(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년04월19일
(11) 등록번호 10-1728519
(24) 등록일자 2017년04월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 72/12 (2009.01) *H04W 48/16* (2009.01)
H04W 48/20 (2009.01) *H04W 72/04* (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04W 72/1263 (2013.01)
H04W 48/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0189613
(22) 출원일자 2015년12월30일
심사청구일자 2015년12월30일
(30) 우선권주장
1020150180391 2015년12월16일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
JP2001268616 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
홍충선
경기 용인시 수지구 상현로 30-10, 233동 101호 (상현동, 상현마을성원상떼빌아파트)
탄진우
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 우정원 2306 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스)
김도현
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 전자정보대학 352호 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스)
(74) 대리인
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 14 항 심사관 : 이종익

(54) 발명의 명칭 **이기종 소형 셀 네트워크에서의 스케줄링 방법**

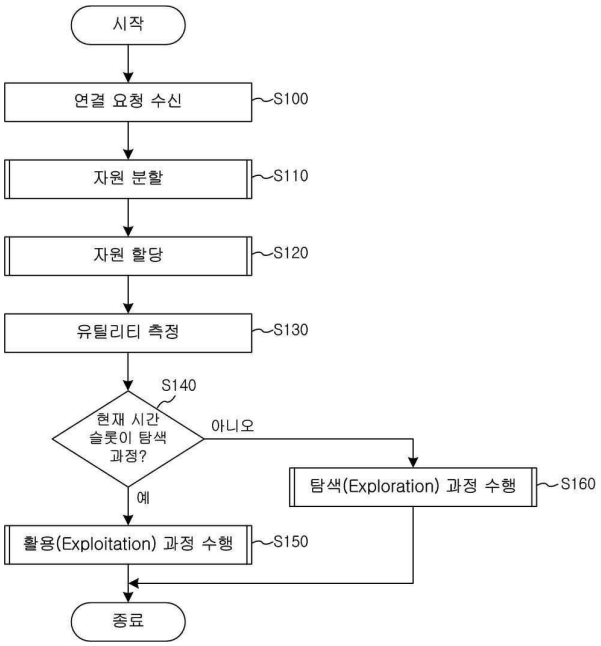
(57) 요 약

이기종 소형 셀 네트워크에서의 스케줄링 방법이 개시된다.

이 방법에서, 매크로 기지국이, 스케줄링 대상의 복수의 기지국이 복수의 사용자 장치로부터의 연결 요청에 따라 파악되는 필요 자원의 정보에 기초하여 상기 복수의 기지국별로 자원을 분할한다. 그 후, 상기 복수의 기지국이

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도4



상기 복수의 사용자 장치에서 요구되는 자원 정보에 기초하여 상기 복수의 사용자 장치별로 자원을 할당한다. 다음, 상기 복수의 사용자 각각이 상기 복수의 기지국으로부터 할당받은 자원에 기초하여 해당 시간-슬롯에서 수행된 서비스를 통해 성취된 유틸리티(utility)를 측정한다. 그 후, 상기 복수의 사용자 각각이 탐색 확률에 의해 새로운 기지국을 선택하는 탐색 과정(Exploration)과 연결 이력이 있는 기지국들 중에서 가장 좋은 성능을 나타내는 기지국을 선택하는 활용 과정(Exploitation)을 번갈아 수행하면서 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택한다.

(52) CPC특허분류
H04W 48/20 (2013.01)
H04W 72/0446 (2013.01)
H04W 72/0493 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌
JP2014045331 A*
KR1020140004548 A*
JP2014107667 A
JP2001268616 A*
JP2014045331 A*
KR1020140004548 A*
JP2014107667 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 15-951-00-001
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국정보화진흥원
연구사업명 미래네트워크선도시험망(KOREN/APII/TEIN) 실증시험과제
연구과제명 APII/TEIN망을 이용한 재난대응 SDN 테스트베드 구측 및 실증
기 여 율 1/2
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2015.07.15 ~ 2015.12.11
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2014R1A2A2A01005900
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 중견연구자지원사업 (핵심)
연구과제명 SDN기반 이종인지무선네트워크 제어관리 프레임워크 연구
기 여 율 1/2
주관기관 경희대학교 산학협력단
연구기간 2015.05.01 ~ 2016.04.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

매크로 기지국과 소형 셀 기지국으로 형성되는 이기종 소형 셀 네트워크에서의 스케줄링 방법에 있어서,

매크로 기지국이, 스케줄링 대상의 복수의 기지국이 복수의 사용자 장치로부터의 연결 요청에 따라 파악되는 필요 자원의 정보에 기초하여 상기 복수의 기지국별로 자원을 분할하는 단계;

상기 복수의 기지국이 상기 복수의 사용자 장치에서 요구되는 자원 정보에 기초하여 상기 복수의 사용자 장치별로 자원을 할당하는 단계;

상기 복수의 사용자 각각이 상기 복수의 기지국으로부터 할당받은 자원에 기초하여 해당 시간-슬롯에서 수행된 서비스를 통해 성취된 유틸리티(utility)를 측정하는 단계; 및

상기 복수의 사용자 각각이 탐색 확률에 의해 새로운 기지국을 선택하는 탐색 과정(Exploration)과 연결 이력이 있는 기지국들 중에서 가장 좋은 성능을 나타내는 기지국을 선택하는 활용 과정(Exploitation)을 번갈아 수행하면서 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택하는 단계를 포함하며,

상기 기지국을 선택하는 단계가,

현재 시간-슬롯에서 사용자 장치가 연결되어 있는 기지국이 상기 탐색 과정을 통해 선택된 기지국인지를 판단하는 단계;

현재 시간-슬롯에서 사용자 장치가 연결되어 있는 기지국이 상기 탐색 과정을 통해 선택된 기지국이 아닌 경우, 탐색 과정을 통해 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택하는 단계; 및

현재 시간-슬롯에서 사용자 장치가 연결되어 있는 기지국이 상기 탐색 과정을 통해 선택된 기지국인 경우, 활용 과정을 통해 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택하는 단계

를 포함하는, 스케줄링 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 자원을 분할하는 단계가,

상기 매크로 기지국이 상기 복수의 사용자 장치로부터 연결 요청과 함께 전달된 요구 데이터 속도에 기초하여 전체 다운링크 데이터 속도 및 전체 업링크 데이터 속도를 계산하는 단계;

상기 매크로 기지국이 상기 전체 다운링크 데이터 속도와 상기 전체 업링크 데이터 속도에 기초하여 다운링크 및 업링크 비율을 계산하고, 상기 다운링크 및 업링크 비율에 따라 비례공평하게 다운링크와 업링크별로 자원을 분할하는 단계;

상기 매크로 기지국이 자원 재사용이 가능한 집합과 자원 충돌이 발생하는 집합을 생성하는 단계; 및

상기 매크로 기지국이 상기 다운링크 및 업링크별로 분할된 자원을 비례공평하게 상기 복수의 기지국별로 할당하는 단계

를 포함하는 스케줄링 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 집합을 생성하는 단계에서, 동일한 자원을 재사용 할 수 있는 기지국을 동일한 파티션으로 그룹핑하는 것을 특징으로 하는 스케줄링 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 전체 다운링크 데이터 속도(D)와 상기 업링크 데이터 속도(U)가 다음의 관계식

$$D_j = \sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij} \psi_i^D,$$
$$U_j = \sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij} \psi_i^U,$$
$$D = \max\{D_1, \ldots, D_{|\mathcal{B}|}\},$$
$$U = \max\{U_1, \ldots, U_{|\mathcal{B}|}\}$$

여기서, D_j 는 기지국 j의 다운링크 데이터 속도이고,

ψ_i^D 는 사용자 장치 i의 요구 다운링크 데이터 속도이며,

U_j 는 기지국 j의 업링크 데이터 속도이고

ψ_i^U 는 사용자 장치 i의 요구 업링크 데이터 속도임

에 의해 계산되는 스케줄링 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 다운링크와 업링크별로 자원을 비례공형하게 분할하기 위한 비율($\alpha(t+1)$)은 다음의 관계식

$$\alpha(t+1) = \left\lceil \frac{D}{D+U} \right\rceil \cdot \frac{1}{Z}$$

여기서, Z는 현재의 시간-슬롯에서 사용 가능한 전체 자원의 양임

을 따르고,

상기 다운링크 및 업링크별로 분할된 자원을 상기 복수의 기지국별로 비례공평하게 할당하기 위한 비율($\beta_j(t+1)$)은 다음의 관계식

$$\beta_j(t+1) = \left\lceil \frac{D_j + U_j}{\sum_{j' \in \mathcal{B}} D_{j'} + U_{j'}} \right\rceil \cdot \frac{1}{Z}$$

을 따르는 스케줄링 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 자원 재사용이 가능한 집합($\mathcal{B}^{\mathcal{R}}$)과 자원 충돌이 발생하는 집합($\mathcal{B}^{\mathcal{C}}$)은 다음의 관계식

$$\forall j,m \in \mathcal{B}, \forall i,l \in \mathcal{U}, \forall k \in \mathcal{S},$$
$$\mathcal{B}_j^{\mathcal{I}} = \{m\}, \mathcal{B}_m^{\mathcal{I}} = \{j\},$$
$$\mathcal{B}^{\mathcal{C}} = \left\{(j,m) \mid \min\{\Gamma_{ijk}, \Gamma_{lmk}\} \le \tilde{\Gamma}\right\}$$
$$\mathcal{B}^{\mathcal{R}} = \left\{(j,m) \mid \min\{\Gamma_{ijk}, \Gamma_{lmk}\} > \tilde{\Gamma}\right\}$$

