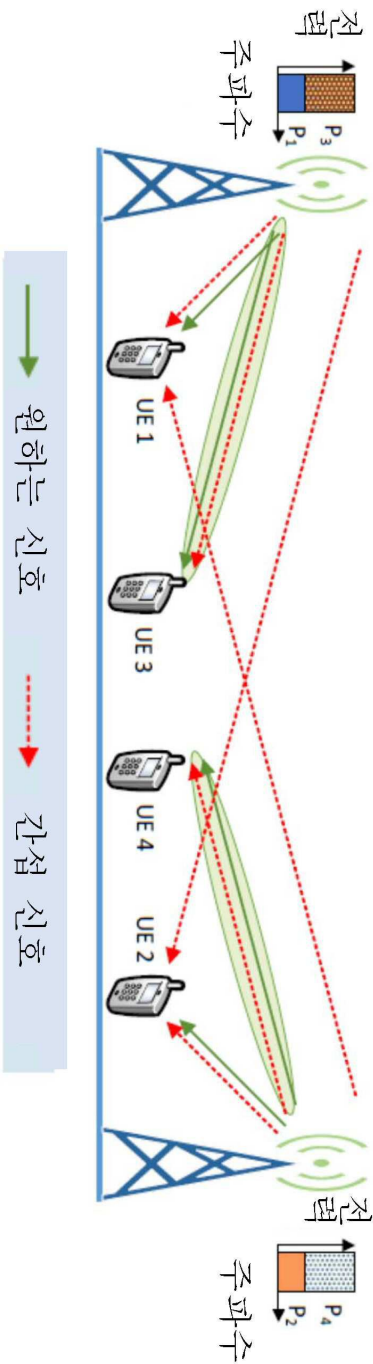
도면3a



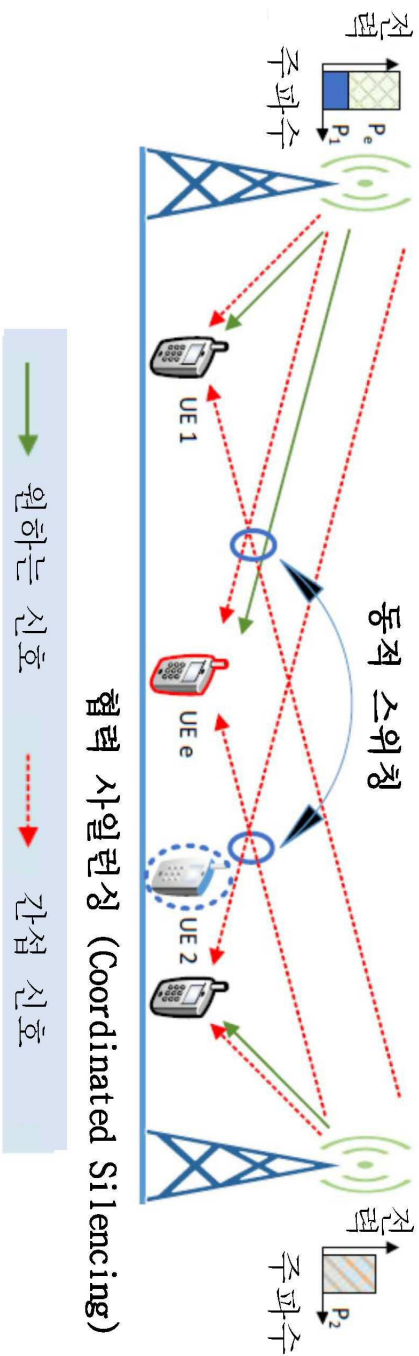
도면3b



