



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0131719
(43) 공개일자 2018년12월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 72/08 (2009.01) H04W 72/04 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04W 72/08 (2013.01)
H04W 72/0473 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0067928
(22) 출원일자 2017년05월31일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
김승현
대전광역시 유성구 대학로 53, 914호 (봉명동, 솔리안)
양현중
울산광역시 울주군 범서읍 대리로 15-17, 707동 1002호 (구영2차우미원아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
팬코리아특허법인

전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 다중 셀 환경에서의 자원 할당 방법 및 장치

(57) 요약

다중 셀 환경에서 자원 할당 장치는 단말의 수신율을 토대로 정의된 네트워크 유틸리티의 최대화 문제를 두 개의 문제로 나누고, 상기 두 개의 문제 중 제1 문제를 최적화하는 과정을 통해 각 단말에게 적어도 하나의 기지국에서 할당할 적어도 하나의 자원블록을 결정하며, 상기 두 개의 문제 중 제2 문제를 최적화하는 과정을 통해 상기 각 단말에게 할당된 자원블록들의 파워를 결정한다.

대표도 - 도2

```
Cyclic coordinate descent algorithms
Initialization: set  $V_i = 0, \forall i$ . set  $\mu_i = 0, \forall i$ .
repeat
  for  $\forall i \in B$ 
    repeat
      for  $\forall c \in C$ 
        1) Update  $\mu_i$  according to  $\mu_i = \frac{1}{\sum_{j \in B} \sum_{c \in C} R_q^{(c)} x_q^{(c)}}$ .
        2) Update  $x_q^{(c)}$  and  $\lambda_i$ .
      end
    until  $\mu_i$  converges
    3) Update  $v_i$  according to  $v_i(t+1) = \left[ v_i(t) - \alpha \left( Z_i - \sum_{j \in B} \sum_{c \in C} R_q^{(c)} x_q^{(c)} \right) \right]^+$ .
  end
until  $v_i$  converges
Return: indicator  $x_q^{(c)}$ 
```

(52) CPC특허분류

H04W 72/0493 (2013.01)

(72) 발명자

장종규

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

좌혜경

대전광역시 유성구 가정로 63 106동 703호 (신성동, 럭키하나아파트)

나지현

대전광역시 유성구 어은로 57 133동 1505호 (어은동, 한빛아파트)

김영진

대전광역시 유성구 왕가봉로 23, 1103동 703호 (노은동, 열매마을11단지)

정현규

서울특별시 서초구 효령로 391, 1동 703호 (서초동, 무지개아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 R0101-16-0244

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터(IITP)

연구사업명 방송통신산업기술개발사업

연구과제명 (대형통합) 초연결 스마트 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국전자통신연구원

연구기간 2014.03.01~2018.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

다중 셀 환경에서 자원 할당 장치의 자원 할당 방법으로서,

단말의 수신율을 토대로 정의된 네트워크 유틸리티의 최대화 문제를 두 개의 문제로 나누는 단계,

상기 두 개의 문제 중 제1 문제를 최적화하는 과정을 통해 각 단말에게 적어도 하나의 기지국에서 할당할 적어도 하나의 자원블록을 결정하는 단계, 그리고

상기 두 개의 문제 중 제2 문제를 최적화하는 과정을 통해 각 기지국의 자원블록들의 파워를 결정하는 단계를 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 2

제1항에서,

상기 적어도 하나의 자원블록을 결정하는 단계는

적어도 하나의 제약 조건 아래 상기 제1 문제를 최대화하기 위한 적어도 하나의 라그랑지 승수를 계산하는 단계, 그리고

상기 적어도 하나의 라그랑지 승수를 이용하여 상기 각 단말에게 상기 적어도 하나의 기지국에서 어떤 자원블록을 할당할지 결정하는 단계를 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 3

제2항에서,

상기 적어도 하나의 제약 조건은 각 기지국의 어느 하나의 자원블록에 대해 하나의 단말에게만 할당된다는 제1 제약 조건, 그리고 상기 각 기지국의 송신율이 백홀 링크의 백홀 용량 이하로 설정되는 제2 제약 조건을 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 4

제3항에서,

상기 제2 조건에 대응하는 라그랑지 승수는 좌표 하강법(coordinate descent method)을 사용하여 구해지는 자원 할당 방법.

청구항 5

제3항에서,

상기 적어도 하나의 라그랑지 승수를 계산하는 단계는

상기 제1 제약 조건 아래 상기 네트워크 유틸리티를 최대화하기 위한 제1 라그랑지 승수를 계산하는 제1 단계,

상기 제1 라그랑지 승수를 이용하여 상기 각 단말에게 적어도 하나의 기지국에서 각 자원블록의 할당 여부를 나타내는 자원 할당 변수와 상기 각 단말의 수신율을 계산하는 제2 단계,

상기 제1 라그랑지 승수가 수렴할 때까지 모든 자원블록에 대하여 상기 제1 단계와 상기 제2 단계를 반복하는 제3 단계,

상기 제2 제약 조건 아래 상기 네트워크 유틸리티를 최대화하기 위한 제2 라그랑지 승수를 계산하는 제4 단계, 그리고

상기 제2 라그랑지 승수가 수렴할 때까지 상기 제3 단계와 상기 제4 단계를 반복하는 단계를 포함하는 자원 할

당 방법.

청구항 6

제1항에서,

상기 자원블록들의 파워를 결정하는 단계는

적어도 하나의 제약 조건 아래 상기 제2 문제를 최대화하기 위한 적어도 하나의 라그랑지 승수를 계산하는 단계,

상기 적어도 하나의 라그랑지 승수를 이용하여 상기 네트워크 유틸리티의 경사기울기를 정의하는 단계,

어느 하나의 기지국에 대해, 상기 자원블록들 중 두 개의 자원블록을 선택하는 단계,

상기 두 개의 자원블록에 해당하는 상기 네트워크 유틸리티의 경사기울기가 동일해지도록 파워 조절값을 계산하는 단계,

상기 파워 조절값을 이용하여 상기 두 개의 자원블록의 파워를 조절하는 단계, 그리고

상기 자원블록들의 파워가 각각 수렴될 때까지 상기 두 개의 자원블록을 선택하는 단계, 상기 파워 조절값을 계산하는 단계 및 상기 파워를 조절하는 단계를 반복하는 단계를 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 7

제6항에서,

상기 파워 조절값을 계산하는 단계는 해당 기지국의 백홀 링크의 용량을 만족하도록 상기 파워 조절값을 제한하는 단계를 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 8

제6항에서,

상기 적어도 하나의 제약 조건은 각 기지국에서 상기 자원블록들의 파워 합은 상기 각 기지국의 전체 파워 합과 이하인 제1 제약 조건, 그리고 각 기지국에서 어느 하나의 자원블록에 대한 파워는 0 이상인 제2 제약 조건을 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 9

제8항에서,

상기 적어도 하나의 라그랑지 승수를 계산하는 단계는 상기 각 기지국에서 각 자원블록의 파워를 토대로 상기 제1 및 제2 라그랑지 승수를 계산하는 단계를 포함하고,

상기 제1 라그랑지 승수는 음수가 아닌 수로 정의되고, 상기 제2 라그랑지 승수는 양수가 아닌 수로 정의되는 자원 할당 방법.