여기서, $\mathcal{B}$는 기지국 집합이고,

$\mathcal{U}$는 사용자 장치 집합이며,

$\mathcal{S}$는 부반송파 집합이고,

$\mathcal{B}_j^{\mathcal{I}}$는 BS j에 간섭을 발생하는 기지국 집합임

을 통해 생성되는 스케줄링 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 자원을 할당하는 단계가,

상기 복수의 기지국 각각이 자신에게 연결을 요청한 사용자 장치에 의해 요구되는 자원의 전체 양을 계산하는 단계;

상기 복수의 기지국 각각이 자신이 할당받은 자원이 상기 요구되는 자원의 전체 양보다 많아서 충분한 경우, 자신에게 연결을 요청한 사용자 장치 모두에게 서비스를 위한 연결을 허락하는 단계;

상기 복수의 기지국 각각이 자신이 할당받은 자원이 상기 요구되는 자원의 전체 양보다 많지 않아서 충분하지 않은 경우, 일부 사용자 장치의 서비스를 거절하는 단계;

간섭 제한에 따라서 수락된 서비스에 대한 자원과 전력 할당 방식을 찾는 단계; 및

상기 복수의 기지국 각각이 상기 간섭 제한에 따라서 찾은 자원과 전력 할당 방식에 따라 사용자 장치별로 자원과 전력을 할당하는 단계

를 포함하는 스케줄링 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 사용자 장치에 의해 요구되는 자원의 전체 양은 다음의 관계식

$$\sum_{k \in \mathcal{S}} x_{ij} y_{ik} = \left\lceil \frac{\psi_i}{C_{ijk}} \right\rceil, \forall i \in \mathcal{U}$$

여기서, x_{ij}는 사용자 장치 UE i로부터 기지국 j로의 요청이고,

y_{ik} 는 기지국 j에 의해 사용자 장치 i에게 할당된 부반송파이며,

ψ_i 는 사용자 장치 i의 요구 데이터 속도이고,

C_{ijk} 는 사용자 장치 i로부터 기지국 j로의 성취가능한 데이터 속도임

에 의해 산출되며,

상기 성취가능한 데이터 속도(C_{ijk})는 다음의 관계식

$$C_{ijk} = W \log_2(1 + \Gamma_{ijk})$$

여기서, W 는 부반송파의 대역폭이고,

Γ_{ijk} 는 부반송파 k 상에서 사용자 장치 i로부터 기지국 j로 수신되는 SINR(Signal-to-interferece-plus-noise-ratio)이며,

$$\Gamma_{ijk} = \frac{h_{ij}P_{ik}}{\sum_{m \in T_{ik}^I} h_{mj}P_{mk} + WN_0}$$

여기서, h_{ij} 는 사용자 장치 i와 기지국 j 사이의 채널이고,

N_0 는 열잡음 스펙트럼 전력이며,

$P_{jk} \in \{0, (1/N^P)\widehat{P}_j, (2/N^P)\widehat{P}_j, \ldots, \widehat{P}_j\}$ 이고,

$\widehat{P}_j$ 는 부반송파 k 상에서의 기지국 j의 전력 P_{jk} 에 대해 다수의 부반송파에 할당될 제한 전력 예산임

을 따르는 스케줄링 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

자원 할당에 대한 상기 간섭 제한은 다음의 관계식

$$\max_{\mathbf{P},\mathbf{y}} \sum_{i \in \mathcal{U}} \sum_{j \in \mathcal{B}} \tilde{x}_{ij}$$

$$\text{s.t.} \sum_{k \in \mathcal{S}} P_{jk} \le P_j$$

$$\tilde{x}_{ij} y_{ik} + x_{lm} y_{lk} \le 1, \forall (j,m) \in \mathcal{B}^{\mathcal{C}}, \forall k \in \mathcal{S},$$

$$x_{ij} y_{ik} + x_{lm} y_{lk} \le 2, \forall (j,m) \in \mathcal{B}^{\mathcal{R}}, \forall k \in \mathcal{S}$$

을 따르는 스케줄링 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 성취된 유틸리티($\theta_i(t)$)는 다음의 관계식

$$\theta_i(t) = \sum_{k \in \mathcal{S}} y_{ik}(C_{ijk} - \lambda_j P_{jk})$$

여기서, λ_j 데이터 전송의 가중치임

을 따라서 산출되는 스케줄링 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

탐색 과정을 통해 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택하는 단계가,

상기 복수의 사용자 장치 각각이 랜덤 수 a ($0 \leq a \leq 1$)를 생성하는 단계;

상기 복수의 사용자 장치 각각이 상기 랜덤 수 a와 탐색 확률 ω를 비교하는 단계;

상기 비교 결과, 상기 탐색 확률 ω가 상기 랜덤 수 a와 같거나 큰 경우, 상기 복수의 사용자 장치 각각이 연결 범위 내에 있는 기지국 중에서 무작위로 새로운 기지국을 선택하여 다음 시간-슬롯에서 연결할 기지국으로 선택하는 단계; 및

상기 비교 결과, 상기 탐색 확률 ω가 상기 랜덤 수 a보다 작은 경우, 상기 복수의 사용자 장치 각각이 현져 연결된 기지국을 다음 시간-슬롯에서 연결할 기지국으로 선택하는 단계

를 포함하는 스케줄링 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 활용 과정을 통해 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택하는 단계가,

상기 복수의 사용자 장치 각각이 로그-선형 방식에 따라 활용 확률을 산출하는 단계;

상기 복수의 사용자 장치 각각이 랜덤 수 b($0 \leq b \leq 1$)를 생성하는 단계;

상기 복수의 사용자 장치 각각이 상기 랜덤 수 b와 상기 활용 확률을 비교하는 단계;

상기 활용 확률이 상기 랜덤 수 b와 같거나 큰 경우, 상기 복수의 사용자 장치 각각이 현재 시간-슬롯 이전의 시간-슬롯에서 연결한 기지국을 다음 시간-슬롯에서 연결할 새로운 기지국으로 선택하는 단계; 및

상기 활용 확률이 상기 랜덤 수 b보다 작은 큰 경우, 상기 복수의 사용자 장치 각각이 현재 시간-슬롯에 연결된 기지국을 다음 시간-슬롯에서 연결할 기지국으로 선택하는 단계

를 포함하는 스케줄링 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 활용 확률($\nu_i(t)$)는 다음의 관계식

$$\nu_i(t) = \frac{e^{\kappa\theta_i(t-2)}}{e^{\kappa\theta_i(t-1)} + e^{\kappa\theta_i(t-2)}}$$

여기서, 현재 시간-슬롯은 (t-1)이고,

이전 시간-슬롯이 (t-1)이며,

다음 시간-슬롯이 t임

을 따르는 스케줄링 방법.

청구항 15

제1항 및 제3항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 복수의 사용자 장치 각각은 현재 시간-슬롯에서 상기 탐색 과정 또는 상기 활용 과정을 통해 선택된 기지국에 대해 다음 시간-슬롯의 시작시 스위칭 연결하는 것을 특징으로 하는 스케줄링 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 이기종 소형 셀 네트워크에서의 스케줄링 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 휴대 가능한 이동 단말 및 태블릿 PC의 광범위한 보급과 무선 인터넷 기술을 근간으로 하는 모바일 컴퓨팅의 급속한 확대로 인하여 무선 네트워크 용량의 획기적인 증대가 요구되고 있다.

[0003] 많은 연구들에서 향후 모바일 사용자들의 트래픽 사용량은 급격하게 증가할 것으로 예측되고 있다. 이와 같은 폭발적인 트래픽 증가에 따른 요구사항을 충족시키기 위한 대표적인 해결책은 진화된 물리계층 기술을 적용하거나 추가적인 스펙트럼을 할당하는 방법을 고려할 수 있다. 그러나, 물리계층 기술은 이론적인 한계점에 도달하고 있고, 추가적인 스펙트럼의 할당을 통한 셀룰러망의 용량 증대는 근본적인 해결책이 될 수 없다.

[0004] 따라서, 셀룰러망에서 폭발적으로 증가하는 사용자의 데이터 트래픽을 효율적으로 지원하기 위한 방법으로, 셀의 크기를 줄여서 더 많은 소형 셀들을 촘촘하게 설치하거나 다층구조의 셀룰러망을 이용하여 서비스를 제공하는 방법이 현실적인 대안으로 고려될 수 있다.

[0005] 그런데, 이와 같이 매크로 기지국과 소형 셀 기지국이 혼재하는 종래의 이기종 소형 셀 네트워크에서는 기지국이 이동 단말이나 스마트폰 등의 사용자 장치를 선택함으로써, 기지국이 모든 사용자 장치에 대해 검토하여 결정해야 한다.

