



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0125146
(43) 공개일자 2014년10월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04W 16/04 (2009.01)

(21) 출원번호 10-2013-0042947

(22) 출원일자 2013년04월18일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

한국전자통신연구원

대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

조윤희

대전 유성구 장대로71번길 34, 101동 501호 (장대동, 장대푸르지오)

송재수

대전 서구 만년남로 8, 107동 702호 (만년동, 상록수아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

팬코리아특허법인

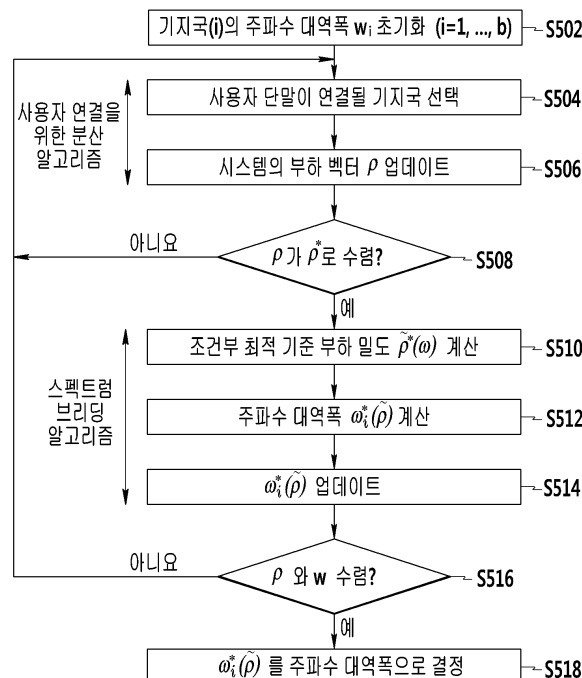
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 통신 시스템에서의 자원 할당 방법 및 장치

(57) 요약

각 셀의 자원 할당 장치는 전체 주파수 대역폭을 복수의 주파수 대역폭으로 나누고, 복수의 주파수 대역폭을 인접 셀간 상호 배타적으로 복수의 셀에 각각 할당하며, 각 셀의 기준 부하에 따라서 각 셀의 주파수 대역폭을 변경한다.

대표도 - 도5



(72) 발명자

서석

대전 유성구 신성로61번안길 43, 304호 (신성동)

이승환

대전 유성구 유성대로783번길 38, 101동 1401호 (장대동, 월드컵패밀리타운)

김홍석

서울 마포구 월드컵북로47길 46, 201동 2005호 (상암동, 상암월드컵파크2단지아파트)

김혜연

서울 용산구 원효로 66, B동 605호 (원효로4가, 산호아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 11921-04001

부처명 방송통신위원회

연구관리전문기관 한국방송통신전파진흥원

연구사업명 방송통신연구개발사업[기술개발부문]

연구과제명 스마트 모바일 서비스의 체감 품질 향상을 위한 무선전송 원천기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 한국전자통신연구원

연구기간 2011.03.01~2016.02.29

특허청구의 범위

청구항 1

복수의 셀을 포함하는 통신 시스템에서 각 셀의 자원 할당 장치가 자원을 할당하는 방법으로,
 전체 주파수 대역폭을 복수의 주파수 대역폭으로 나누는 단계,
 상기 복수의 주파수 대역폭을 인접 셀간 상호 배타적으로 상기 복수의 셀에 각각 할당하는 단계,
 상기 복수의 셀의 기준 부하를 계산하는 단계, 그리고
 상기 복수의 셀의 기준 부하에 따라서 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭을 변경하는 단계
 를 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 2

제1항에서,
 상기 변경하는 단계는 각 셀의 기준 부하에 비례하여 각 셀의 주파수 대역폭을 결정하는 단계를 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 3

제1항에서,
 상기 계산하는 단계는 사용자 단말이 연결할 기지국의 선택에 따라서 각 셀의 기준 부하가 수렴하는 최적 기준 부하를 계산하는 단계를 포함하고,
 상기 변경하는 단계는 주파수 대역폭과 각 셀의 최적 기준 부하를 변수로 가지고 있는 목적 함수를 이용하여 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭을 결정하는 단계를 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 4

제3항에서,
 상기 결정하는 단계는
 상기 목적 함수의 값이 수렴할 때까지 상기 사용자 단말이 연결할 기지국을 변경하면서 최적 기준 부하를 계산하는 단계와 상기 주파수 대역폭을 결정하는 단계를 반복하는 단계를 포함하며,
 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭은 상기 목적 함수의 값이 수렴할 때의 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭으로 결정되는 자원 할당 방법.

청구항 5

제3항에서,
 상기 목적 함수는 플로우의 평균 전송 지연 시간을 최소화하는 최적화 모델을 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 6

제1항에서,
 상기 계산하는 단계는 사용자 단말이 거리에 따라서 기지국에 연결되면 각 셀의 최적 기준 부하를 계산하는 단계를 포함하고,
 상기 변경하는 단계는 주파수 대역폭과 각 셀의 최적 기준 부하를 변수로 가지고 있는 목적 함수를 이용하여 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭을 결정하는 단계를 포함하는 자원 할당 방법.

청구항 7

복수의 셀을 포함하는 통신 시스템에서 각 셀의 자원 할당 장치로서,

전체 주파수 대역폭을 복수의 주파수 대역폭으로 나누고, 상기 복수의 주파수 대역폭을 인접 셀간 상호 배타적으로 상기 복수의 셀에 각각 할당하며, 각 셀의 기준 부하와 상기 각 셀을 관리하는 기지국의 전송 속도에 따라서 상기 각 셀의 주파수 대역폭을 결정하는 제어부, 그리고

상기 각 셀의 기준 부하를 인접 셀과 교환하는 통신부를 포함하는 자원 할당 장치.