청구항 10

제6항에서,

상기 선택하는 단계는 상기 각 기지국에서 자원블록들 중 상기 네트워크 유틸리티를 각 자원블록의 파워로 편미분한 값 중에서 최소값에 해당하는 자원블록과 최대값에 해당하는 자원블록을 선택하는 단계를 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 11

제10항에서,

상기 조절하는 단계는

상기 최대값에 해당하는 자원블록의 파워를 상기 파워 조절값만큼 증가시키는 단계, 그리고

상기 최소값에 해당하는 자원블록의 파워를 상기 파워 조절값만큼 감소시키는 단계를 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 12

제6항에서,

상기 자원블록들의 파워를 결정하는 단계는

상기 어느 하나의 기지국에 대해 상기 자원블록들의 파워가 각각 수렴될 때까지 상기 두 개의 자원블록을 선택하는 단계, 상기 파워 조절값을 계산하는 단계 및 상기 파워를 조절하는 단계를 반복하고 난 후, 다른 하나의 기지국에 대해 상기 자원블록들의 파워가 각각 수렴될 때까지 상기 두 개의 자원블록을 선택하는 단계, 상기 파워 조절값을 계산하는 단계 및 상기 파워를 조절하는 단계를 반복하는 단계를 더 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 13

제1항에서,

상기 수신율은 각 기지국에서 상기 단말에게 할당한 자원블록들의 SINR을 이용하여 계산되는 자원 할당 방법.

청구항 14

다중 셀 환경에서의 자원 할당 장치로서,

복수의 기지국과 통신하는 송수신기, 그리고

상기 송수신기를 통해 수신한 각 단말에서 측정된 자원블록들의 SINR을 토대로 정의된 네트워크 유틸리티의 최대화 문제를, 상기 각 단말에게 적어도 하나의 기지국에서 복수의 자원블록들을 할당한 것인지에 관한 제1 문제와 각 기지국의 자원블록들의 파워에 관한 제2 최적화 문제로 나누고, 상기 제1 문제의 최적화를 통해 상기 각 단말에게 적어도 하나의 기지국이 할당할 자원블록들을 결정하며, 상기 제2 문제의 최적화를 통해 각 기지국의 자원블록들의 파워를 결정하는 프로세서

를 포함하는 자원 할당 장치.

청구항 15

제14항에서,

상기 프로세서는 제1 제약 조건 아래 상기 네트워크 유틸리티를 최대화하기 위한 제1 라그랑지 승수를 계산하는 제1 단계와, 상기 제1 라그랑지 승수를 이용하여 상기 각 단말에게 적어도 하나의 기지국에서 각 자원블록의 할당 여부를 나타내는 자원 할당 변수와 각 단말의 수신율을 계산하는 제2 단계를 수행하고, 상기 제1 라그랑지 승수가 수렴할 때까지 모든 자원블록에 대하여 상기 제1 단계와 상기 제2 단계를 반복하는 제3 단계를 수행하며, 제2 제약 조건 아래 상기 네트워크 유틸리티를 최대화하기 위한 제2 라그랑지 승수를 계산하는 제4 단계를 수행하고, 상기 제2 라그랑지 승수가 수렴할 때까지 상기 제3 단계와 상기 제4 단계를 반복하는 자원 할당 장치.

청구항 16

제15항에서,

상기 프로세서는 상기 각 단말에게 할당된 자원블록의 SINR과 상기 각 단말에게 할당된 자원블록의 자원 할당 변수를 토대로 상기 각 단말의 수신율을 계산하는 자원 할당 장치.

청구항 17

제15항에서,

상기 제1 제약 조건은 각 기지국의 어느 하나의 자원블록에 대해 하나의 단말에게만 할당되는 조건이고, 상기 제2 제약 조건은 상기 각 기지국의 송신율이 백홀 링크의 백홀 용량 이하로 설정되는 조건인 자원 할당 장치.

청구항 18

제14항에서,

상기 프로세서는 상기 각 기지국에서 각 자원블록의 파워를 토대로 제1 제약 조건에 따른 제1 라그랑지 승수와 제2 제약 조건에 따른 제2 라그랑지 승수를 계산하고, 상기 제1 및 제2 라그랑지 승수를 이용하여 상기 기 네트워크 유틸리티의 경사기울기를 정의하며, 각 기지국에 대해 상기 자원블록들 중 두 개의 자원블록을 선택하고, 상기 두 개의 자원블록에 해당하는 경사기울기가 동일해지도록 상기 두 개의 자원블록의 파워를 조절하며, 상기 각 기지국에 대해 상기 자원블록들의 파워가 각각 수렴될 때까지 두 개의 자원블록을 선택하고 기 두 개의 자원블록의 파워를 조절하는 과정을 반복하는 자원 할당 장치.

청구항 19

제18항에서,

상기 프로세서는 상기 두 개의 자원블록에 해당하는 경사기울기가 동일해지도록 파워 조절값을 계산하고, 상기 파워 조절값을 해당 기지국의 백홀 링크의 용량을 만족하도록 제한시킨 후, 상기 파워 조절값을 이용하여 상기 두 개의 자원블록의 파워를 조절하는 자원 할당 장치.

청구항 20

제18항에서,

상기 프로세서는 상기 각 기지국에서 자원블록들 중 상기 네트워크 유틸리티를 각 자원블록의 파워로 편미분한 값 중에서 최소값에 해당하는 자원블록과 최대값에 해당하는 자원블록을 선택하고, 상기 최대값에 해당하는 자원블록의 파워를 상기 파워 조절값만큼 증가시키며, 상기 최소값에 해당하는 자원블록의 파워를 상기 파워 조절값만큼 감소시키는 자원 할당 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 다중 셀 환경에서의 자원 할당 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 장기간 네트워크 유틸리티(long-term network utility)를 향상시키기 위한 종래 기술에서는 SNR(Signal to Noise Ratio)에 따라 기지국이 최대한 균등한 수의 사용자를 서비스하면서 자원 할당을 통하여 장기간 네트워크 유틸리티를 향상시킨다. 이때 모든 자원 블록에 대해 채널 이득(Channel gain)의 평균값을 사용하며, 본래의 정수 문제(integer problem)를 실수화시켜서 해를 구한다.

[0003] 이러한 종래 기술은 사용자가 오직 한 기지국에만 연결되어 있다는 것을 전제로 하고 있으므로, 각 기지국에 연결된 사용자의 수가 다르면 네트워크 유틸리티가 저하될 수 있고, 실시간의 네트워크 유틸리티는 고려하고 있지 않다는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 해결하려는 과제는 실시간으로 네트워크 유틸리티를 최대화시킬 수 있는 다중 셀 환경에서의 자원 할당 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 한 실시 예에 따르면, 다중 셀 환경에서 자원 할당 장치의 자원 할당 방법이 제공된다. 자원 할당 방법은 단말의 수신율을 토대로 정의된 네트워크 유틸리티의 최대화 문제를 두 개의 문제로 나누는 단계, 상기 두 개의 문제 중 제1 문제를 최적화하는 과정을 통해 각 단말에게 적어도 하나의 기지국에서 할당할 적어도 하나의 자원블록을 결정하는 단계, 그리고 상기 두 개의 문제 중 제2 문제를 최적화하는 과정을 통해 각 기지국의 자원블록들의 파워를 결정하는 단계를 포함한다.