[0006] 따라서, 종래 기술에서는 모든 사용자 장치에 대해 가능한 구성 조합을 확인하여서 판단해야 하므로 많은 처리 시간이 필요하게 되어 비용 소모적이면서 비효율적이라는 문제점을 가지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 사용자 장치가 직접 기지국을 선택하여 연결함으로써 네트워크를 자기조직화있으며, 소형-셀 네트워크의 효율이 증가되어 네트워크 운영자측의 운영 비용을 감소시킬 수 있는 이기종 소형 셀 네트워크에서의 스케줄링 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 한 특징에 따른 스케줄링 방법은,

[0009] 매크로 기지국과 소형 셀 기지국으로 형성되는 이기종 소형 셀 네트워크에서의 스케줄링 방법으로, 매크로 기지국이, 스케줄링 대상의 복수의 기지국이 복수의 사용자 장치로부터의 연결 요청에 따라 파악되는 필요 자원의

정보에 기초하여 상기 복수의 기지국별로 자원을 분할하는 단계; 상기 복수의 기지국이 상기 복수의 사용자 장치에서 요구되는 자원 정보에 기초하여 상기 복수의 사용자 장치별로 자원을 할당하는 단계; 상기 복수의 사용자 각각이 상기 복수의 기지국으로부터 할당받은 자원에 기초하여 해당 시간-슬롯에서 수행된 서비스를 통해 성취된 유틸리티(utility)를 측정하는 단계; 및 상기 복수의 사용자 각각이 탐색 확률에 의해 새로운 기지국을 선택하는 탐색 과정(Exploration)과 연결 이력이 있는 기지국들 중에서 가장 좋은 성능을 나타내는 기지국을 선택하는 활용 과정(Exploitation)을 번갈아 수행하면서 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택하는 단계를 포함한다.

[0010] 여기서, 상기 기지국을 선택하는 단계가, 현재 시간-슬롯에서 사용자 장치가 연결되어 있는 기지국이 상기 탐색 과정을 통해 선택된 기지국인지를 판단하는 단계; 현재 시간-슬롯에서 사용자 장치가 연결되어 있는 기지국이 상기 탐색 과정을 통해 선택된 기지국이 아닌 경우, 탐색 과정을 통해 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택하는 단계; 및 현재 시간-슬롯에서 사용자 장치가 연결되어 있는 기지국이 상기 탐색 과정을 통해 선택된 기지국인 경우, 활용 과정을 통해 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택하는 단계를 포함한다.

[0011] 또한, 상기 자원을 분할하는 단계가, 상기 매크로 기지국이 상기 복수의 사용자 장치로부터 연결 요청과 함께 전달된 요구 데이터 속도에 기초하여 전체 다운링크 데이터 속도 및 전체 업링크 데이터 속도를 계산하는 단계; 상기 매크로 기지국이 상기 전체 다운링크 데이터 속도와 상기 전체 업링크 데이터 속도에 기초하여 다운링크 및 업링크 비율을 계산하고, 상기 다운링크 및 업링크 비율에 따라 비례공평하게 다운링크와 업링크별로 자원을 분할하는 단계; 상기 매크로 기지국이 자원 재사용이 가능한 집합과 자원 충돌이 발생하는 집합을 생성하는 단계; 및 상기 매크로 기지국이 상기 다운링크 및 업링크별로 분할된 자원을 비례공평하게 상기 복수의 기지국별로 할당하는 단계를 포함한다.

[0012] 또한, 상기 집합을 생성하는 단계에서, 동일한 자원을 재사용 할 수 있는 기지국을 동일한 파티션으로 그룹핑하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한, 상기 전체 다운링크 데이터 속도(D)와 상기 업링크 데이터 속도(U)가 다음의 관계식

$$D_j = \sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij} \psi_i^D,$$

$$U_j = \sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij} \psi_i^U,$$

$$D = \max\{D_1, \ldots, D_{|\mathcal{B}|}\},$$

$$U = \max\{U_1, \ldots, U_{|\mathcal{B}|}\}$$

[0014] 여기서, D_j는 기지국 j의 다운링크 데이터 속도이고, ψ_i^D는 사용자 장치 i의 요구 다운링크 데이터 속도이며, U_j는 기지국 j의 업링크 데이터 속도이고, ψ_i^U는 사용자 장치 i의 요구 업링크 데이터 속도임, 에 의해 계산된다.

[0015] 또한, 상기 다운링크와 업링크별로 자원을 비례공형하게 분할하기 위한 비율($\alpha(t+1)$)은 다음의 관계식

$$\alpha(t+1) = \left\lceil \frac{D}{D+U} \right\rceil \cdot \frac{1}{Z}$$

[0016] 여기서, Z는 현재의 시간-슬롯에서 사용 가능한 전체 자원의 양임, 을 따르고, 상기 다운링크 및 업링크별로 분할된 자원을 상기 복수의 기지국별로 비례공평하게 할당하기 위한 비율($\beta_j(t+1)$)은 다음의 관계식

$$\beta_j(t+1) = \left\lceil \frac{D_j + U_j}{\sum_{j' \in \mathcal{B}} D_{j'} + U_{j'}} \right\rceil \cdot \frac{1}{Z}$$

[0017] 을 따른다.

[0018] 또한, 상기 자원 재사용이 가능한 집합($\mathcal{B}^{\mathcal{R}}$)과 자원 충돌이 발생하는 집합($\mathcal{B}^{\mathcal{C}}$)은 다음의 관계식

$$\forall j,m \in \mathcal{B}, \forall i,l \in \mathcal{U}, \forall k \in \mathcal{S},$$
$$\mathcal{B}_j^{\mathcal{I}} = \{m\}, \mathcal{B}_m^{\mathcal{I}} = \{j\},$$
$$\mathcal{B}^{\mathcal{C}} = \left\{(j,m) \mid \min\{\Gamma_{ijk}, \Gamma_{lmk}\} \le \tilde{\Gamma}\right\}$$
$$\mathcal{B}^{\mathcal{R}} = \left\{(j,m) \mid \min\{\Gamma_{ijk}, \Gamma_{lmk}\} > \tilde{\Gamma}\right\}$$

[0019] 여기서, $\mathcal{B}$는 기지국 집합이고, $\mathcal{U}$는 사용자 장치 집합이며, $\mathcal{S}$는 부반송파 집합이고, $\mathcal{B}_j^{\mathcal{I}}$는 BS j에 간섭을 발생하는 기지국 집합임, 을 통해 생성된다.

[0020] 또한, 상기 자원을 할당하는 단계가, 상기 복수의 기지국 각각이 자신에게 연결을 요청한 사용자 장치에 의해 요구되는 자원의 전체 양을 계산하는 단계; 상기 복수의 기지국 각각이 자신이 할당받은 자원이 상기 요구되는 자원의 전체 양보다 많아서 충분한 경우, 자신에게 연결을 요청한 사용자 장치 모두에게 서비스를 위한 연결을 허락하는 단계; 상기 복수의 기지국 각각이 자신이 할당받은 자원이 상기 요구되는 자원의 전체 양보다 많지 않아서 충분하지 않은 경우, 일부 사용자 장치의 서비스를 거절하는 단계; 간섭 제한에 따라서 수락된 서비스에 대한 자원과 전력 할당 방식을 찾는 단계; 및 상기 복수의 기지국 각각이 상기 간섭 제한에 따라서 찾은 자원과 전력 할당 방식에 따라 사용자 장치별로 자원과 전력을 할당하는 단계를 포함한다.

[0021] 또한, 상기 사용자 장치에 의해 요구되는 자원의 전체 양은 다음의 관계식

$$\sum_{k \in \mathcal{S}} x_{ij} y_{ik} = \left\lceil \frac{\psi_i}{C_{ijk}} \right\rceil, \forall i \in \mathcal{U}$$

[0022] 여기서, x_{ij}는 사용자 장치 i로부터 기지국 j로의 요청이고, y_{ik}는 기지국 j에 의해 사용자 장치 i에게 할당된 부반송파이며, ψ_i는 사용자 장치 i의 요구 데이터 속도이고, C_{ijk}는 사용자 장치 i로부터 기지국 j로의 성취가능한 데이터 속도임, 에 의해 산출되며, 상기 성취가능한 데이터 속도(C_{ijk})는 다음의 관계식

$$C_{ijk} = W \log_2(1 + \Gamma_{ijk})$$

[0023] 여기서, W는 부반송파의 대역폭이고, Γ_{ijk}는 부반송파 k 상에서 사용자 장치 i로부터 기지국 j로 수신되는 SINR(Signal-to-interferece-plus-noise-ratio)이며,

$$\Gamma_{ijk} = \frac{h_{ij} P_{ik}}{\sum_{m \in \mathcal{T}_{ik}^{\mathcal{I}}} h_{mj} P_{mk} + W N_0}$$

[0024] 여기서, h_{ij}는 사용자 장치 i와 기지국 j 사이의 채널이고, N_0는 열잡음 스펙트럼 전력이며, $P_{jk} \in \{0, (1/N^P)\widehat{P}_j, (2/N^P)\widehat{P}_j, \ldots, \widehat{P}_j\}$이고, $\widehat{P}_j$는 부반송파 k 상에서의 기지국 j의 전력 P_{jk}에 대해 다수의 부반송파에 할당될 제한 전력 예산임, 을 따른다.

[0025] 또한, 자원 할당에 대한 상기 간섭 제한은 다음의 관계식

$$\max_{\mathbf{P},\mathbf{y}} \quad \sum_{i\in\mathcal{U}}\sum_{j\in\mathcal{B}} \tilde{x}_{ij}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k\in\mathcal{S}} P_{jk} \le P_j$$

$$\tilde{x}_{ij} y_{ik} + x_{lm} y_{lk} \le 1, \forall (j,m) \in \mathcal{B}^{\mathcal{C}}, \forall k \in \mathcal{S},$$

$$x_{ij} y_{ik} + x_{lm} y_{lk} \le 2, \forall (j,m) \in \mathcal{B}^{\mathcal{R}}, \forall k \in \mathcal{S}$$

[0026] 을 따른다.