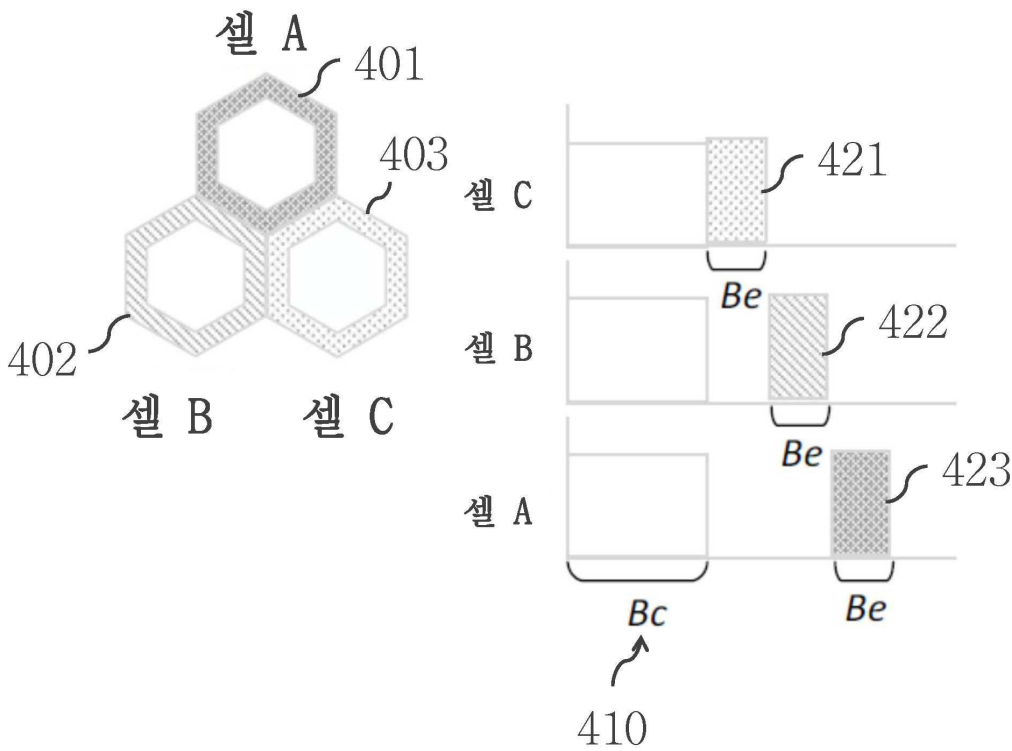
도면3c



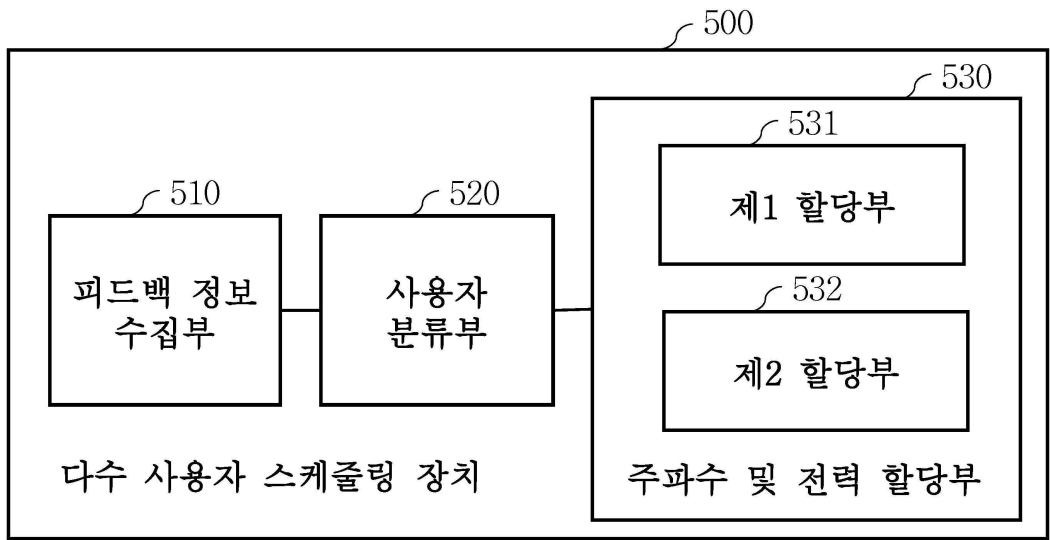
도면3d



도면4