[0006] 상기 적어도 하나의 자원블록을 결정하는 단계는 적어도 하나의 제약 조건 아래 상기 제1 문제를 최대화하기 위한 적어도 하나의 라그랑지 승수를 계산하는 단계, 그리고 상기 적어도 하나의 라그랑지 승수를 이용하여 상기

각 단말에게 상기 적어도 하나의 기지국에서 어떤 자원블록을 할당할지 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

- [0007] 상기 적어도 하나의 제약 조건은 각 기지국의 어느 하나의 자원블록에 대해 하나의 단말에게만 할당된다는 제1 제약 조건, 그리고 상기 각 기지국의 송신율이 백홀 링크의 백홀 용량 이하로 설정되는 제2 제약 조건을 포함할 수 있다.
- [0008] 상기 제2 조건에 대응하는 라그랑지 승수는 좌표 하강법(coordinate descent method)을 사용하여 구해질 수 있다.
- [0009] 상기 적어도 하나의 라그랑지 승수를 계산하는 단계는 상기 제1 제약 조건 아래 상기 네트워크 유틸리티를 최대화하기 위한 제1 라그랑지 승수를 계산하는 제1 단계, 상기 제1 라그랑지 승수를 이용하여 상기 각 단말에게 적어도 하나의 기지국에서 각 자원블록의 할당 여부를 나타내는 자원 할당 변수와 상기 각 단말의 수신율을 계산하는 제2 단계, 상기 제1 라그랑지 승수가 수렴할 때까지 모든 자원블록에 대하여 상기 제1 단계와 상기 제2 단계를 반복하는 제3 단계, 상기 제2 제약 조건 아래 상기 네트워크 유틸리티를 최대화하기 위한 제2 라그랑지 승수를 계산하는 제4 단계, 그리고 상기 제2 라그랑지 승수가 수렴할 때까지 상기 제3 단계와 상기 제4 단계를 반복하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0010] 상기 자원블록들의 파워를 결정하는 단계는 적어도 하나의 제약 조건 아래 상기 제2 문제를 최대화하기 위한 적어도 하나의 라그랑지 승수를 계산하는 단계, 상기 적어도 하나의 라그랑지 승수를 이용하여 상기 네트워크 유틸리티의 경사기울기를 정의하는 단계, 어느 하나의 기지국에 대해, 상기 자원블록들 중 두 개의 자원블록을 선택하는 단계, 상기 두 개의 자원블록에 해당하는 상기 네트워크 유틸리티의 경사기울기가 동일해지도록 파워 조절값을 계산하는 단계, 상기 파워 조절값을 이용하여 상기 두 개의 자원블록의 파워를 조절하는 단계, 그리고 상기 자원블록들의 파워가 각각 수렴될 때까지 상기 두 개의 자원블록을 선택하는 단계, 상기 파워 조절값을 계산하는 단계 및 상기 파워를 조절하는 단계를 반복하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 파워 조절값을 계산하는 단계는 해당 기지국의 백홀 링크의 용량을 만족하도록 상기 파워 조절값을 제한하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 적어도 하나의 제약 조건은 각 기지국에서 상기 자원블록들의 파워 합은 상기 각 기지국의 전체 파워 합과 이하인 제1 제약 조건, 그리고 각 기지국에서 어느 하나의 자원블록에 대한 파워는 0 이상인 제2 제약 조건을 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 적어도 하나의 라그랑지 승수를 계산하는 단계는 상기 각 기지국에서 각 자원블록의 파워를 토대로 상기 제1 및 제2 라그랑지 승수를 계산하는 단계를 포함하고, 상기 제1 라그랑지 승수는 음수가 아닌 수로 정의되고, 상기 제2 라그랑지 승수는 양수가 아닌 수로 정의될 수 있다.
- [0014] 상기 선택하는 단계는 상기 각 기지국에서 자원블록들 중 상기 네트워크 유틸리티를 각 자원블록의 파워로 편미분한 값 중에서 최소값에 해당하는 자원블록과 최대값에 해당하는 자원블록을 선택하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 조절하는 단계는 상기 최대값에 해당하는 자원블록의 파워를 상기 파워 조절값만큼 증가시키는 단계, 그리고 상기 최소값에 해당하는 자원블록의 파워를 상기 파워 조절값만큼 감소시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 자원블록들의 파워를 결정하는 단계는 상기 어느 하나의 기지국에 대해 상기 자원블록들의 파워가 각각 수렴될 때까지 상기 두 개의 자원블록을 선택하는 단계, 상기 파워 조절값을 계산하는 단계 및 상기 파워를 조절하는 단계를 반복하고 난 후, 다른 하나의 기지국에 대해 상기 자원블록들의 파워가 각각 수렴될 때까지 상기 두 개의 자원블록을 선택하는 단계, 상기 파워 조절값을 계산하는 단계 및 상기 파워를 조절하는 단계를 반복하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 수신율은 각 기지국에서 상기 단말에게 할당한 자원블록들의 SINR을 이용하여 계산될 수 있다.
- [0018] 본 발명의 다른 한 실시 예에 따르면, 다중 셀 환경에서의 자원 할당 장치가 제공된다. 자원 할당 장치는 송수신기, 그리고 프로세서를 포함한다. 상기 송수신기는 복수의 기지국과 통신한다. 그리고 상기 프로세서는 상기 송수신기를 통해 수신한 각 단말에서 측정된 자원블록들의 SINR을 토대로 정의된 네트워크 유틸리티의 최대화 문제를, 상기 각 단말에게 적어도 하나의 기지국에서 복수의 자원블록들을 할당한 것인지에 관한 제1 문제와 각 기지국의 자원블록들의 파워에 관한 제2 최적화 문제로 나누고, 상기 제1 문제의 최적화를 통해 상기 각 단말에게 적어도 하나의 기지국이 할당할 자원블록들을 결정하며, 상기 제2 문제의 최적화를 통해 각 기지국의 자원블록들의 파워를 결정한다.

- [0019] 상기 프로세서는 제1 제약 조건 아래 상기 네트워크 유틸리티를 최대화하기 위한 제1 라그랑지 승수를 계산하는 제1 단계와, 상기 제1 라그랑지 승수를 이용하여 상기 각 단말에게 적어도 하나의 기지국에서 각 자원블록의 할당 여부를 나타내는 자원 할당 변수와 각 단말의 수신율을 계산하는 제2 단계를 수행하고, 상기 제1 라그랑지 승수가 수렴할 때까지 모든 자원블록에 대하여 상기 제1 단계와 상기 제2 단계를 반복하는 제3 단계를 수행하며, 제2 제약 조건 아래 상기 네트워크 유틸리티를 최대화하기 위한 제2 라그랑지 승수를 계산하는 제4 단계를 수행하고, 상기 제2 라그랑지 승수가 수렴할 때까지 상기 제3 단계와 상기 제4 단계를 반복할 수 있다.
- [0020] 상기 프로세서는 상기 각 단말에게 할당된 자원블록의 SINR과 상기 각 단말에게 할당된 자원블록의 자원 할당 변수를 토대로 상기 각 단말의 수신율을 계산할 수 있다.
- [0021] 상기 제1 제약 조건은 각 기지국의 어느 하나의 자원블록에 대해 하나의 단말에게만 할당되는 조건이고, 상기 제2 제약 조건은 상기 각 기지국의 송신율이 백홀 링크의 백홀 용량 이하로 설정될 수 있다.
- [0022] 상기 프로세서는 상기 각 기지국에서 각 자원블록의 파워를 토대로 제1 제약 조건에 따른 제1 라그랑지 승수와 제2 제약 조건에 따른 제2 라그랑지 승수를 계산하고, 상기 제1 및 제2 라그랑지 승수를 이용하여 상기 각 기지국 네트워크 유틸리티의 경사기울기를 정의하며, 각 기지국에 대해 상기 자원블록들 중 두 개의 자원블록을 선택하고, 상기 두 개의 자원블록에 해당하는 경사기울기가 동일해지도록 상기 두 개의 자원블록의 파워를 조절하며, 상기 각 기지국에 대해 상기 자원블록들의 파워가 각각 수렴될 때까지 두 개의 자원블록을 선택하고 기 두 개의 자원블록의 파워를 조절하는 과정을 반복할 수 있다.
- [0023] 상기 프로세서는 상기 두 개의 자원블록에 해당하는 경사기울기가 동일해지도록 파워 조절값을 계산하고, 상기 파워 조절값을 해당 기지국의 백홀 링크의 용량을 만족하도록 제한시킨 후, 상기 파워 조절값을 이용하여 상기 두 개의 자원블록의 파워를 조절할 수 있다.
- [0024] 상기 프로세서는 상기 각 기지국에서 자원블록들 중 상기 네트워크 유틸리티를 각 자원블록의 파워로 편미분한 값 중에서 최소값에 해당하는 자원블록과 최대값에 해당하는 자원블록을 선택하고, 상기 최대값에 해당하는 자원블록의 파워를 상기 파워 조절값만큼 증가시키며, 상기 최소값에 해당하는 자원블록의 파워를 상기 파워 조절값만큼 감소시킬 수 있다.