[0027] 또한, 상기 성취된 유틸리티($\theta_i(t)$)는 다음의 관계식

$$\theta_i(t) = \sum_{k\in\mathcal{S}} y_{ik}(C_{ijk} - \lambda_j P_{jk})$$

[0028] 여기서, λ_j 는 데이터 전송의 가중치임, 을 따라서 산출된다.

[0029] 또한, 탐색 과정을 통해 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택하는 단계가, 상기 복수의 사용자 장치 각각이 랜덤 수 a ($0 \le a \le 1$)를 생성하는 단계; 상기 복수의 사용자 장치 각각이 상기 랜덤 수 a와 탐색 확률 ω를 비교하는 단계; 상기 비교 결과, 상기 탐색 확률 ω가 상기 랜덤 수 a와 같거나 큰 경우, 상기 복수의 사용자 장치 각각이 연결 범위 내에 있는 기지국 중에서 무작위로 새로운 기지국을 선택하여 다음 시간-슬롯에서 연결할 기지국으로 선택하는 단계; 및 상기 비교 결과, 상기 탐색 확률 ω가 상기 랜덤 수 a보다 작은 경우, 상기 복수의 사용자 장치 각각이 현재 연결된 기지국을 다음 시간-슬롯에서 연결할 기지국으로 선택하는 단계를 포함한다.

[0030] 또한, 상기 활용 과정을 통해 다음 시간-슬롯에서 연결될 기지국을 선택하는 단계가, 상기 복수의 사용자 장치 각각이 로그-선형 방식에 따라 활용 확률을 산출하는 단계; 상기 복수의 사용자 장치 각각이 랜덤 수 b($0 \le b \le 1$)를 생성하는 단계; 상기 복수의 사용자 장치 각각이 상기 랜덤 수 b와 상기 활용 확률을 비교하는 단계; 상기 활용 확률이 상기 랜덤 수 b와 같거나 큰 경우, 상기 복수의 사용자 장치 각각이 현재 시간-슬롯 이전의 시간-슬롯에서 연결한 기지국을 다음 시간-슬롯에서 연결할 새로운 기지국으로 선택하는 단계; 및 상기 활용 확률이 상기 랜덤 수 b보다 작은 큰 경우, 상기 복수의 사용자 장치 각각이 현재 시간-슬롯에 연결된 기지국을 다음 시간-슬롯에서 연결할 기지국으로 선택하는 단계를 포함한다.

[0031] 또한, 상기 활용 확률($\nu_i(t)$)는 다음의 관계식

$$\nu_i(t) = \frac{e^{\kappa\theta_i(t-2)}}{e^{\kappa\theta_i(t-1)} + e^{\kappa\theta_i(t-2)}}$$

[0032] 여기서, 현재 시간-슬롯은 (t-1)이고, 이전 시간-슬롯이 (t-1)이며, 다음 시간-슬롯이 t임, 을 따른다.

[0033] 또한, 상기 복수의 사용자 장치 각각은 현재 시간-슬롯에서 상기 탐색 과정 또는 상기 활용 과정을 통해 선택된 기지국에 대해 다음 시간-슬롯의 시작시 스위칭 연결하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0034] 본 발명에 따르면, 사용자 장치가 직접 기지국을 선택하여 연결함으로써 네트워크를 자기 조직화할 수 있다.

[0035] 이로 인해, 이기종 소형 셀 네트워크에서 최적의 자원 및 전력 할당을 달성할 수 있다.

[0036] 따라서, LTE 소형-셀 네트워크의 효율이 증가되어 네트워크 운영자측의 운영 비용을 감소시킬 수 있다

도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 LTE 이기종 소형 셀 네트워크의 모델을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 2는 매크로 기지국과 소형 셀 기지국 사이의 사용자 연결 전환 개념을 도시한 도면이다.

도 3은 LTE 이기종 소형 셀 네트워크에서 자원 충돌 및 재사용이 가능한 개념을 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 이기종 소형 셀 네트워크에서의 스케줄링 방법의 흐름도이다.

도 5는 도 4에 도시된 자원 분할 단계의 구체적인 흐름도이다.

도 6은 도 4에 도시된 자원 할당 단계의 구체적인 흐름도이다.

도 7은 도 4에 도시된 탐색 과정 수행 단계의 구체적인 흐름도이다.

도 8은 도 4에 도시된 활용 과정 수행 단계의 구체적인 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0039] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "…부", "…기", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0040] 먼저, 이기종 소형 셀 네트워크에서의 스케줄링을 위한 시스템 모델에 대해 설명한다. 여기서, 다양한 형태의 통신 방식이 적용될 수 있지만, 본 발명의 실시예에서는 LTE(Long Term Evolution) 통신 방식을 사용하여 설명한다.

[0041] 도 1은 LTE 이기종 소형 셀 네트워크의 모델을 개략적으로 도시한 도면이다.

[0042] 도 1을 참조하면, $\{A_1, A_2, \ldots, A_{14}\}$ 는 빌딩이나 영역의 집합을 나타내고, $\{A_0\}$는 외부를 나타낸다.

[0043] $\{B_1, B_2, \ldots, B_{14}\}$ 는 매크로 기지국, 피코 기지국 및 펨토 기지국을 포함하는 기지국 집합을 나타낸다.

[0044] 도 2는 매크로 기지국과 소형 셀 기지국 사이의 사용자 연결 전환 개념을 도시한 도면이다.

[0045] 도 2를 참조하면, 사용자 장치(UE i)(10)가 매크로 기지국(Macro BS, MBS)(BS j)(20)과 소형 셀 기지국(Small-cell BS, SBS)(BS j')(30) 사이에 연결을 전환하는 것을 알 수 있다.

[0046] 이 때, x_{ij} 는 UE i(10)로부터 BS j(20)로의 요청이고, $x_{ij'}$ 는 UE i(10)로부터 BS j'(30)로의 요청이며, $\mathbf{y}_i^{(j)}$ 는 BS j(20)에 의해 UE i(10)에게 할당되는 부반송파이고, $\mathbf{y}_i^{(j')}$ 는 BS j'(30)에 의해 UE i(10)에게 할당되는 부반송파이다.

[0047] 도 1에 도시된 바와 같이, 고정된 기지국(Base Station, BS)들과 무작위로 위치하는 UE들로 구성되는 이기종의 다운링크(downlink) 및 업링크(uplink)를 고려한다. 다운링크에서, 전송기(Tx's)는 기지국의 집합 B이고, 수신기(Rx's)는 사용자 장치(user equipment, UE)의 집합 U이다.

[0048] 업링크에서, Tx's는 UE들의 집합 U이고, Rx's는 BS들의 집합 B이다. 다운링크이건 업링크이건, 각 Tx i는 다수의 부반송파에 할당될 제한 전력 예산 $\hat{P}_i$ 을 가지며, [수식 1]과 같다

[0049] [수식 1]

[0050] $\sum_{s\in S} P_{is} \le \hat{P}_i$

[0051] 여기서, $P_{is} \in \{0, (1/N^P)\hat{P}_i, (2/N^P)\hat{P}_i, \ldots, \hat{P}_i\}$ 이다.

[0052] 한편, Tx i와 Rx j 사이에 $h_{ij} = 10^{-\xi/10}$ 로 산출될 수 있는 로그-디스턴스 패스 로스 모델(log-distance path loss model)과 긍정 채널 전력 이득(positive channel power gain)을 고려한다.

[0053] 이 경우, $T_{is}^I \subseteq T$ 는 부반송파 s 상에서 Tx i를 간섭하는 Tx's의 집합이다.

[0054] 따라서, 부반송파 s 상에서 Rx j 로부터 Tx i로 수신되는 SINR(signal-to-interferecen-plus-noise-ratio)은 [수식 2]와 같다.

[0055] [수식 2]

[0056] $$\Gamma_{ijs} = \frac{h_{ij}P_{is}}{\sum_{m\in T_{is}^I} h_{mj}P_{ms} + WN_0}$$

[0057] 여기서, W는 부반송파의 대역폭이고, N_0 는 열잡음 스펙트럼 전력(thermal noise spectral power)이다.

[0058] 따라서, 부반송파 s 상에서 Tx i로부터 Rx j로의 성취가능한 데이터 속도는 [수식 3]과 같다.

[0059] [수식 3]

[0060] $C_{ijs} = W\log_2(1+\Gamma_{ijs})$

[0061] 그러나, 자원은 N^S =12의 부반송파가 자원 블록(Resource Block, RB)을 구성하는 LTE 프레임에서 RB를 통해 할당된다. Tx i와 Rx j 사이에 요구되는 요구 데이터 속도 ψ_{ij} 가 주어지면, 요구되는 RB의 수는 [수식 4]와 같이 산출될 수 있다.

[0062] [수식 4]

[0063] $$N^S N_{ij}^R = \left\lceil \frac{\psi_{ij}}{C_{ijs}} \right\rceil = \sum_{r\in R} x_{ij}y_{is}, \forall i \in T, \forall j \in R$$

[0064] 여기서, $x_{ij} \in \{0,1\}$ 는 연결 변수(association variable)이고, $y_{is} \in \{0,1\}$ 는 할당 변수이며, $\lceil\cdot\rceil$ 는 실링 함수(ceiling function)이다.