청구항 8

제7항에서,

상기 제어부는 상기 각 셀의 기준 부하에 비례하여 상기 각 셀의 주파수 대역폭을 결정하는 자원 할당 장치.

청구항 9

제7항에서,

상기 제어부는 주파수 대역폭과 각 셀의 기준 부하를 변수로 가지고 있는 목적 함수를 이용하여 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭을 결정하며,

상기 목적 함수는 플로우의 평균 전송 지연 시간을 최소화하는 최적화 모델을 포함하는 자원 할당 장치.

청구항 10

제7항에서,

상기 제어부는 상기 각 셀의 사용자 단말이 기지국에 연결되면, 상기 각 셀의 기준 부하를 계산하는 자원 할당 장치.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 통신 시스템에서의 자원 할당 방법 및 장치에 관한 것으로, 특히 셀간 간섭 및 시스템의 성능을 고려한 자원 할당 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 무선 자원을 효율적으로 사용함으로써 시스템 용량을 극대화 하기 위하여, 전체 서비스 지역을 복수의 셀로 분할하여 다중 셀로 구성하고, 주파수와 같은 무선 자원을 재사용한다. 각 셀에는 셀 내에 위치한 단말에 서비스를 제공하기 위한 기지국이 설치된다.

[0003] 이러한 셀룰러 통신 시스템에서 시스템 용량을 높이기 위해서는 주파수 사용 효율을 최대화해야 하는데 이를 위해 각 셀은 전체 주파수 대역을 공통으로 사용하도록 설계된다. 이렇게 서로 인접한 셀이 서로 동일한 주파수 대역을 사용할 경우에 한 셀 내에서는 직교 주파수로 구성된 서브채널을 사용자 별로 할당하기 때문에 간섭이 없지만 셀간 간섭(Inter-Cell Interference)이 발생하게 된다.

[0004] 특히 셀의 중심 지역에 존재하는 단말은 다른 셀로부터 수신된 신호의 세기가 약하고 서빙 셀로부터 수신된 신호가 강하기 때문에 셀간 간섭이 크게 문제되지 않지만, 셀의 경계지역에 위치한 단말은 인접 셀로부터 수신되는 신호의 세기가 강하기 때문에 셀간 간섭이 통신 성능을 크게 저하시킨다.

[0005] 이러한 문제를 해결하기 위하여 주파수 재사용(Frequency Reuse) 방식이 제안되었다. 주파수 재사용 방식은 전체 주파수 대역을 인접한 셀들이 분할하여 사용하는 방식이다. 이러한 주파수 재사용 방식은 셀의 부하 불균형(load unbalancing)을 직접적으로 고려하지 않고 있다. 따라서 각 기지국의 부하가 균등하지 않을 경우 할당된 자원이 사용되지 않거나 부족하여 주파수 사용 효율성 저하, 서비스 품질 및 체감 품질 저하가 발생하게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 셀의 부하에 따라서 주파수 대역폭을 할당하여 사용자의 체감 품질을 향상시킬 수 있는 통신 시스템에서의 자원 할당 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 한 실시 예에 따르면, 복수의 셀을 포함하는 통신 시스템에서 각 셀의 자원 할당 장치가 자원을 할당하는 방법이 제공된다. 자원 할당 방법은 전체 주파수 대역폭을 복수의 주파수 대역폭으로 나누는 단계, 상기 복수의 주파수 대역폭을 인접 셀간 상호 배타적으로 상기 복수의 셀에 각각 할당하는 단계, 상기 복수의 셀의 기준 부하를 계산하는 단계, 그리고 상기 복수의 셀의 기준 부하에 따라서 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭을 변경하는 단계를 포함한다.

[0008] 상기 변경하는 단계는 각 셀의 기준 부하에 비례하여 각 셀의 주파수 대역폭을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 계산하는 단계는 사용자 단말이 연결할 기지국의 선택에 따라서 각 셀의 기준 부하가 수렴하는 최적 기준 부하를 계산하는 단계를 포함하고, 상기 변경하는 단계는 주파수 대역폭과 각 셀의 최적 기준 부하를 변수로 가지고 있는 목적 함수를 이용하여 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 결정하는 단계는 상기 목적 함수의 값이 수렴할 때까지 상기 사용자 단말이 연결할 기지국을 변경하면서 최적 기준 부하를 계산하는 단계와 상기 주파수 대역폭을 결정하는 단계를 반복하는 단계를 포함하며, 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭은 상기 목적 함수의 값이 수렴할 때의 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭으로 결정될 수 있다.

[0011] 상기 목적 함수는 플로우의 평균 전송 지연 시간을 최소화하는 최적화 모델을 포함할 수 있다.

[0012] 상기 계산하는 단계는 사용자 단말이 거리에 따라서 기지국에 연결되면 각 셀의 최적 기준 부하를 계산하는 단계를 포함하고, 상기 변경하는 단계는 주파수 대역폭과 각 셀의 최적 기준 부하를 변수로 가지고 있는 목적 함수를 이용하여 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 다른 한 실시 예에 따르면, 복수의 셀을 포함하는 통신 시스템에서 각 셀의 자원 할당 장치가 제공된다. 자원 할당 장치는 제어부, 그리고 통신부를 포함한다. 상기 제어부는 전체 주파수 대역폭을 복수의 주파수 대역폭으로 나누고, 상기 복수의 주파수 대역폭을 인접 셀간 상호 배타적으로 상기 복수의 셀에 각각 할당하며, 각 셀의 기준 부하와 상기 각 셀을 관리하는 기지국의 전송 속도에 따라서 상기 각 셀의 주파수 대역폭을 결정한다. 그리고 상기 통신부는 상기 각 셀의 기준 부하를 인접 셀과 교환한다.