발명의 효과

- [0025] 본 발명의 실시 예에 의하면, 실시간으로 한 자원블록당 신호 대 간섭 잡음비를 고려하여 사용자에게 자원블록을 할당함으로써, 종래 기술보다 네트워크 유틸리티를 향상시킬 수 있다.
- [0026] 또한 하나의 사용자가 여러 기지국에 동시에 통신 받을 수 있다는 것을 전제에 두고 자원 할당을 수행함으로써, 사용자의 선택폭이 더 넓어질 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 본 발명의 실시 예가 적용되는 네트워크 시스템 모델을 나타낸 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법을 도시한 알고리즘이다.
- 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 자원블록의 파워를 조절하는 방법을 도시한 알고리즘이다.
- 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치를 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법과 종래 기술과의 성능을 비교한 그래프도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 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 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0029] 명세서 및 청구범위 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

- [0030] 명세서 전체에서, 단말(terminal)은 이동 단말(mobile terminal, MT), 이동국(mobile station, MS), 진보된 이동국(advanced mobile station, AMS), 고신뢰성 이동국(high reliability mobile station, HR-MS), 가입자국(subscriber station, SS), 휴대 가입자국(portable subscriber station, PSS), 접근 단말(access terminal, AT), 사용자 장비(user equipment, UE) 등을 지칭할 수도 있고, MT, MS, AMS, HR-MS, SS, PSS, AT, UE 등의 전부 또는 일부의 기능을 포함할 수도 있다.
- [0031] 또한, 기지국(base station, BS)은 진보된 기지국(advanced base station, ABS), 고신뢰성 기지국(high reliability base station, HR-BS), 노드B(node B), 고도화 노드B(evolved node B, eNodeB), 접근점(access point, AP), 무선 접근국(radio access station, RAS), 송수신 기지국(base transceiver station, BTS), MMR(mobile multihop relay)-BS, 기지국 역할을 수행하는 중계기(relay station, RS), 기지국 역할을 수행하는 중계 노드(relay node, RN), 기지국 역할을 수행하는 진보된 중계기(advanced relay station, ARS), 기지국 역할을 수행하는 고신뢰성 중계기(high reliability relay station, HR-RS), 소형 기지국[펄토 기지국(femto BS), 홈 노드B(home node B, HNB), 홈 eNodeB(HeNB), 피코 기지국(pico BS), 메트로 기지국(metro BS), 마이크로 기지국(micro BS) 등] 등을 지칭할 수도 있고, ABS, 노드B, eNodeB, AP, RAS, BTS, MMR-BS, RS, RN, ARS, HR-RS, 소형 기지국 등의 전부 또는 일부의 기능을 포함할 수도 있다.
- [0032] 이제 본 발명의 실시 예에 따른 다중 셀 환경에서의 자원 할당 방법 및 장치에 대하여 도면을 참고로 하여 상세하게 설명한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 실시 예가 적용되는 네트워크 시스템 모델을 나타낸 도면이다.
- [0034] 도 1을 참고하면, 셀의 소형화를 통한 용량 증대 및 음영지역 해소를 위하여 하나의 매크로셀 내 다수의 스몰셀이 운용된다.
- [0035] 스몰셀은 저전력 무선 접속 기지국으로서 최소 10m에서 수백 미터 정도의 커버리지를 가지는 것으로 정의되는데, 사용범위 및 용도에 따라, 펄토셀 (FemtoCell), 피코셀(PicoCell), 메트로셀 및 마이크로셀 (MetroCell & MicroCell)로 분류가 된다. 또한 설치 지역 및 그 서비스 목적에 따라 가정(Home), 기업 (Enterprise), 도심지역(Urban), 도시외곽지역 (Rural)로 나눌 수 있다.
- [0036] 스몰셀을 관리하는 스몰셀 기지국(110, 120, 130, 140)은 코어 네트워크와 백홀 링크를 통해 연결될 수 있다. 이때 백홀 링크의 용량에 제한이 있을 수 있다. 스몰셀 기지국(110, 120, 130, 140)은 커버리지 내 사용자에게 서비스를 제공할 수 있다.
- [0037] 그러면, 백홀 링크의 용량에 제한이 있는 다중 셀 환경에서 네트워크 유틸리티를 최대화시키기 위한 자원 할당 방법에 대해 자세하게 설명한다.
- [0038] 본 발명의 실시 예에서, 스몰셀 기지국(110, 120, 130, 140)을 포함하는 각 기지국은 모든 사용자의 신호 대 간섭 및 잡음비(Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR) 정보를 받을 수 있다고 가정된다. 사용자는 단말을 의미할 수 있다.
- [0039] 각 사용자 역시 모든 기지국으로부터 데이터를 수신 받을 수 있다. $p_j^{(c)}$ 는 기지국j가 자원 블록c에 할당하는 파워를 나타내고, $h_{ij}^{(c)}$ 는 채널 이득을 나타내며, N_0 는 잡음의 파워를 나타낸다. 이때 기지국j가 자원블록c를 사용하여 사용자i에게 신호를 전달한다고 했을 때, SINR은 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$\text{SINR}_{ij}^{(c)} = \frac{|h_{ij}^{(c)}|^2 p_j^{(c)}}{\sigma^2 + \sum_{k \neq j} |h_{ik}^{(c)}|^2 p_k^{(c)}}, \forall (i, j, c)$$

[0040]

- [0041] 사용자i가 기지국j에게 자원블록c를 통해 신호를 수신 받을 때의 수신율 $R_{ij}^{(c)}$ 는 수학식 2와 같이 정의될 수 있

다.

수학식 2

$$R_{ij}^{(c)} = W \log_2(1 + \text{SINR}_{ij}^{(c)})$$

$x_{ij}^{(c)}$ 는 자원 할당을 나타내기 위한 변수이다. 변수 $x_{ij}^{(c)}$ 는 0 또는 1의 값을 가지고, 0일때는 할당하지 않음을 나타내고, 1일때에는 할당했음을 나타낸다. 사용자 i의 수신율 λ_i 은 수학식 3과 같다.

수학식 3

$$\lambda_i = \sum_{j \in B} \sum_{c \in C} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)}$$

해당 네트워크 유틸리티 U는 수학식 4와 같이 정의된다.

수학식 4

$$U = \sum_{i \in N} \log \left(\sum_{j \in B} \sum_{c \in C} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)} \right)$$

그리고 사용자간의 충돌을 방지하기 위해, 각 기지국 j의 자원블록 c에 대해 최대 하나의 사용자만 할당 받을 수 있다. 즉 5개의 기지국이 존재하고, 자원블록 c를 할당할 때, 5개의 기지국은 총 5명의 각기 다른 사용자에게 자원블록 c를 할당한다. 그러므로 수학식 5의 조건이 만족되어야 한다.