[0065] Rx는 한 순간에 단지 하나의 Tx로부터만 연속적으로 수신할 수 있으며, [수식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

[0066] [수식 5]

[0067] $\sum_{i\in T} x_{ij} \le 1, \forall j \in R$

[0068] 한편, 복수의 기지국들간의 간섭이 존재하는 상황에서 간섭이 존재하지 않아 사용 가능한 스펙트럼과 간섭이 존재하더라도 간섭 레벨이 낮아 재사용이 가능한 스펙트럼 재사용 집합과, 또한 간섭이 높아서 충돌이 발생하는 스펙트럼 충돌 집합에 대해 도 3이 도시하고 있다.

[0069] Tx들 중 i와 m 사이의 간섭 레벨에 따라서, 서브캐리어 s에 대해 충돌(conflict) Tx 집합과 재사용(reuse) Tx 집합을 다음과 같이 [수식 6]으로 정의할 수 있다.

[0070] [수식 6]

[0071] $\forall i, m \in T, \forall j, n \in R, \forall s \in S, T_i^I = \{m\}, T_m^I = \{i\},$

[0072] $$T^C = \{(i,m) | \min\{\Gamma_{ijs}, \Gamma_{mns}\} \leq \tilde{\Gamma}\}$$

[0073] $$T^R = \{(i,m) | \min\{\Gamma_{ijs}, \Gamma_{mns}\} > \tilde{\Gamma}\}$$

[0074] 여기서, $\tilde{\Gamma}$ 는 SINR 임계값이고, T^C 는 높은 간섭 링크에 기인하여 상호간에 충돌을 발생하는 Tx 쌍의 집합을 나타낸다. T^R 은 낮은 간섭 링크로 인해 상호간에 충돌을 발생하지 않는 Tx 쌍의 집합을 나타내며, 따라서, 이들은 동일한 부반송파와 RB들을 재사용할 수 있다. $\min\{\cdot\}$ 는 간섭 링크가 전송 전력에서의 분균형으로 인해 대칭일 수 없기 때문에 사용된다. 따라서, 자원 할당에 대한 간섭 제한은 [수식 7]과 같다.

[0075] [수식 7]

[0076] $$x_{ij}y_{is} + x_{mn}y_{ms} \leq 1, \forall (i,m) \in T^C, \forall s \in S$$

[0077] $$x_{ij}y_{is} + x_{mn}y_{ms} \leq 2, \forall (i,m) \in T^R, \forall s \in S$$

[0078] 한편, LTE 이기종 소형 셀 네트워크에서, 다운링크 및 업링크 유틸리티 함수(utility function)는 [수식 8]과 같이 주어진다.

[0079] [수식 8]

[0080] $$D(P,x,y) = \sum_{u\in U}\sum_{b\in B}\sum_{s\in S} x_{bu}y_{bs}(C_{bus} - \lambda_b P_{bs})$$

[0081] $$U(P,x,y) = \sum_{u\in U}\sum_{b\in B}\sum_{s\in S} x_{ub}y_{us}(C_{ubs} - \lambda_s P_{us})$$

[0082] LTE 프레임에서 사용가능한 RB를 Z라고 가정하면, 결합 다운링크 및 업링크 유틸리티 함수는 [수식 9]와 같이 주어진다.

[0083] [수식 9]

[0084] $$F(P,x,y,\alpha) = \alpha Z \cdot D(P,x,y) + (1-\alpha)Z \cdot U(P,x,y)$$

[0085] 여기서, $\alpha \in \{0, (1/Z), (2/Z), \ldots, Z\}$ 이다. 따라서, 스케줄링 문제는 [수식 10]과 같이 공식화된다.

[0086] [수식 10]

[0087] $$\begin{aligned} \max: \quad & F(P,x,y,\alpha) \\ \text{s.t.} \quad & (1), (4), (5), (8), (9) \end{aligned}$$

[0088] 이와 같이, 일반적으로 기지국이 사용자 장치를 선택하는 경우 상기한 [수식 10]과 같이 자원 스케줄링시 NP-하드(hard) 결합 최적화 문제((Nondeterministic Polynomial-hard combinational optimization problem)가 발생한다.

[0089] 이하, 상기한 문제를 해결하기 위한 본 발명의 실시예에서 적용되는 게임 이론적 접근(game-theoretic approach) 방식에 대해 설명한다.

[0090] 상기한 [수식 10]은 비협력적이면서(non-cooperative), 전략적 게임(strategic game)에 의해 모델링될 수 있으며, 다음과 같이 [수식 11]로서 정의될 수 있다.

[0091] [수식 11]

[0092] $$G = \left(\{U \times B\}, \{X_i, Y_j\}_{i\in U, j\in B}, \{V_{ij}\}_{i\in U, j\in B}\right)$$

[0093] 여기서, $X_i = \{x_i^1, x_i^2, \ldots, x_i^{N_x}\}$ 이고, $Y_j = \{y_j^1, y_j^2, \ldots, y_j^{N_y}\}$ 이고, V_{ij} 는 현재 시간-슬롯에서 서비스를 통

해 성취된 유틸리티이다.

[0094] 또한, 로그-학습 탐색 확률(log-learning exploration probability) ω와 활용 확률(exploitation probability) $\nu_{f(t-1)\to f(t)}$을 사용하여 사용자 장치가 기지국을 선택할 수 있으며, 여기서 활용 비율 $\nu_{f(t-1)\to f(t)}$는 [수식 12]와 같다.

[0095] [수식 12]

[0096]
$$\nu_{f(t-1)\to f(t)} = \frac{\exp(\beta F_{f(t-1)})}{\exp(\beta F_{f(t-1)}) + \exp(\beta F_{f(t)})}$$

[0097] 여기서, $F_{f(t)}$와 $F_{f(t-1)}$는 시간 t와 (t-1)에서 네트워크 구성 $f(t)$와 $f(t-1)$에서의 결합 유틸리티 함수를 각각 나타낸다.

[0098] 이하, 상기한 게임 이론적 접근 방식에 기초하여 본 발명의 실시예에 따른 이기종 소형 셀 네트워크에서의 스케줄링 방법에 대해 설명한다.

[0099] 상기한 바와 같이, 본 발명의 실시예는, 설명의 편의를 위해 LTE 네트워크 방식을 사용하여 설명하지만, 여기에만 한정되는 것이 아님을 통상의 기술자라면 잘 알 것이다.

[0100] 또한, 본 발명의 실시예는 로그-선형 스케줄링 알고리즘(Log-linear Scheduling algorithm)을 사용하여 설명된다.

[0101] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 이기종 소형 셀 네트워크에서의 스케줄링 방법의 흐름도이다.

[0102] 도 4를 참조하면, 먼저, 사용자 장치 UE i가 기지국 BS j에게 연결을 요청을 하면, 복수의 BS j에서는 각각 복수의 UE i로부터 연결 요청을 수신하게 될 것이다(S100). 이 때의 시간-슬롯(time-slot)을 (t-1)이라 하고, UE i는 BS j에게 시간-슬롯 t를 위한 연결 요청을 하는 것이며, 이 때 자신이 요구하는 데이터 속도 ψ_i를 함께 전송한다.

[0103] 다음, 매크로 기지국(MBS)은 각 기지국 B j에서 다운링크 및 업링크를 위해 필요한 자원에 기초하여 B j별로 자원을 분할한다(S110).

[0104] 따라서, 각 BS j는 매크로 기지국에 의해 분할되어 할당되는 자원을 UE i가 제공한 데이터 속도에 기반하는 서비스에 필요한 자원에 기초하여 각 UE i별로 자원을 할당한다(S120). 이 때 BS j에 의해 할당되는 자원에는 전력도 포함된다.

[0105] 다음, BS j로부터 자원을 할당받은 UE i는 (t-1) 시간-슬롯에서의 서비스를 통해 성취된 유틸리티($\theta_i(t)$)를 다음의 [수식 13]에 의해 측정한다(S130).

[0106] [수식 13]

[0107]
$$\theta_i(t) = \sum_{k\in\mathcal{S}} y_{ik}(C_{ijk} - \lambda_j P_{jk})$$

[0108] 여기서, y_{ik}는 UE i가 BS j로부터 할당받은 부반송파이고, C_{ijk}는 [수식 3]에서 같은 달성 가능한 데이터 속도를 나타내며, λ_j 데이터 전송의 가중치이다.

[0109] 그 후, UE i는 현재 시간-슬롯인 (t-1)에서 탐색(Exploration) 과정이 수행되었는지를 판단한다(S140). 즉, 시간-슬롯 (t-1)에서 UE i가 연결되는 BS j가 탐색 과정을 통해 선택되었는지를 판단하는 것이다.

[0110] 만약 현재 시간-슬롯 (t-1)에서 연결된 BS j가 탐색 과정을 통해 선택된 것으로 판단되면, UE i는 활용(Exploitation) 과정을 수행하여 시간-슬롯 t에서 연결할 기지국을 선택한다(S150). 이러한 활용 과정에서는 UE i가 이전의 두 개의 시간-슬롯, 즉 (t-1)과 (t-2)의 시간-슬롯에서 각각 연결된 기지국을 비교하여 확률적으

로 가장 양호한 기지국을 선택하게 된다.