[0014] 상기 제어부는 상기 각 셀의 기준 부하에 비례하여 상기 각 셀의 주파수 대역폭을 결정할 수 있다.

[0015] 상기 제어부는 주파수 대역폭과 각 셀의 기준 부하를 변수로 가지고 있는 목적 함수를 이용하여 상기 복수의 셀의 주파수 대역폭을 결정하며, 상기 목적 함수는 플로우의 평균 전송 지연 시간을 최소화하는 최적화 모델을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명의 실시 예에 의하면, 다중 셀로 구성되는 셀룰러 통신 시스템에서 셀간 간섭을 효과적으로 제거할 수 있다.

[0017] 또한 기지국간 부하에 따라서 주파수 대역폭을 적응적으로 조절함으로써 자원 이용 효율을 개선할 수 있으며, 사용자의 체감 품질을 향상시킬 수 있는 효과를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 셀룰러 통신 시스템의 일 예를 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 주파수 재사용 방식을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법을 설명하기 위한 시스템 모델을 나타낸 도면이다.

도 4는 플로우 레벨의 큐잉 모델의 일 예를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법의 일 예를 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법의 다른 예를 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법의 성능 결과인 평균 전송 지연 시간의 CDF(cumulative density function)를 나타낸 그래프도이다.

도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치가 자원 할당을 수행하기 전의 트래픽 밀도를 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치가 자원 할당 시 스펙트럼 브리딩 알고리즘과 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘을 함께 수행한 결과의 트래픽 밀도를 나타낸 도면이다.

도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치가 자원 할당 시 스펙트럼 브리딩 알고리즘만 수행한 결과의 트래픽 밀도를 나타낸 도면이다.

도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치가 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘만 고려한 결과의 트래픽 밀도를 나타낸 도면이다.

도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 시 알고리즘의 평균 반복 회수에 대한 평균 전송 지연 시간을 나타낸 도면이다.

도 13은 트래픽이 증가하는 상황에서 서로 다른 자원 할당 방법의 성능을 비교한 도면이다.

도 14는 본 발명의 실시 예에 따른 스펙트럼 브리딩 알고리즘으로 얻은 평균 전송 지연 시간과 이론적으로 얻은 수치(Exhaustive Search)를 비교한 그래프도이다.

도 15는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 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.
- [0020] 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.
- [0021] 이제 본 발명의 실시 예에 따른 통신 시스템에서의 자원 할당 방법 및 장치에 도면을 참고로 하여 상세하게 설명한다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 셀룰러 통신 시스템의 일 예를 나타낸 도면이다.
- [0023] 도 1을 참고하면, 셀룰러 통신 시스템은 복수의 셀(C1, C2, C3)을 포함한다. 셀룰러 통신 시스템에서 인접 셀간 간섭을 줄이는 방법으로 주파수 재사용(frequency reuse) 방식을 사용한다. 주파수 재사용 방식은 시간과 주파수의 2차원 영역으로 정의되는 무선 자원 구조에서 주파수 자원을 분할하고, 인접 셀에 주파수 자원을 상호 배타적으로 할당함으로써 셀간 간섭을 제거하는 방식이다. 이러한 주파수 재사용 방식은 주파수 재사용 계수를 사용한다. 주파수 재사용 계수는 셀룰러 시스템에서 전체 주파수 대역을 몇 개의 셀에 나누어 주는가를 나타내는 것으로 셀 수를 말한다.
- [0024] 주파수 재사용 방식은 부분 주파수 재사용(fractional frequency reuse, FFR) 방식을 포함할 수 있다. FFR 방식은 셀을 중심 영역(center region)과 경계 영역(cell edge)으로 구분하고, 중심 영역에 위치한 단말들과 경계 영역에 위치한 단말들의 주파수 재사용 계수를 다르게 설정한다.
- [0025] 도 1에서는 주파수 재사용 계수가 3인 3 섹터 셀(sectored cell)인 경우에 셀 클러스터의 셀 배치의 일 예를 도시하였다.
- [0026] 셀(C1, C2, C3)은 각각 기지국(10, 20, 30)을 포함할 수 있다.
- [0027] 기지국(10, 20, 30)은 각각 무선 자원을 이용하여 셀(C1, C2, C3) 내 사용자 단말과 통신한다.

[0028] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 주파수 재사용 방식을 설명하기 위한 도면이다.

[0029] 도 2를 참고하면, 각 셀(C1, C2, C3)의 자원 할당 장치는 전체 주파수 대역폭(w_{sys})을 복수의 주파수 대역폭($w1, w2, w3$)으로 나누고, 복수의 주파수 대역폭($w1, w2, w3$)을 인접 셀간 간섭이 발생되지 않도록 인접 셀간 상호 배타적으로 복수의 셀(C1, C2, C3)에 각각 할당한다. 이때 각 셀(C1, C2, C3)의 자원 할당 장치는 셀(C1, C2, C3)의 부하에 따라서 주파수 대역폭($w1, w2, w3$)을 적응적으로 변경한다. 부하는 트래픽 밀도를 포함할 수 있다.

[0030] 자원 할당 장치는 플로우의 평균 전송 지연 시간을 최소화하는 문제를 자원 할당 방법의 목적 함수(object function)로 정의한다. 이하에서는 설명의 편의상 하향링크(down link)를 기준으로 설명하며, 상향링크(up link)에서도 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법이 적용될 수 있다.

[0031] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법을 설명하기 위한 시스템 모델을 나타낸 도면이고, 도 4는 플로우 레벨의 큐잉 모델의 일 예를 나타낸 도면이다.