수학식 5

$$\sum_{i \in N} x_{ij}^{(c)} = 1, \forall j \in B, c \in C$$

또한 각 기지국은 백홀 링크를 통해 각 사용자에게 송신할 데이터를 전송 받기 때문에 각 기지국의 송신율은 수학식 6과 같이 백홀 용량 이하로 설정되어야 한다.

수학식 6

$$\sum_{c \in C} \sum_{i \in N} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)} \leq Z_j, \forall j \in B$$

여기서, Z_j 는 기지국 j의 백홀 용량을 나타낸다.

네트워크 유틸리티를 주어진 조건 안에서 최대화하기 위해 수학식 7의 최적화 문제가 제안된다.

수학식 7

$$\begin{aligned}
 & \underset{x, p}{\text{maximize}} \quad \sum_{i \in \mathbf{N}} \log \lambda_i \\
 s.t \quad & \lambda_i = \sum_{j \in \mathbf{B}} \sum_{c \in \mathbf{C}} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)}, \forall i \in \mathbf{N} \\
 & \sum_{i \in \mathbf{N}} x_{ij}^{(c)} = 1, \forall (j, c) \\
 & \sum_{c \in \mathbf{C}} \sum_{i \in \mathbf{N}} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)} \leq Z_j, \forall j \in \mathbf{B} \\
 & \sum_{c \in \mathbf{C}} p_j^{(c)} \leq P_{j, total}, \forall j \in \mathbf{B} \\
 & R_{ij}^{(c)} = \log_2 \left(\frac{\sigma^2 + \sum_k |h_{ik}^{(c)}|^2 p_k^{(c)}}{\sigma^2 + \sum_{k \neq j} |h_{ik}^{(c)}|^2 p_k^{(c)}} \right), \forall (i, j, c) \\
 & x_{ij}^{(c)} \in \{0, 1\}, \forall (i, j, c) \\
 & p_j^{(c)} \geq 0, \forall (j, c)
 \end{aligned}$$

[0053]

[0054] 위의 최적화 문제는 두 개의 최적화 문제로 나누어서 풀어진다. 하나는 $x_{ij}^{(c)}$ 에 관한 문제이고 다른 하나는 $p_j^{(c)}$ 에 관한 문제이다. 첫번째 $x_{ij}^{(c)}$ 에 관한 최적화 문제는 $p_j^{(c)}$ 를 고정한 채로 푼다. $p_j^{(c)}$ 가 고정된 최적화 문제는 수학식 8과 같이 수식화될 수 있다.

수학식 8

$$\begin{aligned}
 & \underset{x}{\text{maximize}} \sum_{i \in N} \log \lambda_i \\
 \text{s.t.} \quad & \lambda_i = \sum_{j \in B} \sum_{c \in C} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)}, \forall i \in N \\
 & \sum_{i \in N} x_{ij}^{(c)} = 1, \forall (j, c) \\
 & \sum_{c \in C} \sum_{i \in N} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)} \leq Z_j, \forall j \in B \\
 & x_{ij}^{(c)} \in \{0, 1\}, \forall (i, j, c)
 \end{aligned}$$

[0055]

[0056] 수학식 8의 최적화 문제에 대한 라그랑지(lagrange) 승수법은 수학식 9와 같이 수식화될 수 있다.

수학식 9

$$L(x, \lambda, \mu, v) = \sum_{i \in N} \log \lambda_i + \sum_{i \in N} \mu_i \left(\sum_{j \in B} \sum_{c \in C_j} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)} - \lambda_i \right) + \sum_{j \in B} v_j \left(Z_j - \sum_{i \in N} \sum_{c \in C_j} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)} \right)$$

[0057]

[0058] 여기서, μ_i 및 v_j 는 해당 제한 조건에 따른 라그랑지 승수를 나타낸다.

[0059] 쌍대 문제(dual problem)로 수학식 8의 최적화 문제를 풀기 위해서 위의 라그랑지의 상한 값을 구한다. 라그랑지의 상한 값은 수학식 10과 같이 계산될 수 있다.

수학식 10

$$\begin{aligned}
 & \max_{x, \lambda} L(x, \lambda, \mu, v) \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{i \in N} x_{ij}^{(c)} = 1, \forall (j, c) \\
 & x_{ij}^{(c)} \in \{0, 1\}, \forall (i, j, c)
 \end{aligned}$$

[0060]

[0061] 위의 최적화 문제를 풀기 위한 λ_i 의 값은 $L(x, \lambda, \mu, v)$ 을 λ_i 에 대해 수학식 11과 같이 편미분 함으로써 구해진다.

수학식 11

$$\frac{\partial L(x, \lambda, \mu, \nu)}{\partial \lambda_i} = \frac{1}{\lambda_i} - \mu_i = 0$$

$$\lambda_i^* = \frac{1}{\mu_i}$$

[0062]

[0063] 구해진 λ_i^* 을 라그랑지에 대입하게 되면, 수학식 12와 같다.

수학식 12

$$L(x, \lambda^*, \mu, \nu) = \sum_{i \in N} \log \frac{1}{\mu_i} + \sum_{j \in B} \sum_{c \in C_j} \sum_{i \in N} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)} (\mu_i - \nu_j) + \sum_{j \in B} \nu_j Z_j - |N|$$

[0064]

[0065] 수학식 12에서 라그랑지를 최대화시키는 $x_{ij}^{(c)}$ 의 값을 구하기 위해 수학식 13과 같은 방법으로 $x_{ij}^{(c)}$ 의 값을 정의한다. 즉 각 기지국j의 자원블록c에 대해 최대 하나의 사용자만 할당 받을 수 있으므로, 각 기지국j의 자원블록c에 대해 모든 사용자i의 $x_{ij}^{(c)}$ 의 합은 1이고, $x_{ij}^{(c)}$ 는 0 또는 1이므로, 수학식 13과 같이 $x_{ij}^{(c)}$ 를 정의할 수 있다.

수학식 13

$$i_j^{(c)*} = \arg \max_{i \in N} R_{ij}^{(c)} (\mu_i - \nu_j)$$

$$x_{ij}^{(c)} = \begin{cases} 1, & \text{if } i=i_j^{(c)*} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall (j, c) \in B \times C$$

[0066]

[0067] 위의 식에서 구해진 $x_{ij}^{(c)}$ 의 값들을 라그랑지에 대입한 $g(\mu, \nu)$ 를 수학식 14와 같이 정의하게 된다.

수학식 14

$$g(\mu, \nu) = \inf_{x \in X_f, \lambda_i} L(x, \lambda, \mu, \nu)$$

[0068]

[0069] 쌍대 문제는 $g(\mu, \nu)$ 의 최소값을 구함으로써 풀어진다. $g(\mu, \nu)$ 를 최소화 하는 μ 의 값은 수학식 15

와 같이 편미분으로 구해질 수 있다.

수학식 15

$$\frac{\partial g(\mu, \nu)}{\partial \mu_i} = -\frac{1}{\mu_i} + \sum_{j \in B} \sum_{c \in C_j} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)*}$$

$$\mu_i = \frac{1}{\sum_{j \in B} \sum_{c \in C_j} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)*}}.$$

[0070]

[0071] 하지만 $g(\mu, \nu)$ 는 ν 에 대해서 미분 가능하지 않기 때문에, 수학식 16과 같이 서브-경사법(sub-gradient method)으로 $g(\mu, \nu)$ 를 최소화시키는 ν 를 구할 수 있다.