[0111] 그러나, 현재 시간-슬롯 (t-1)에서 탐색 과정이 수행된 것이 아니라면, UE i는 현재 시간-슬롯 (t-1)에서 연결된 BS j가 활용(Exploitation) 과정을 통해서 선택된 것이므로, 다음 시간-슬롯 t에서 연결할 기지국은 탐색(Exploration) 과정의 수행을 통해 선택된다(S160). 이러한 탐색 과정에서는 UE i가 연결할 전송 범위 내에서 무작위로 기지국을 선택하게 된다.

[0112] 이와 같이, UE i가 다음의 시간-슬롯 t에서 연결할 기지국을 탐색 과정이나 활용 과정을 통해 선택하였다면, 다음의 시간-슬롯 t에서는 선택한 기지국에게 상기한 연결 요청 단계(S100)부터 다시 반복 수행하게 된다.

[0113] 이 때, 상기한 단계(S100 내지 S160)는 LTE의 한 프레임 중에서 수행되지만, 실질적으로 상기 단계(S150, S160)을 통해 선택되는 기지국에 대한 연결은 LTE의 프레임 시작시에 수행된다. 즉, 상기 단계(S150, S160)을 통해 현재 프레임에서 연결된 기지국이 아닌 다른 새로운 기지국으로의 연결이 선택되면, 다음 프레임의 시작시에 새로운 기지국으로의 스위칭을 통해 연결이 이루어져서 서비스를 받게 된다.

[0114] 다음, 도 5를 참조하여 상기한 자원 분할 단계(S110)에 대해 구체적으로 설명한다.

[0115] 도 5는 도 4에 도시된 자원 분할 단계(S110)의 구체적인 흐름도이다.

[0116] 도 5를 참조하면, 먼저, 매크로 기지국은 UE i로부터 각 BS j에게 요청된 전체 다운링크 및 업링크 데이터 속도를 계산한다(S111). 여기서, 각 BS j는 UE i로부터 전달된 요구 데이터 속도, 즉 요구 다운링크 데이터 속도(ψ_i^D)와 요구 업링크 데이터 속도(ψ_i^U)를 사용하여 각 BS j별 다운링크 데이터 속도(D_j)와 업링크 데이터 속도(U_j)를 계산하게 된다. 그 후, 매크로 기지국은 각 BS j별로 계산된 전체 다운링크 데이터 속도 중에서 최대의 데이터 속도를 전체 다운링크 데이터 속도(D)로 하고, 전체 업링크 데이터 속도 중에서 최대의 데이터 속도를 전체 업링크 데이터 속도(U)로 한다.

[0117] 이러한 계산은 다음의 [수식 14]를 통해 이루어진다.

[0118] [수식 14]

$$D_j = \sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij} \psi_i^D,$$

$$U_j = \sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij} \psi_i^U,$$

$$D = \max\{D_1, \ldots, D_{|\mathcal{B}|}\},$$

$$U = \max\{U_1, \ldots, U_{|\mathcal{B}|}\}$$

[0119]

[0120] 그 후, 매크로 기지국은 다운링크와 업링크별로 자원을 분할하기 위한 다운링크-업링크 비율을 계산하고, 비례공평(propotional fairness)하게 다운링크와 업링크별로 자원, 즉, 자원 블록(RB)을 할당한다(S112). 비례공평하게 다운링크와 업링크 자원을 할당하기 위한 수식은 [수식 15]와 같다.

[0121] [수식 15]

$$\alpha(t+1) = \left\lceil \frac{D}{D+U} \right\rceil \cdot \frac{1}{Z}$$

[0122]

[0123] 여기서, $\alpha(t+1)$는 시간-슬롯 (t+1)에서 사용될 업링크 자원과 다운링크 자원을 비례공평하게 할당할 비율을 나타내고, Z는 시간-슬롯(t+1)에서의 LTE 프레임에서 사용 가능한 전체 자원의 양을 나타낸다.

[0124] 그 후, 매크로 기지국은 상기한 [수식 6]을 적용하여 다음의 [수식 16]과 같이, 자원 재사용이 가능한 집합($\mathcal{B}^{\mathcal{R}}$)과 자원 충돌이 발생하는 집합($\mathcal{B}^{\mathcal{C}}$)을 생성한다(S113). 이 때, 동일한 자원을 재사용할 수 있는 BS는

파티션으로 함께 그룹핑된다.

[0125] [수식 16]

$$\forall j,m \in \mathcal{B}, \forall i,l \in \mathcal{U}, \forall k \in \mathcal{S},$$
$$\mathcal{B}_j^{\mathcal{I}} = \{m\}, \mathcal{B}_m^{\mathcal{I}} = \{j\},$$
$$\mathcal{B}^{\mathcal{C}} = \left\{(j,m) \mid \min\{\Gamma_{ijk}, \Gamma_{lmk}\} \le \tilde{\Gamma}\right\}$$
$$\mathcal{B}^{\mathcal{R}} = \left\{(j,m) \mid \min\{\Gamma_{ijk}, \Gamma_{lmk}\} > \tilde{\Gamma}\right\}$$

[0126]

[0127] 여기서, $\mathcal{B}$는 기지국 집합이고, $\mathcal{U}$는 사용자 장치 집합이며, $\mathcal{S}$는 부반송파 집합이고, $\mathcal{B}_j^{\mathcal{I}}$는 BS j에 간섭을 발생하는 기지국 집합을 나타낸다.

[0128] 다음, 매크로 기지국은 사용가능한 전체 자원에 대해 각 BS j별로 비례공평하게 자원 할당을 수행한다(S114). 이 때 매크로 기지국은 다음의 [수식 17]을 사용하여 자원 분할을 수행한다.

[0129] [수식 17]

$$\beta_j(t+1) = \left\lceil \frac{D_j + U_j}{\sum_{j' \in \mathcal{B}} D_{j'} + U_{j'}} \right\rceil \cdot \frac{1}{Z}$$

[0130]

[0131] $\beta_j(t+1)$는 시간-슬롯 (t+1)에서 각 BS j별로 자원을 비례공평하게 할당할 비율을 나타낸다.

[0132] 다음, 도 6을 참조하여 상기한 자원 할당 단계(S120)에 대해 구체적으로 설명한다.

[0133] 도 6은 도 4에 도시된 자원 할당 단계(S120)의 구체적인 흐름도이다.

[0134] 도 6을 참조하면, 먼저, 매크로 기지국으로부터 자원을 분할받은 각 BS j는 각 UE i에 의해 요구되는 자원의 전체 양을 계산한다(S121). 여기서, 각 UE i에 의해 요구되는 자원은 UE i가 BS j에 연결되어 요구한 서비스를 제공하는데 필요한 자원이며, 기본적으로 상기 단계(S110)에서 UE i가 BS j에 연결을 요구하면서 함께 전송된 요구 데이터 속도(ψ_i)에 의해 계산되며, 상기한 [수식 4]를 사용하여 다음의 [수식 18]과 같이 계산될 수 있다.

[0135] [수식 18]

$$\sum_{k \in \mathcal{S}} x_{ij} y_{ik} = \left\lceil \frac{\psi_i}{C_{ijk}} \right\rceil, \forall i \in \mathcal{U}$$

[0136]

[0137] 그 후, BS j는 자신이 할당받은 자원이 충분한가를 판단한다(S122). 즉, BS j는 상기 단계(S121)에서 계산된 요구된 전체 자원의 양에 비해 BS j가 할당받아서 사용가능한 자원이 그 이상인지를 판단하는 것이다

[0138] 만약 자원이 충분하다고 판단되면, BS j는 자신에게 서비스를 위해 연결을 요청한 모든 UE i에게 서비스를 위한 연결을 허락한다(S123).

[0139] 그러나, 상기 단계(S122)에서 자원이 충분하지 않다면, BS j는 자신에게 서비스를 위해 연결을 요청한 UE i의 서비스 중 자신이 사용가능한 자원으로 서비스해줄 수 있는 요청을 제외한 나머지 일부 요청을 거절한다(S124). 이 때, BS j가 UE i의 요청 중에서 거절하는 일부 요청을 선택하는 방법에는 여러 가지 방법이 있을 수 있으며, 이에 대해서는 이미 잘 알려져 있는 방법을 사용하여 선택할 수 있다.

[0140] 그 후, BS j는 상기한 [수식 7]을 참조하여 다음과 같은 [수식 19]를 사용하여 간섭 제한에 따라서, 수락된 서

비스에 대한 최적의 자원과 전력을 할당할 수 있는 방법을 찾는다(S125)

[0141] [수식 19]

$$\max_{\mathbf{P},\mathbf{y}} \quad \sum_{i\in\mathcal{U}}\sum_{j\in\mathcal{B}} \tilde{x}_{ij}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k\in\mathcal{S}} P_{jk} \le P_j$$

$$\tilde{x}_{ij} y_{ik} + x_{lm} y_{lk} \le 1, \forall (j,m) \in \mathcal{B}^{\mathcal{C}}, \forall k \in \mathcal{S},$$

[0142] $$x_{ij} y_{ik} + x_{lm} y_{lk} \le 2, \forall (j,m) \in \mathcal{B}^{\mathcal{R}}, \forall k \in \mathcal{S}$$

[0143] 다음, BS j는 상기 단계(S125)에서 찾은 방법을 사용하여 UE i에게 각각 자원($\mathbf{y}$)과 전력($\mathbf{P}$)을 할당한다(S126).

[0144] 다음, 도 7을 참조하여 상기한 탐색 과정 수행 단계(S160)에 대해 구체적으로 설명한다.