[0032] 도 3을 참고하면, 하나의 셀 클러스터는 전체 주파수 대역폭(w_{sys})을 나누어 사용하는 기지국들의 집합체로서, 예를 들어, 도 2에서 하나의 셀 클러스터는 기지국(10, 20, 30)을 포함할 수 있다. 통신 시스템의 기지국 집합을 B라 하고, 기지국 집합 B가 서비스를 제공하는 지역을 $L(L \subset \mathbb{R}^2)$ 이라 하며, 그 지역 안에서의 한 지점의 위치를 $x(x \in L)$ 라 하면, 하나의 셀 클러스터 k는 $k \subset B$ 가 된다.

[0033] 파일 전송과 같은 데이터 전송 플로는 단위 지역에 포아송(Poisson) 분포 $\lambda(x)$ 를 따르며 발생하고, 평균 파일 크기는 $1/\mu(x)$ 이라고 할 때, 한 지점 x에서의 트래픽 밀도 $\gamma(x)$ 는 수학식 1과 같이 정의된다. 이때 $\gamma(x) < \infty$ 라고 가정한다.

수학식 1

$$\gamma(x) := \frac{\lambda(x)}{\mu(x)}$$

[0035] x 위치에서 사용자 단말의 전송 속도 즉, 기지국(i)의 전송 속도 $c_i(x, w_i)$ 는 샤논(Shannon)의 법칙에 의해 수학식 2와 같이 구해질 수 있다.

수학식 2

$$c_i(x, w_i) = w_i \log_2(1 + SINR_i(x))$$

[0037] 이때 $SINR_i(x)$ 는 사용자 단말이 x 위치에서 간섭 및 잡음을 고려하여 기지국(i)에서 보낸 신호에 대한 수신 신호 대 간섭 및 잡음 비율이다. 이때 간섭을 줄이기 위해 FFR이 사용되었다고 가정한다. 가우시안 모델과 같은 고정된 간섭 모델을 사용하면 사용자 단말에 영향을 미치는 모든 간섭 전력은 사용자 단말이 위치한 지역에 의해 결정되며, $SINR_i(x)$ 는 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$SINR_i(x) = \frac{P_i g_i(x)}{\sigma^2 + I_i(x)}$$

[0039] 여기서, $P_i(W/Hz)$ 는 기지국(i)의 송신 전력 스펙트럴 밀도이고, $g_i(x)$ 는 x 위치의 사용자 단말이 기지국(i)으

로부터 경로 손실 및 섀도잉(shadowing) 등으로 인한 신호 감쇄에 따른 전체 채널 이득으로 정의한다. 이때 빠른 페이딩(fast fading)은 $g_i(x)$ 를 결정함에 있어서 고려되지 않는 것으로 간주한다. σ^2 는 잡음 전력 스펙트럼 밀도이고, $I_i(x)$ 는 x 위치에서 사용자 단말이 갖는 평균 간섭 전력 밀도이다. $c_i(x, w_i)$ 는 위치에 따라 결정되며 기지국(i)으로부터의 거리가 중요한 것은 아니다. 예를 들어, 심한 섀도잉 현상에 의해 $g_i(x)$ 가 매우 작은 위치에서는 $c_i(x, w_i)$ 또한 작다. 따라서 $c_i(x, w_i)$ 로 섀도잉 현상도 살펴 볼 수 있다.

기지국(i)의 부하 밀도 $\rho_i(x, w_i)$ 는 사용자 단말들이 유발하는 트래픽의 밀도로, 수학적 4와 같이 x 위치에서 기지국(i)으로부터 일정 시간 동안 $\gamma(x)$ 의 트래픽 밀도로 정의된다.

수학적 4

$$\rho_i(x, w_i) := \frac{\gamma(x)}{c_i(x, w_i)}$$

이때 $\rho_i(x, w_i)$ 의 최소 값 $\min_i \rho_i(x, w_i)$ 는 유한한 값인 것으로 가정한다. 즉, 각 위치에 적어도 하나의 기지국에 의해서 데이터 전송이 이루어질 수 있다고 가정한다.

다음, 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법의 목적 함수에 대해 정의한다.

본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법은 시스템 비용 함수(system cost function)가 주어졌을 때, 이 시스템 비용을 최소화하기 위하여 사용자 단말의 전송 속도와 기지국의 부하 밀도를 고려하여 주파수 대역폭 w 의 최적 값을 찾고자 하는 문제로 정의된다. 이를 위해, 먼저 $p_i(x)$ 가 정의된다. $p_i(x)$ 는 x 위치에서 데이터 전송이 기지국(i)에서 일어날 확률 즉, 부하 발생 확률을 나타낸다.

문제를 구체화하여 보면, 한 셀 클러스터 내의 기지국들의 부하 벡터를 $\rho(w) = (\rho_1(w_1), \dots, \rho_b(w_b))$ 로 정의하면, 부하 벡터의 유효 부하 집합 F 는 수학적 5와 같이 주파수 대역폭 $w = (w_1, \dots, w_b)$ 과 관련이 있다.

수학적 5

$$\begin{aligned} F(w) = & \left\{ \rho(w) \mid \int_L \rho_i(x, w_i) p_i(x) dx \right\} \\ & 0 \leq \rho_i(w_i) \leq 1 - \epsilon, \\ & \sum_{i \in B} p_i(x) = 1, \\ & 0 \leq p_i(x) \leq 1, \forall i \in B, \forall x \in L \\ & \sum_{i \in k} w_i = w_{sys}, \forall k \subset B \end{aligned}$$

수학적 5에서 ϵ 는 매우 작은 상수이다. $\rho(w)$ 는 그 위치에서의 부하 발생 확률 $p(x) = (p_1(x), \dots, p_b(x)), \forall x \in L$ 로 정의될 수 있다. 그리고 $\sum_{i \in B_i} w_i = w_{sys}$ 는 시스템의 전체 스펙트럼 대역폭(w_{sys})을 하나의 셀 클러스터 안의 기지국들이 서로 겹치지 않도록 사용하는 것을 의미한다. 이때 k 는 하나의 셀 클러스터 내 기지국의 수이다.