수학식 16

$$\nu_j(t+1) = \left[\nu_j(t) - \alpha \left(Z_j - \sum_{i \in N} \sum_{c \in C_j} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)*} \right) \right]^+$$

[0072]

[0073] 본 발명의 실시 예의 시뮬레이션을 위해, 일반적인 경사 하강법(gradient descent method)보다 적은 계산량을 보인 좌표 하강법(coordinate descent method)을 ν 를 구하기 위해 사용하였다. 좌표 하강법은 다음과 같은 알고리즘으로 진행된다. 좌표 하강법은 여러 개의 변수에 대해 목표 함수를 최적화 해야 할 때, 하나의 변수를 제외한 나머지 변수를 고정시킨 후 그 변수에 대해서만 최적화 하는 것을 반복한다. 수학식 17과 같이 좌표 하강법을 사용하여 ν 가 구해질 수 있다.

수학식 17

$$\nu_j^{(t+1)} = \arg \min_{\gamma \geq 0} g(\nu_1^{(t)}, \dots, \nu_{j-1}^{(t)}, \gamma, \nu_{j+1}^{(t)}, \dots, \nu_J^{(t)})$$

[0074]

[0075] 이러한 방법을 이용하면, $x_{ij}^{(c)}$ 가 구해질 수 있다.

[0076] 앞에서 설명한 방법을 토대로 $x_{ij}^{(c)}$ 를 구하는 방법을 알고리즘으로 도식하면 도 2와 같이 나타낼 수 있다.

[0077] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법을 도식한 알고리즘이다.

[0078] 도 2를 참고하면, 자원 할당 장치는 모든 기지국 j 와 모든 사용자 i 에 대하여 $V_j=0$ 으로 초기화하고, $\mu_i=0$ 으로 초기화한다. 이때 j 와 i 는 각각 기지국과 사용자의 번호를 나타낸다.

[0079] 자원 할당 장치는 자원블록 c 에 대하여 1)과 2)의 과정을 수행한다. 1) 과정에서는 수학식 15에 따라서 μ_i 를 업

데이트한다. 2)의 과정에서는 $x_{ij}^{(c)}$ 와 λ_i 를 업데이트한다.

[0080] 자원 할당 장치는 μ_i 가 수렴될 때까지 모든 자원블록 c에 대하여 1)과 2)의 과정을 반복한다.

[0081] 다음, 자원 할당 장치는 3)의 과정을 수행한다. 3) 과정에서는 수학적 식 16에 따라서 V_j 를 업데이트한다. 자원 할당 장치는 V_j 가 수렴될 때까지 모든 기지국 j에 대하여 앞의 과정을 반복한다.

[0082] 자원 할당 장치는 V_j 가 수렴될 때의 $x_{ij}^{(c)}$ 를 출력한다.

[0083] 이와 같이, 자원 할당 장치는 네트워크 유틸리티를 최대화시키기 위해 $x_{ij}^{(c)}$ 의 최적화 문제를 통해 각 사용자 i에 대하여 적어도 하나의 기지국 j에서 할당할 적어도 하나의 자원블록 c를 결정할 수 있다. 즉 각 기지국 j에 서는 모든 자원블록 c에 대하여 해당 자원블록 c가 할당될 사용자 i를 결정한다.

[0084] 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당은 도 2와 같은 알고리즘으로 수행된다. 하지만 기지국의 밀도가 높아지면 서 대부분의 자원블록에 대한 SINR이 안좋아지는 결과가 발생 할 수 있다. 이때 자원블록별로 파워를 조절하여

네트워크 유틸리티를 개선시킬 수 있다. 네트워크 유틸리티를 최대화 하기 위한 파워 조절 방법은 $x_{ij}^{(c)}$ 를 고정 한 채로 $P_j^{(c)}$ 를 조절하는 방법으로 수행된다. 변수 $x_{ij}^{(c)}$ 를 고정시킨 최적화 문제는 수학적 식 18과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 18

$$\begin{aligned} & \underset{p}{\text{maximize}} \quad \sum_{i \in N} \log \lambda_i \\ & \text{s.t.} \quad \lambda_i = \sum_{j \in B} \sum_{c \in C} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)}, \forall i \in N \\ & \quad \sum_{c \in C} \sum_{i \in N} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)} \leq Z_j, \forall j \in B \\ & \quad \sum_{c \in C} P_j^{(c)} \leq P_{j, \text{total}}, \forall j \in B \\ & \quad R_{ij}^{(c)} = \log_2 \left(1 + \frac{|h_{ij}^{(c)}|^2 P_j^{(c)}}{\sigma^2 + \sum_{k \neq j} |h_{ik}^{(c)}|^2 P_k^{(c)}} \right), \forall (i, j, c) \\ & \quad P_j^{(c)} \geq 0, \forall (j, c) \end{aligned}$$

[0085]

[0086] 이 과정에서 한정된 백홀 용량 제한은 마지막 파워를 조절하는 부분에서 고려된다. 따라서 수학적 식 18의 최적화 문제는 수학적 식 19와 같이 간단하게 나타낼 수 있다.

수학식 19

$$\begin{aligned} & \underset{p}{\text{maximize}} \quad \sum_{i \in \mathcal{N}} \log \sum_{j \in \mathcal{B}} \sum_{c \in \mathcal{C}_j} \log_2 \left(1 + \frac{|h_{ij}^{(c)}|^2 p_j^{(c)} x_{ij}^{(c)}}{\sigma^2 + \sum_{k \neq j} |h_{ik}^{(c)}|^2 p_k^{(c)}} \right) \\ & \text{s.t.} \quad \sum_{c \in \mathcal{C}} p_j^{(c)} \leq P_{j, \text{total}}, \forall j \in \mathcal{B} \\ & \quad p_j^{(c)} \geq 0, \forall (j, c) \in \mathcal{B} \times \mathcal{C} \end{aligned}$$

[0087]

[0088] 주어진 목표 함수를 최대화 시키는 $p_j^{(c)}$ 는 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 이론으로부터 유도된다. 라그랑지는 수학식 20과 같이 수식화될 수 있다.

수학식 20

$$\begin{aligned} L(p, \xi, \varphi) = & \sum_{i \in \mathcal{N}} \log \sum_{j \in \mathcal{B}} \sum_{c \in \mathcal{C}_j} \log_2 \left(1 + \frac{|h_{ij}^{(c)}|^2 p_j^{(c)} x_{ij}^{(c)}}{\sigma^2 + \sum_{k \neq j} |h_{ik}^{(c)}|^2 p_k^{(c)}} \right) \\ & - \sum_{j \in \mathcal{B}} \xi_j \left(\sum_{c \in \mathcal{C}} p_j^{(c)} - P_{j, \text{total}} \right) + \sum_{j \in \mathcal{B}} \sum_{c \in \mathcal{C}} \varphi_j^{(c)} p_j^{(c)} \end{aligned}$$

[0089]

[0090] 여기서, ξ_j 와 $\varphi_j^{(c)}$ 는 해당 제한 조건에 따른 라그랑지 승수이다.

[0091] KKT조건은 $p_j^{(c)}$ 가 수학식 21을 만족할 때, $p_j^{(c)}$ 가 해당 함수의 국소 최소값(local minimizer)이라고 정의되는 것을 말한다.

수학식 21

$$U_{j,c} = \xi_j - \varphi_j^{(c)}, \forall (j, c)$$

[0092]

[0093] 이때, $U_{j,c}$ 는 네트워크 유틸리티 함수의 경사기울기(gradient)로 정의된다. 수학식 22와 같이, ξ_j 는 임의의 음수가 아닌 수로 정의되고, $\varphi_j^{(c)}$ 는 임의의 양수가 아닌 수로 정의된다.