[0145] 도 7은 도 4에 도시된 탐색 과정 수행 단계(S160)의 구체적인 흐름도이다.

[0146] 도 7을 참조하면, 각 UE i는 랜덤(random) 수 a ($0 \le a \le 1$)를 생성한다(S161).

[0147] 그 후, 각 UE i는 랜덤 수 a 와 탐색 확률 ω 를 비교하여 $a \le \omega$ 인지를 판단한다(S162)

[0148] 만약 ω 가 a 와 같거나 그보다 크면 UE i는 UE i가 연결할 수 있는 기지국 BS j 중에서 무작위로 새로운 기지국을 선택하여 다음 시간-슬롯 t에서 연결할 기지국으로 설정한다(S163).

[0149] 그러나, 상기 단계(S162)에서 ω 가 a 보다 작으면 현재 연결된 기지국을 다음 시간-슬롯에도 그대로 연결을 유지하는 기지국으로 선택한다(S164).

[0150] 이와 같이, 상기한 탐색 과정에서는 각 UE i가 탐색 확률 ω 에 기초하여 새로운 기지국과 연결되도록 선택하거나 또는 현재의 기지국과의 연결을 유지할지를 결정하게 된다.

[0151] 다음, 도 8을 참조하여 상기한 활용 과정 수행 단계(S150)에 대해 구체적으로 설명한다. 이러한 활용 과정 수행 단계는 학습된 것을 강화하기 위해 모든 탐색 과정 후에 수행된다.

[0152] 도 8은 도 4에 도시된 활용 과정 수행 단계(S150)의 구체적인 흐름도이다.

[0153] 도 8을 참조하면, 각 UE i는 로그-선형 활용 확률에 해당되는 천이 확률(transition probability) $\nu_i(t)$ 을 산출한다(S151). 이러한 천이 확률 $\nu_i(t)$ 은 상기한 [수식 1]에 기초하여 다음과 같이 [수식 20]에 의해 산출될 수 있다.

[0154] [수식 20]

[0155] $$\nu_i(t) = \frac{e^{\kappa\theta_i(t-2)}}{e^{\kappa\theta_i(t-1)} + e^{\kappa\theta_i(t-2)}}$$

[0156] 그 후, UE i는 랜덤 수 b($0 \le b \le 1$)를 생성하고(S152), 랜덤 수 b와 천이 확률 $\nu_i(t)$ 를 비교하여 $b \le \nu_i(t)$ 인지를 판단한다(S153).

[0157] 만약 $\nu_i(t)$ 가 랜덤 수 b와 같거나 그보다 크면, UE i는 현재의 시간-슬롯 (t-1) 이전의 시간-슬롯 (t-2)에서

연결한 기지국을 다음 시간-슬롯 t에서 연결할 새로운 기지국으로 선택한다(S154)

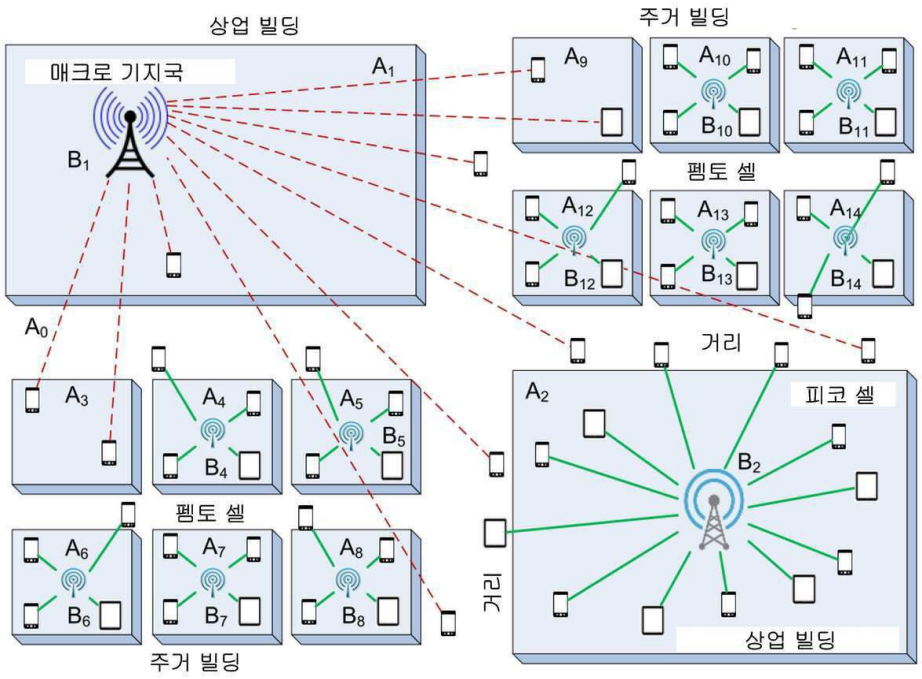
[0158] 그러나, 상기 단계(S153)에서 $\nu_i(t)$가 랜덤 수 b보다 작으면, 현재의 시간-슬롯 (t-1)에 연결된 기지국을 다음 시간-슬롯 t에서 연결할 기지국으로 계속 유지하게 된다(S155)

[0159] 이와 같이, 본 발명의 실시예에서, 활용 과정에서는, 두 개의 시간-슬롯 동안 연결된 두 개의 기지국 중에서 보다 높은 유틸리티의 기지국을 다음 시간-슬롯에서 UE i가 연결할 기지국으로 선택될 기회를 더 갖도록 한다.

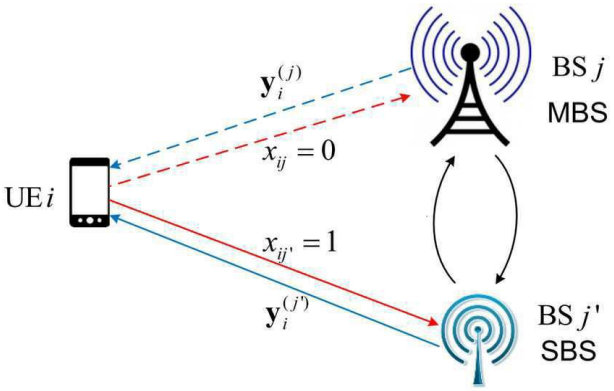
[0160] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면