수학적 5와 같이 $F(w)$ 는 주파수 대역폭 w 에 대한 함수로, 트래픽의 공간적인 분포에 따라 유효한

$\rho(w) = (\rho_1(w_1), \dots, \rho_b(w_b))$ 의 집합을 결정하는 함수이다. 예를 들면, 트래픽이 많은 곳에는 더 많은 주파수 대역폭이 할당되고, 트래픽이 적은 곳에는 적은 주파수 대역폭이 할당된다. 이때 $F(w)$ 는 w 가 주어졌을 때 볼록(convex) 집합이다.

[0049] 이에 목적 함수는 수학식 6과 같이 정의될 수 있다.

수학식 6

$$\min_{\rho(w), w} \phi_{\alpha}(\rho(w)) = \sum_{i \in B} \frac{(1 - \rho_i(w_i))^{1-\alpha}}{\alpha - 1}$$

$$s.t. \quad \rho(w) \in F(w)$$

[0050]

[0051] 수학식 6에서 α 는 0 이상이며, 원하는 정도로 부하 균형(load balancing)을 특정 짓는 파라미터이다. $\alpha=1$ 일

때, 목적 함수는 $\sum_i \log(\frac{1}{1-\rho_i})$ 로 정의될 수 있다.

[0052] 파일 전송과 같은 파일 전송 요구와 같이 새로운 전송이 포아송 분포로 랜덤하게 발생하는 다이나믹한 시스템이라고 가정하면, 이 시스템의 다이나믹한 특성은 도 4와 같이 플로우 레벨(Flow-level)의 큐잉 모델(Queueing Model)로 표현될 수 있다.

[0053] $N_i(t)$ ($t \geq 0$)는 랜덤 프로세스로 t 시간일 때 기지국(i)에서 전송되고 있는 파일의 수를 나타낸다. 만약, t 시간에서 시스템의 통계적 특성이 변하지 않는다면, N_i 의 변하지 않는 분포 π_i 는 멀티클래스 공유 프로세스 시스템인 M/GI/1의 $\pi[\pi_i(n_i) = (1-\rho_i)\rho_i^{n_i}]$ 와 동일하다. 여기서 클래스는 각 사용자 단말들의 위치에 따라 결정되며, M/GI/1 멀티클래스 공유 프로세스 시스템은 각 사용자 단말들이 시간 상에서 공평하게 서로 다른 크기의 파일을 서로 다른 전송 속도로 서비스 받는 것을 의미한다.

[0054] 본 발명의 실시 예에서는 연속적 공간 L 상에서 전반적인 전송 지연을 최소화시키는 문제의 수학적 모델링을 위한 무한히 많은 클래스를 가정한다. 큐잉 모델을 통해 기지국(i)에서 평균적으로 처리하는 전송 플로우 개수 $E[N_i]$ 는 수학식 7과 같이 정의될 수 있다.

수학식 7

$$E[N_i] = \frac{\rho_i}{1-\rho_i}$$

[0055]

[0056] 공간 L 상에 존재하는 전체 플로우 개수 $E[N]$ 은 수학식 8과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 8

$$E[N] = \sum_i E[N_i] = \sum_i \frac{\rho_i}{1-\rho_i}$$

[0057]

[0058] 리틀의 공식(Little's formula)에 의해 평균적으로 처리하는 플로우 개수를 최소화시키는 것이 평균적인 지연(Delay) 속도를 최소화시키는 것과 같다. 즉, $\sum_i \frac{\rho_i}{1-\rho_i}$ 를 최소화시키는 것이 $\alpha=2$ 일 때의 $\sum_i (\frac{\rho_i}{1-\rho_i} + 1) = \sum_i \frac{1}{1-\rho_i}$ 와 동일하다.

[0059] 즉, 각 사용자 단말이 기지국(i)으로부터 공평하게 서비스를 받는다고 할 때, 수학식 6의 목적 함수에서 $\alpha=2$ 인 경우가 전반적인 전송 지연을 최소화시킨다고 할 수 있다.

[0060] 주파수 대역폭 w 는 주파수 분할을 결정하며, 기지국(i)의 부하 밀도에 따라 결정된다. 따라서 트래픽 밀도의 변화에 따라 주파수 대역폭이 변경되어야 한다.

[0061] 수학식 6에 도시한 바와 같이, 목적 함수 $\phi_\alpha(\rho)$ 는 $\rho(w) \in F(w)$ 에 대한 함수이므로, ϕ_α 는 w 의 함수가 된다. ϕ_α 는 시스템 부하 벡터 ρ 에 대한 볼록 함수로 간단할 수 있으나, ρ_i 는 수학식 2 내지 수학식 4에 따라서 w_i 와 $p_i(x)$ 에 대한 함수이다. 뿐만 아니라 $p_i(x)$ 는 도 4에서와 같이 w 와 ρ 에 영향을 받는다. 그러므로 목적 함수가 w 와 ρ 에 어떻게 연관되어 있는지 알기가 어려울 수 있다. 또한 F 도 w 에 대한 함수이다. 따라서 w , ρ , $p_i(x)$ 및 $F(w)$ 가 상호 의존적으로 얽혀 있어 목적 함수를 푸는 것은 매우 어려운 일이다.

[0062] 본 발명의 실시 예에서는 목적 함수를 수식적으로 간단히 하기 위해서 w 와 $p_i(x)$ 를 분리한다.