수학식 22

$$\xi_j = \begin{cases} \alpha_j > 0(\text{arbitrary number}), & \text{if } \sum_{c \in C_j} p_j^{(c)} = P_{j,\text{total}} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\varphi_j^{(c)} = \begin{cases} \beta_j^{(c)} < 0(\text{arbitrary number}), & \text{if } p_j^{(c)} = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0094]

[0095]

위의 KKT 조건에 의하면 임의의 기지국에 대해 파워에 대한 경사기울기의 성분은 파워가 0인 자원블록을 제외하고 모두 같은 값을 가져야 한다. 이것을 만족시키기 위해 본 발명의 실시 예에서는 다음의 알고리즘을 제안한다. 여기서, 여러 개의 자원블록에 대한 파워를 동시에 조절하는 것은 불가능하기 때문에 두개의 자원블록을 선택하여 최적화시킨다. 두 자원블록 c_1 과 c_2 는 수학식 23으로부터 선택될 수 있다.

수학식 23

$$c_1 = \arg \max_{c \in C} \frac{\partial U}{\partial p_j^{(c)}}$$

$$c_2 = \arg \min_{c \in C} \frac{\partial U}{\partial p_j^{(c)}}$$

[0096]

[0097]

두 자원블록 c_1 과 c_2 에 해당하는 경사기울기 요소(gradient element)들을 같게 만들어 주기 위해 Δp 만큼의 파워가 자원블록 c_1 에서 c_2 로 전달될 때, 자원블록 c_1 과 c_2 에 해당하는 경사기울기 요소는 수학식 24와 같이 정의된다.

수학식 24

$$f_1(\Delta p) = \left. \frac{\partial U}{\partial p_j^{(c_1)}} \right|_{p_j^{(c_1)} = p_j^{(c_1)}(t) + \Delta p} \approx \frac{\partial^3 U}{\partial p_j^{(c_1)3}} \frac{\Delta p^2}{2!} + \frac{\partial^2 U}{\partial p_j^{(c_1)2}} \Delta p + \frac{\partial U}{\partial p_j^{(c_1)}}$$

$$f_2(\Delta p) = \left. \frac{\partial U}{\partial p_j^{(c_2)}} \right|_{p_j^{(c_2)} = p_j^{(c_2)}(t) - \Delta p} \approx \frac{\partial^3 U}{\partial p_j^{(c_2)3}} \frac{\Delta p^2}{2!} - \frac{\partial^2 U}{\partial p_j^{(c_2)2}} \Delta p + \frac{\partial U}{\partial p_j^{(c_2)}}$$

[0098]

[0099]

수학식 24에 도식된 자원블록 c_1 과 c_2 에 해당하는 경사기울기 요소를 동일하게 만들어주는 Δp 를 구하기 위해 2차 근사식(second order approximation equation)을 사용한다. 이때 Δp 의 값은 수학식 25와 같이 정의된다.

수학식 25

$$\Delta p = \frac{-f'(p) + \text{sgn}[f'(p)] \sqrt{f'(p)^2 - 2f''(p)f(p)}}{f''(p)}$$

[0100]

이때 $f''(p)$, $f'(p)$ 및 $f(p)$ 는 각각 수학식 26, 수학식 27 및 수학식 28과 같이 정의된다.

수학식 26

$$f''(p) = \partial^3 U / \partial p_j^{(c_1)3} - \partial^3 U / \partial p_j^{(c_2)3}$$

[0102]

수학식 27

$$f'(p) = \partial^2 U / \partial p_j^{(c_1)2} + \partial^2 U / \partial p_j^{(c_2)2}$$

[0103]

수학식 28

$$f(p) = f_1(p) - f_2(p)$$

[0104]

앞에서 말한 한정된 백홀 용량을 만족하기 위해 과정마다 Δp 의 값은 수학식 29와 같이 P_f 의 값으로 제한된다.

수학식 29

$$p_f \leq \min \left\{ \min_{k \in B \setminus \{j\}} \left\{ p_k^{(c_2)} (1 - 2^{-L_k}) \right\}, p_j^{(c_1)} (2^{L_j - 1}) \right\}$$

[0106]

위의 식에서 구해진 P_f 로 수학식 30과 같이 자원블록 c_1 의 파워 $p_j^{(c_1)}$ 와 c_2 의 파워 $p_j^{(c_2)}$ 가 조절된다.

수학식 30

$$\begin{aligned} p_j^{(c_1)}(t+1) &= p_j^{(c_1)}(t) + p_f(t) \\ p_j^{(c_2)}(t+1) &= p_j^{(c_2)}(t) - p_f(t) \end{aligned}$$

[0108]

앞에서 설명한 본 발명의 실시 예에 따른 자원블록의 파워를 조절하는 방법은 도 3에 도시된 알고리즘과 같이

[0109]

나타낼 수 있다.

[0110] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 자원블록의 파워를 조절하는 방법을 도시한 알고리즘이다.

[0111] 도 3에 도시한 바와 같이, 자원 할당 장치는 $p_j^{(c)} = 1$ 로 초기화한다.

[0112] 자원 할당 장치는 각 기지국j에 대하여 1), 2) 및 3)의 과정을 수행한다.

[0113] 먼저, 자원 할당 장치는 어느 하나의 기지국j에 대하여, 1)의 과정을 수행한다. 1) 과정에서는 수학적 식 23에 따라서 두 자원블록 c_1 과 c_2 를 선택한다.

[0114] 다음, 자원 할당 장치는 2)의 과정을 Δp 가 수렴될 때까지 반복한다. 2) 과정에서는 수학적 식 25에 따라서 Δp 를 구한다.

[0115] 다음, 자원 할당 장치는 3)의 과정을 수행한다. 3) 과정에서는 수학적 식 29와 수학적 식 30에 따라서 두 자원블록 c_1 과 c_2 에 대한 $p_j^{(c)}$ 를 각각 업데이트한다.

[0116] 그리고 자원 할당 장치는 어느 하나의 기지국j에서 각 자원블록c에 대한 파워 $p_j^{(c)}$ 가 수렴될 때까지 앞에서 설명한 과정을 반복한다.

[0117] 어느 하나의 기지국j에서 $p_j^{(c)}$ 가 수렴되면, 다른 하나의 기지국j에 대하여 1), 2) 및 3)의 과정을 수행한다.

[0118] 이러한 과정을 반복하면, 모든 기지국j에 대하여 파워가 0인 자원블록을 제외한 모든 자원블록c이 네트워크 유틸리티에 대한 경사기울기의 값을 동일한 값을 가지도록 하며, 자원 할당 장치는 모든 기지국j의 모든 자원블록c의 파워 $p_j^{(c)}$ 를 행렬 형태로 출력한다. 그리고 모든 기지국j의 모든 자원블록c의 파워 $p_j^{(c)}$ 에 의해, 네트워크 유틸리티가 변경되고, 변경된 네트워크 유틸리티를 최대화시키기 위해 앞에서 설명한 과정을 통해 모든 기지국j의 모든 자원블록c의 파워 $p_j^{(c)}$ 가 다시 결정된다.

[0119] 이와 같이, 자원 할당 장치는 실시간의 네트워크 유틸리티를 최대화시키기 위해 $p_j^{(c)}$ 의 최적화 문제를 통해 기지국j에서의 각 자원블록c의 파워를 결정할 수 있다.

[0120] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치를 나타낸 도면이다.

[0121] 도 4를 참고하면, 자원 할당 장치(400)는 적어도 하나의 프로세서(410), 송수신기(420) 및 메모리(430)를 포함한다. 자원 할당 장치(400)는 각 기지국을 중앙 집중적으로 관리하는 장치에 구현될 수 있다.

[0122] 적어도 하나의 프로세서(410)는 중앙 처리 유닛(central processing unit, CPU)이나 기타 칩셋, 마이크로프로세서 등으로 구현될 수 있다.

[0123] 송수신기(420)는 프로세서(410)와 연결되어, 각 스몰셀 기지국과 무선신호를 송수신한다.