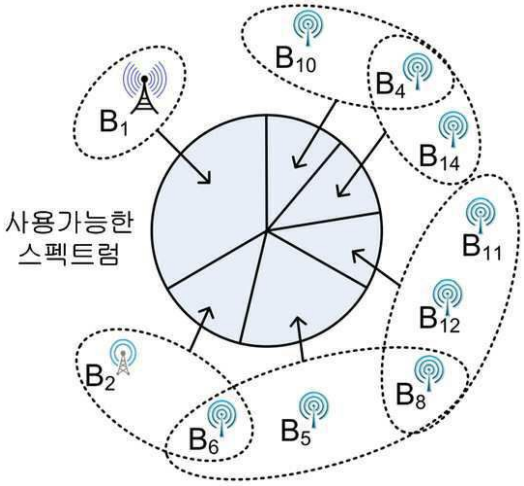
도면1



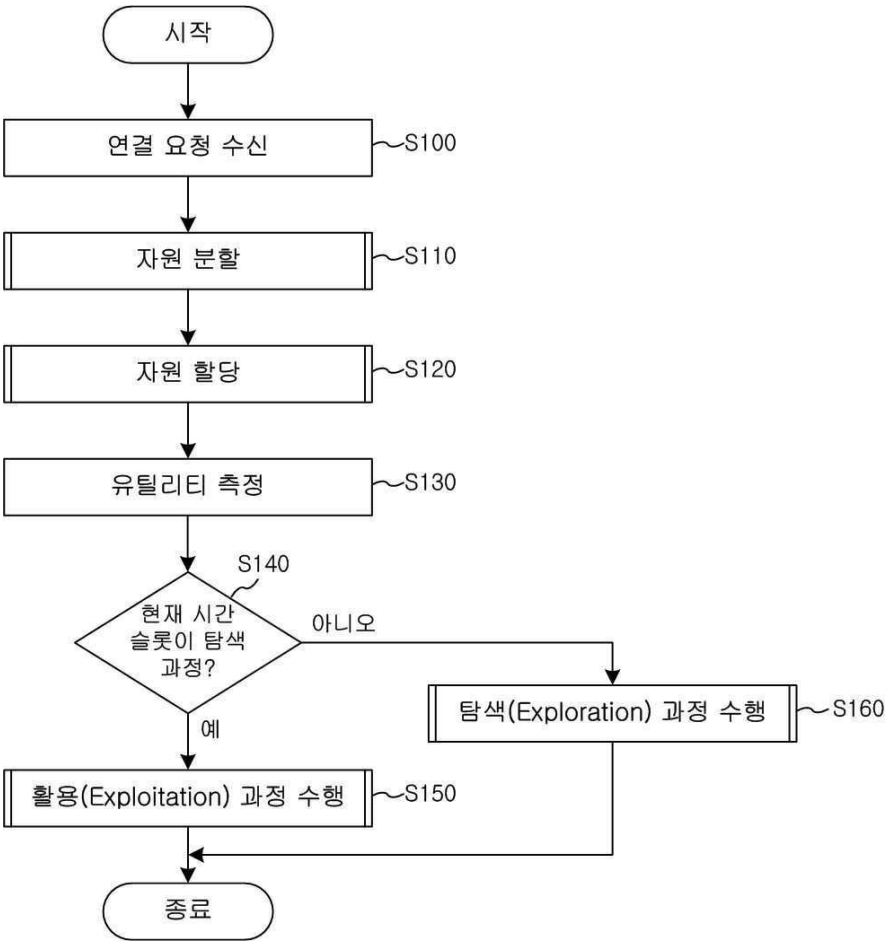
도면2



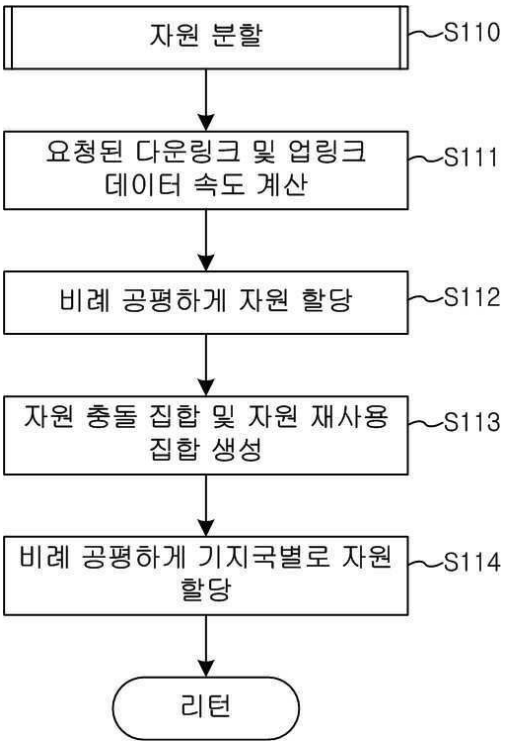
도면3


B10
B4
B1
B14
사용가능한
스펙트럼
B11
B12
B2
B8
B6
B5

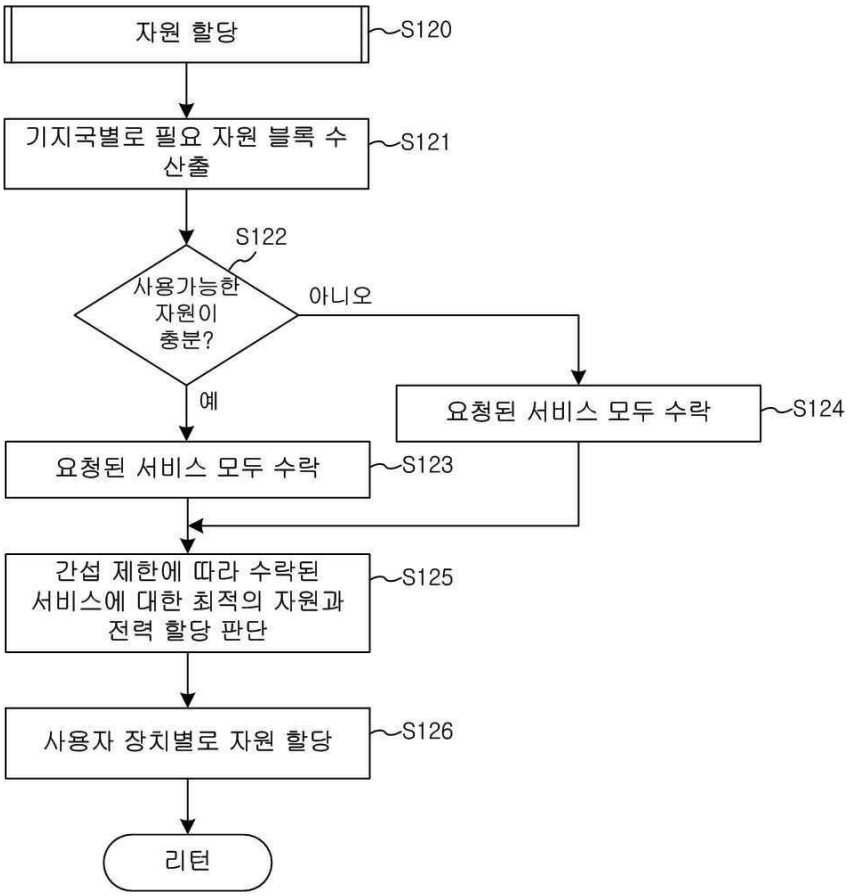
도면4


시작
연결 요청 수신
S100
자원 분할
S110
자원 할당
S120
유틸리티 측정
S130
S140
현재 시간
슬롯이 탐색
과정?
아니오
탐색(Exploration) 과정 수행
S160
예
활용(Exploitation) 과정 수행
S150
종료

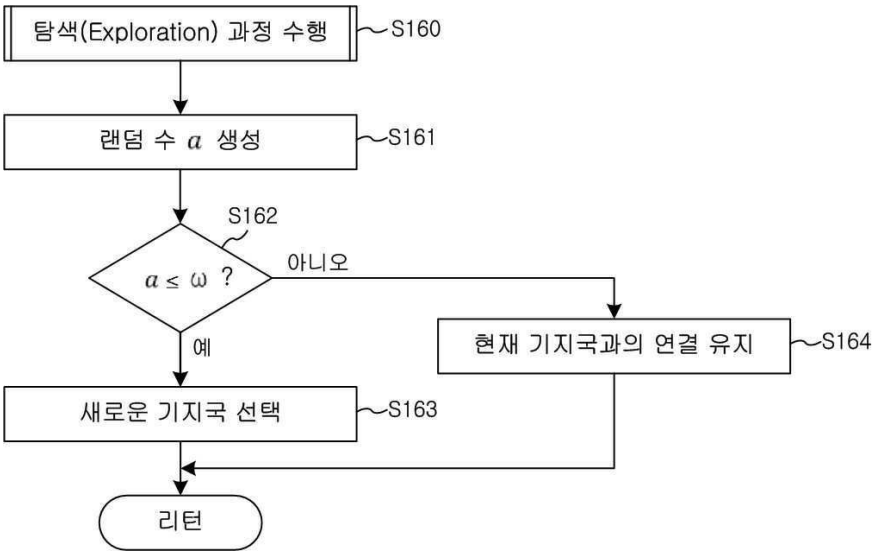
도면5


자원 분할
S110
요청된 다운링크 및 업링크 데이터 속도 계산
S111
비례 공평하게 자원 할당
S112
자원 충돌 집합 및 자원 재사용 집합 생성
S113
비례 공평하게 기지국별로 자원 할당
S114
리턴

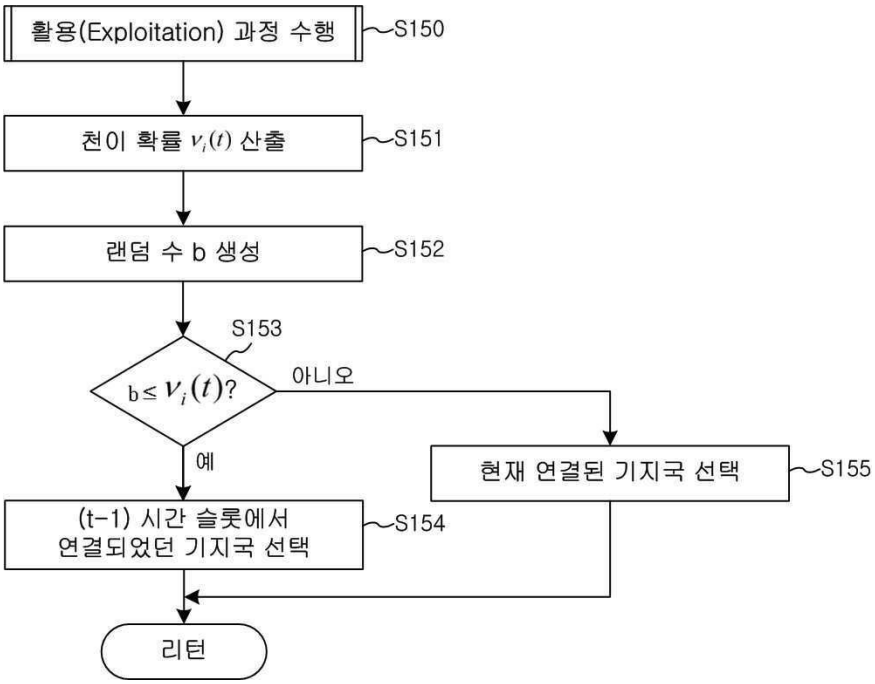
도면6


자원 할당
S120
기지국별로 필요 자원 블록 수 산출
S121
S122
사용가능한 자원이 충분?
아니오
예
요청된 서비스 모두 수락
S124
요청된 서비스 모두 수락
S123
간섭 제한에 따라 수락된 서비스에 대한 최적의 자원과 전력 할당 판단
S125
사용자 장치별로 자원 할당
S126
리턴

도면7


탐색(Exploration) 과정 수행
S160
랜덤 수 a 생성
S161
S162
$a \leq \omega$?
아니오
예
현재 기지국과의 연결 유지
S164
새로운 기지국 선택
S163
리턴

도면8


활용(Exploitation) 과정 수행
S150
천이 확률 $\nu_i(t)$ 산출
S151
랜덤 수 b 생성
S152
S153
$b \leq \nu_i(t)$?
아니오
예
현재 연결된 기지국 선택
S155
(t-1) 시간 슬롯에서
연결되었던 기지국 선택
S154
리턴