[0063] 수학식 2의 $c_i(w)$ 대신에 수학식 9에 따라서 w_i 와 무관한 기지국(i)의 스펙트럼 효율(spectrum efficiency) $\tilde{c}_i$ 을 계산한다.

수학식 9

[0064]
$$\tilde{c}_i(x) = \log_2(1 + \text{SINR}_i(x))$$

[0065] 이때 기지국(i)의 송신 전력은 단위 대역폭에 비례한다. 따라서 SINR은 사용하는 주파수 대역폭과 무관하게 일정하다. 즉, 기지국(i)이 더 많은 주파수 대역폭을 사용한다면 주파수 대역폭에 비례적으로 더 많은 송신 전력을 사용하는 것을 의미한다.

[0066] 주파수 대역폭 w_i 를 갖는 기지국(i)이 x 위치에 제공하는 전송 속도는 $c_i(x, w_i) = w_i \tilde{c}_i(x)$ 으로 정해진다. 그리고 w_i 를 고려하지 않은 기준 부하 밀도 $\tilde{\rho}_i(x)$ (reference load density)는 수학식 10과 같이 정의된다.

수학식 10

[0067]
$$\tilde{\rho}_i(x) = \frac{\gamma(x)}{\tilde{c}_i(x)}$$

[0068] 이와 같이, $c_i(x, w_i)$ 대신 스펙트럼 효율을 나타내는 데 $\tilde{c}_i$ 가 사용되며, $\tilde{\rho}_i(x)$ 는 수학식 11과 같이 w_i 와 무관하며 대신 $p_i(x)$ 에 의해서만 결정된다.

수학식 11

[0069]
$$\tilde{\rho}_i = \int_L \tilde{\rho}_i(x) p_i(x) dx$$

[0070] 수학식 11에서 $\tilde{\rho}_i$ 는 기지국(i)에서의 기준 부하이다. 기지국(i)에서의 기준 부하는 w_i 와 무관하고 트래픽 밀도

$\gamma(x)$ 가 정해져 있을 때 오직 $p_i(x)$ 에 대한 함수가 된다. $\tilde{\rho}_i(x)$ 는 수학적식 12와 같은 관계를 갖는다.

수학적식 12

$$\rho_i(x) = \frac{\tilde{\rho}_i(x)}{w_i}$$

[0071]

[0072] 따라서 수학적식 13과 같이 기지국(i)의 부하 ρ_i 또한 w_i 에 독립적인 $\tilde{\rho}_i$ 으로 계산될 수 있다.

수학적식 13

$$\rho_i = \frac{\tilde{\rho}_i}{w_i}$$

[0073]

[0074] 그러면, 목적 함수는 주파수 대역폭 w 와 기준 부하 $\tilde{\rho}_i$ 를 이용하여 새로운 $v = (w, \tilde{\rho})$ 를 정의할 수 있다. 여기서, v 는 w 에서 차원을 더 높인 벡터를 나타낸다.

[0075] 플로우 레벨의 지연 시간을 최소화시키기 위해 $\alpha=2$ 인 경우만을 고려한다. 이에 수학적식 6의 목적 함수는 수학적식 14와 같이 나타낼 수 있다.

수학적식 14

$$\begin{aligned} \min_{v \in V} \phi(v) &= \sum_{i \in B} \frac{w_i}{w_i - \tilde{\rho}_i} \\ s.t. \quad v &= (w, \tilde{\rho}), \\ \sum_{i \in k} w_i &= w_{sys}, \quad \forall k \subset B \\ \tilde{\rho}_i &= \int_L \tilde{\rho}_i(x) p_i(x) dx, \\ 0 &\leq \tilde{\rho}_i \leq w_i - \epsilon, \\ \sum_{i \in B} p_i(x) &= 1, \\ 0 &\leq p_i(x) \leq 1, \quad \forall x \subset L \end{aligned}$$

[0076]

[0077] 수학적식 14에서 ϵ 는 0보다 크고 매우 작은 상수이다.

[0078] 다음으로, 수학적식 14에서 주어진 집합 V 가 볼록 집합(convex set)임을 보이고자 한다.

[0079] 서로 같지 않은 두 벡터($v^1 \neq v^2$)가 있다. $v^1 = (w^1, \tilde{\rho}^1) \in V$ 이고, $v^2 = (w^2, \tilde{\rho}^2) \in V$ 이다. 기지국(i)에 $\tilde{\rho}_i^1 = \int \tilde{\rho}_i^1(x) p_i^1(x) dx$ 와 $\tilde{\rho}_i^2 = \int \tilde{\rho}_i^2(x) p_i^2(x) dx$ 를 만족시키는 두 벡터 $[p^1(x) = (p_1^1(x), \dots, p_b^1(x)), p^2(x) = (p_1^2(x), \dots, p_b^2(x))]$ 가 생긴다. 이에 v^1 과 v^2 의 볼록 결합(convex combination)으로 $v = (w, \tilde{\rho})$ 를 만들 수 있다. 예를 들어, $\theta \in [0, 1]$ 에 대해 $v = \theta v^1 + (1 - \theta) v^2$ 으로 정의하면, 모든 기지국(i)에 대해 w_i 와 $\tilde{\rho}_i$ 는 각각 수학적식 15 및 수학적식 16과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 15

[0080]

$$w_i = \theta w_i^1 + (1 - \theta) w_i^2$$

수학식 16

[0081]

$$\tilde{\rho}_i = \theta \tilde{\rho}_i^1 + (1 - \theta) \tilde{\rho}_i^2 = \int \tilde{\rho}_i(x) [\theta p_i^1(x) + (1 - \theta) p_i^2(x)] dx$$

[0082]

이때 $p_i(x)$ 는 $\tilde{\rho}$ 와 수학식 14에 의해 수학식 17과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 17

[0083]

$$p_i(x) = \theta p_i^1(x) + (1 - \theta) p_i^2(x)$$

[0084]

그러므로, v 는 실현 가능하고 V 는 볼록 집합이 된다. 이때 V 는 볼록 집합이지만, $\phi(v)$ 의 볼록성은 보장되지 않는다.