[0124] 메모리(430)는 프로세서(410)와 연결되어, 프로세서(410)를 구동하기 위한 다양한 정보를 저장한다. 메모리(430)는 프로세서(410)에서 수행하기 위한 명령어를 저장하고 있거나 저장 장치(도시하지 않음)로부터 명령어를 로드하여 일시 저장한다. 메모리(430)는 ROM(read-only memory), RAM(random access memory), 플래쉬 메모리, 메모리 카드, 저장 매체 및/또는 다른 저장 장치를 포함할 수 있다.

[0125] 프로세서(430)는 앞에서 설명한 바와 같이 네트워크 유틸리티를 최대화시키는 문제를 두 개의 문제로 나누고, 각 문제의 최적화를 통해서 사용자들에게 자원블록을 할당하고, 각 사용자에게 할당된 자원블록의 파워를 조절하는 기능을 수행한다. 프로세서(430)는 도 2 및 도 3에 도시된 알고리즘을 실행하기 위한 명령어를 메모리(420)에 로드시켜, 도 2 및 도 3에 도시된 알고리즘에 따른 동작이 수행되도록 할 수 있다. 그리고 이러한 프로그램 명령은 저장 장치(430)에 저장되어 있을 수 있으며, 또는 네트워크로 연결되어 있는 다른 시스템에 저장되

어 있을 수 있다.

[0126] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법과 종래 기술과의 성능을 비교한 그래프도이다.

[0127] 도 5에 도시된 그래프는 4개의 기지국 주변에 40명의 사용자가 있을 때 기존 기술들(Baseline1, Baseline2)과 본 발명의 실시 예에서 제안된 기술(Proposed Algorithm)의 성능을 나타낸다.

[0128] 각 기지국은 20MHz대역을 서비스하며, 이 대역폭을 100개의 자원블록으로 나누어 사용자들에게 할당하게 된다.

[0129] 도 5의 그래프에 도시한 바와 같이, 백홀 용량이 낮을 때(30이하일 때), 본 발명의 실시 예에서 제안된 기술(Proposed Algorithm)은 기존 기술들(Baseline1, Baseline2)에 비해 5~20%의 성능 향상이 있다. 하지만 백홀 용량이 증가에 따라 제안된 기술(Proposed Algorithm)은 기존 기술들(Baseline1, Baseline2)에 비해 75% 이상 성능을 향상시킨다. 본 발명의 실시 예에서 제안된 기술(Proposed Algorithm)의 계산량은

$$O(I_{\mu}(\frac{BNC}{\delta^2}) + I_p(B^2 + C))$$

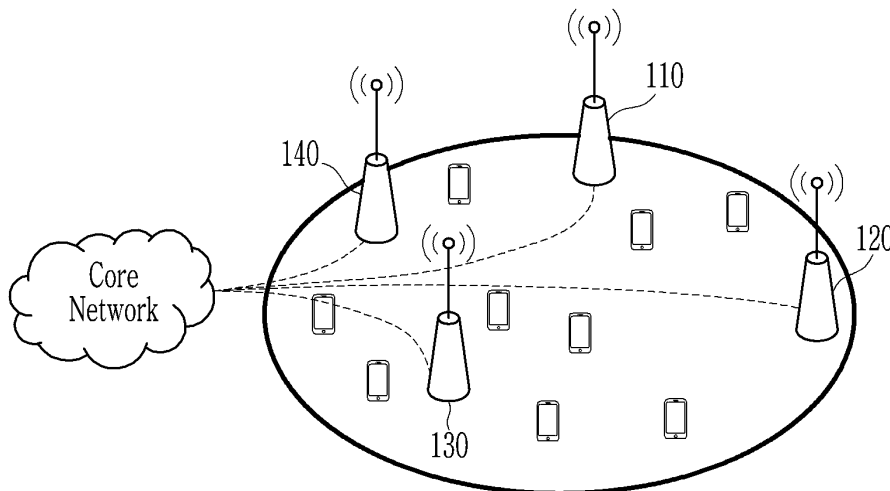
이다. 여기서 I_{μ} 는 μ 가 수렴하기 위해 필요한 반복(iteration)의 숫자로, 10 이하의

값을 가진다. I_p 는 p 가 수렴하기 위한 반복의 숫자로 대부분 1000 이하의 값을 가진다.

[0130] 이상에서 본 발명의 실시 예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리 범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리 범위에 속하는 것이다.

도면

도면1



도면2

Cyclic coordinate descent algorithms

Initialization: set $V_j = 0, \forall j$. set $\mu_i = 0, \forall i$.

repeat

for $\forall j \in B$

repeat

for $\forall c \in C$

1) Update μ_i according to $\mu_i = \frac{1}{\sum_{j \in B} \sum_{c \in C_j} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)*}}$.

2) Update $x_{ij}^{(c)}$ and λ_i .

end

until μ_i converges

3) Update v_j according to $v_j(t+1) = \left[v_j(t) - \alpha \left(Z_j - \sum_{i \in N} \sum_{c \in C_j} R_{ij}^{(c)} x_{ij}^{(c)*} \right) \right]^+$.

end

until v_j converges

Return: indicator $x_{ij}^{(c)}$

도면3

Power allocation algorithm

Initialization: set $p_j^{(c)} = 1, \forall (j, c)$.

repeat

for $\forall j \in B$

1) select the c_1 and c_2 according to $c_1 = \arg \max_{c \in C} \frac{\partial U}{\partial p_j^{(c)}}, c_2 = \arg \min_{c \in C} \frac{\partial U}{\partial p_j^{(c)}}$.

repeat

2) Obtain the Δp according to

$$\Delta p = \left(-f'(p) + \text{sgn}[f'(p)] \sqrt{f'(p)^2 - 2f''(p)f(p)} \right) / f''(p).$$

until Δp converges

3) Update $p_j^{(c)}$ according to

$$p_f \leq \min \left\{ \min_{k \in B \setminus \{j\}} \left\{ p_k^{(c_2)} (1 - 2^{-L_k}) \right\}, p_j^{(c_1)} (2^{L_{j-1}}) \right\}.$$

$$p_j^{(c_1)}(t+1) = p_j^{(c_1)}(t) + p_f(t)$$

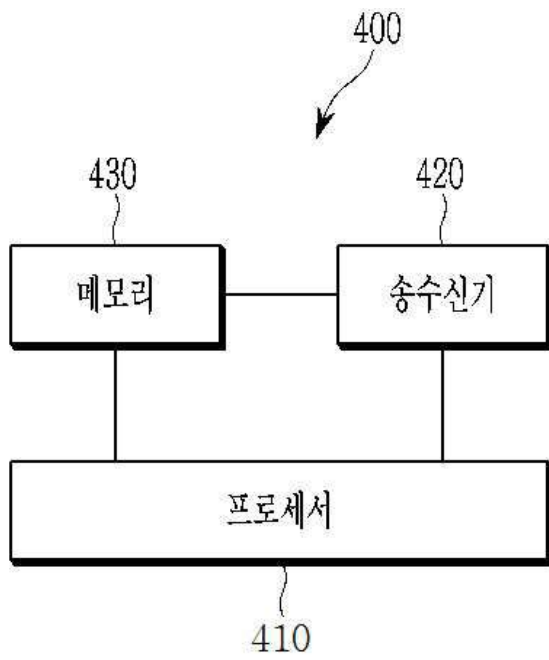
$$p_j^{(c_2)}(t+1) = p_j^{(c_2)}(t) - p_f(t)$$

end

until $p_j^{(c)}$ converges

Return: indicator $p_j^{(c)}$

도면4



도면5