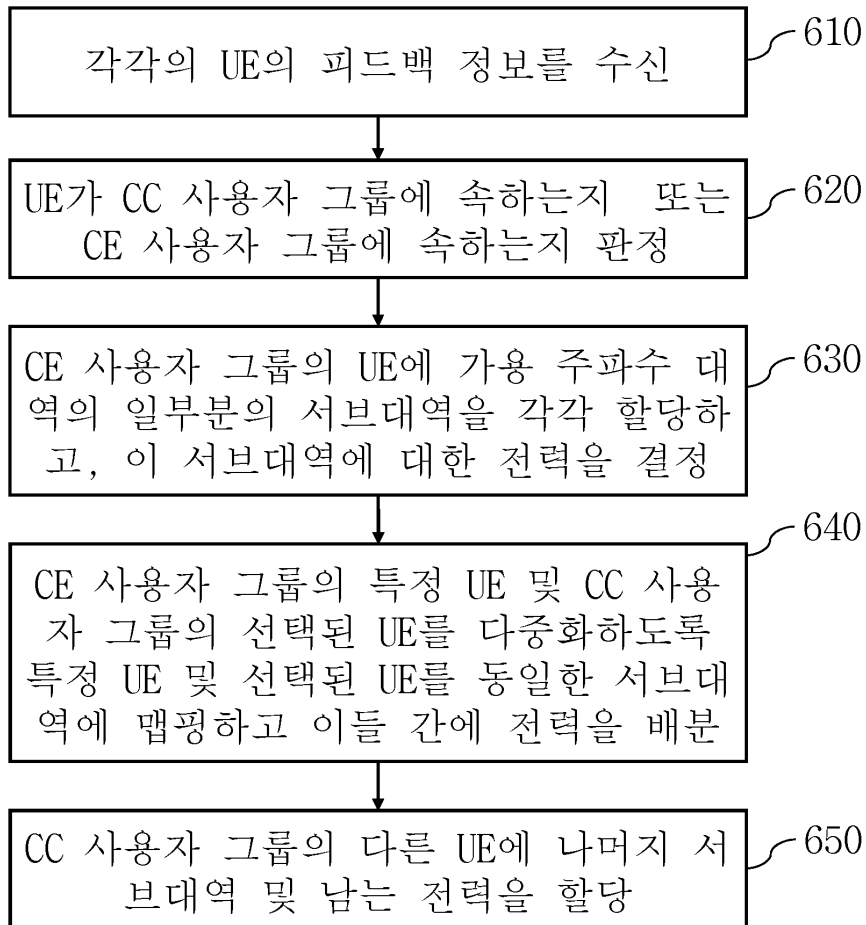


도면5

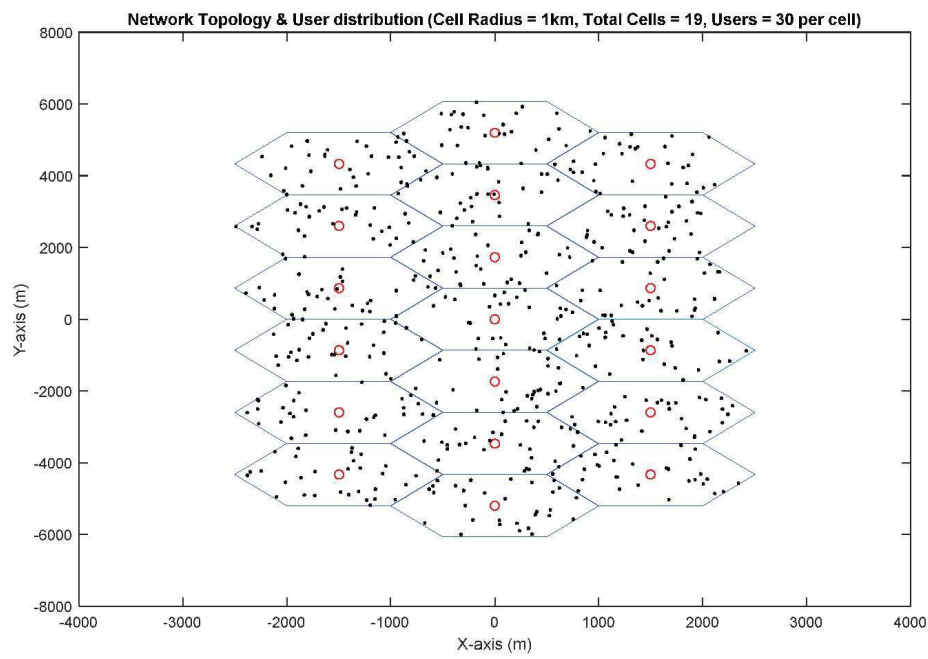


도면6

600



도면7



도면8