[0085]

만약, $\phi(v)$ 가 준볼록(quasi-convex) 함수라면, 글로벌한 최소값이 존재하게 되며, 그에 따라 다양한 방법으로 최적의 해(solution)를 찾을 수 있다. 하지만 $\phi(v)$ 는 $v \in V$ 에서 항상 준볼록(Quasi-convexity) 특성을 만족하는 것이 아니다. 실험 결과, 약 2% 미만의 경우에서 만족하지 못하는 것을 확인하였다. 때문에 본 발명의 실시 예에서는 반복적인 동작으로 수렴하는 일정한 값을 찾으며, 이 값이 최적의 값일 가능성이 매우 높다.

[0086]

이상에서는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법의 목적 함수를 정의하였다. 그러면, 이 목적 함수를 이용하여 자원을 할당하는 방법에 대해 도 5를 참고로 하여 자세하게 설명한다.

[0087]

도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법의 일 예를 나타낸 도면이다.

[0088]

도 5를 참고하면, 기지국(i)의 자원 할당 장치는 기지국(i)의 주파수 대역폭 w_i 를 초기화한다(S502). 여기서, i 는 1, ..., b 이다. 이때 w_i 는 w_{sys}/k 로 초기화될 수 있으며, k 는 하나의 셀 클러스터에 포함되어 있는 기지국의 수로, $b=k$ 일 수 있다.

[0089]

이와 같이 주파수 대역폭 w_i 가 주어지면, x 위치에서 사용자 단말이 연결할 기지국을 선택하는 사용자 연결(user association)을 수행한다.

[0090]

즉, w_i 가 정해져 있다면, 원래 풀고자 하였던 주파수 대역폭과 기지국의 기준 부하를 찾는 문제는 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘을 사용하여 셀의 부하를 균형화시키는 것으로 간단해질 수 있다.

[0091]

사용자 연결을 위한 분산 알고리즘에 대해서 설명하면, 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘은 일정 기간마다 반복하는 데, m 번째 반복 횟수에서 시스템 안의 부하를 $\rho^{(m)}$ 으로 나타내고, 기지국들이 전 지역으로 $\rho^{(m)}$ 을 전달한다고 가정한다. 이때, x 위치에서 전송을 하고자 하는 새로운 요구가 생긴다면, 수학식 18과 같은 방법으로 사용자 단말에 의해 사용자 단말을 연결할 기지국이 선택될 수 있다(S504).

수학식 18

$$i(x) = \underset{j \in B}{\operatorname{argmax}} c_j(x)(1 - \rho_j^{(m)})^\alpha, \forall x \in L$$

[0092]

[0093] 즉, 새롭게 공간 $P^{(m)}$ 을 $\{L_1^{(m)}, \dots, L_b^{(m)}\}$ 으로 나누고, m 번째 반복 횟수에서 기지국(i)이 서비스하는 지역을 $L_i^{(m)}$ 이라 하면, $L_i^{(m)}$ 은 수학식 19와 같이 전 지역으로 브로드캐스트하는 부하 $\rho^{(m)}$ 에 영향을 받는다.

수학식 19

$$L_i^{(m)} = \{x \in L | i = \underset{j \in B}{\operatorname{argmax}} c_j(x) [1 - \rho_j^{(m)}]^\alpha\}, \forall i \in B$$

[0094]

[0095] 이때, 기지국(i)은 부분적으로 혼잡한 시간에 대해서 간단히 평균을 내어 $\rho_i^{(m+1)}$ 를 계산하고, 이를 또 전 지역의 사용자 단말에게 알려준다.

[0096] 기지국(i)의 자원 할당 장치는 계산한 $\rho_i^{(m+1)}$ 를 업데이트하고(S506), 인접 기지국으로 $\rho_i^{(m+1)}$ 를 전송한다. 또한 기지국(i)의 자원 할당 장치는 인접 기지국으로부터 인접 기지국이 계산한 부하를 수신한다.

[0097] 기지국(i)의 부하 및 인접 기지국의 부하를 토대로 수학식 18의 목적 함수에서 시스템의 부하 벡터 ρ 가 시스템의 최적 부하 벡터 $[\rho^*(w) = (\rho_1^*(w), \dots, \rho_b^*(w))]$ 로 수렴하는지 판단한 후에(S508), 다시 단계(S504, S506)를 반복한다.

[0098] 이러한 반복 동작은 수학식 18의 목적 함수에서 시스템의 부하 벡터 ρ 가 시스템의 최적 부하 벡터 $[\rho^*(w) = (\rho_1^*(w), \dots, \rho_b^*(w))]$ 로 수렴할 때까지 반복된다. 수학식 18의 목적 함수가 일정 값으로 수렴되면, 최적 부하 벡터 $[\rho^*(w) = (\rho_1^*(w), \dots, \rho_b^*(w))]$ 가 구해진다.

[0099] 이와 같이, 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘을 통해서 시스템의 최적 부하 벡터 $[\rho^*(w) = (\rho_1^*(w), \dots, \rho_b^*(w))]$ 가 정해지면, 자원 할당 장치는 시스템의 최적 부하 벡터 $[\rho^*(w) = (\rho_1^*(w), \dots, \rho_b^*(w))]$ 를 이용하여 최적 기준 부하 $\tilde{\rho}^*(w)$ 를 계산한다(S510).

[0100] $p_i(x)$ 가 처음에 정해져 있지만, 수학식 18에 의해 결론적으로 사용자 단말이 연결할 기지국을 선택하는 방법이 정해진다.

[0101] 최적 기준 부하 $\tilde{\rho}^*(w)$ 가 주어지면, 기지국(i)의 자원 할당 장치는 스펙트럼 브리딩 (Spectrum breathing) 알고리즘을 수행한다. 스펙트럼 브리딩 알고리즘은 트래픽 부하가 많은 셀에 트래픽 부하가 적은 다른 셀의 주파수 대역을 더 할당하기 위한 알고리즘이다. 이러한 스펙트럼 브리딩 알고리즘에 대해 설명한다.

[0102] 최적 기준 부하 $\tilde{\rho}^*(w)$ 가 주어지면, 수학식 14의 목적 함수는 w_i 에 대해 볼록(convex) 함수가 된다. 라그랑지 승수(Lagrange Multiplier) λ 를 사용하여 최적의 주파수 대역폭을 찾는다. 라그랑지법(Lagrangian) 및 카루시-쿤-터커(KKT) 조건은 수학식 20 및 수학식 21과 같다.

수학식 20

$$L(w, \lambda) = \sum_{i \in k} \frac{w_i}{w_i - \rho_i} + \lambda (\sum_{i \in k} w_i - w_{sys})$$

수학식 21

$$\frac{\partial L}{\partial w_i} = \frac{-\rho_i}{(w_i - \rho_i)^2} + \lambda = 0$$

최적의 라그랑지 승수를 λ^* 라 하면, 이때 최적의 주파수 대역폭 w^* 은 수학식 22와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 22

$$w_i^* = \rho_i + \sqrt{\frac{\rho_i}{\lambda^*}}$$

그러면, $\sum_i w_i^* = w_{sys}$ 의 조건을 이용하여 수학식 23과 같이 λ^* 가 구해질 수 있다.

수학식 23

$$\lambda^* = \left(\frac{\sum_{i \in k} \sqrt{\rho_i}}{w_{sys} - \sum_{i \in k} \rho_i} \right)^2$$

따라서, 조건부로 찾은 최적의 주파수 대역폭 $w^*(\tilde{\rho})$ 는 수학식 24와 같이 결정될 수 있다.

수학식 24

$$w_i^*(\tilde{\rho}) = \rho_i + \frac{\sqrt{\rho_i}}{\sum_{i \in k} \sqrt{\rho_i}} (w_{sys} - \sum_{i \in k} \rho_i)$$

즉, 기지국(i)의 자원 할당 장치는 최적 기준 부하 밀도 $\tilde{\rho}^*(w)$ 가 주어지면, 수학식 24를 통해서 주파수 대역폭 $w_i^*(\tilde{\rho})$ 을 계산한다(S512).

수학식 24는 기지국(i)의 기준 부하 $\tilde{\rho}_i$ 가 클 때 사용하는 주파수 대역폭이 증가하는 것을 의미한다. 기지국(i)

의 기준 부하 $\tilde{\rho}_i$ 가 크다는 것은 기지국(i)가 혼잡하는 것을 의미하고, 이에 기지국(i)의 자원 할당 장치는 기지국(i)에 더 많은 주파수를 할당하게 된다.

- [0113] 기지국(i)의 자원 할당 장치는 기지국(i)에 대한 최적의 주파수 대역폭 $w_i^*(\tilde{\rho})$ 이 정해지면, 주파수 대역폭 w 를 $w_i^*(\tilde{\rho})$ 로 업데이트한다(S514).
- [0114] 기지국(i)의 자원 할당 장치는 주파수 대역폭 w 를 업데이트한 후, 수학적 14의 목적 함수에서 주파수 대역폭 w 가 일정 값으로 수렴하지 않으면(S516), 다시 사용자 연결 알고리즘과 스펙트럼 브리딩 알고리즘을 반복한다.
- [0115] 즉, 사용자 연결 알고리즘과 스펙트럼 브리딩 알고리즘의 반복 동작은 수학적 14의 목적 함수에서 w 가 일정 값으로 수렴될 때까지 수행된다. 수학적 14의 목적 함수가 일정 값으로 수렴되면, ρ_i^* 가 구해지고 이에 따라서 최적의 주파수 대역폭 w_i^* 가 결정된다(S518).
- [0116] 셀 클러스터 내의 각 기지국의 자원 할당 장치는 도 5의 알고리즘에 따라 동시에 주파수 대역폭을 조절한다. 이렇게 하면, 기지국간 부하의 불균형이 생겼을 때 부하가 큰 기지국에 더 많은 주파수 대역폭을 사용할 수 있어서 기지국간 부하 균형을 유지할 수 있게 된다.
- [0117] 한편, 자원 할당 장치는 도 5와 달리 사용자 연결 과정 없이 스펙트럼 브리딩 알고리즘만으로 셀 클러스터 내의 해당 기지국의 주파수 대역폭을 조절할 수 있다. 이러한 실시 예에 대하여 도 6을 참고로 하여 설명한다.
- [0118] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법의 다른 예를 나타낸 도면이다.
- [0119] 도 6을 참고하면, 자원 할당 장치는 기지국(i)의 주파수 대역폭 w_i 를 초기화한다(S602).
- [0120] 다음, 자원 할당 장치는 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘을 수행하지 않고 스펙트럼 브리딩 알고리즘을 수행한다.
- [0121] 사용자 단말들이 각각 가까이 있는 기지국과 연결하였을 때 각 기지국(i)의 자원 할당 장치는 수학적 12 및 수학적 13을 토대로 최적 기준 부하 $\tilde{\rho}^*(w)$ 를 계산한다(S604).
- [0122] 각 기지국(i)의 자원 할당 장치는 최적 기준 부하 $\tilde{\rho}^*(w)$ 가 주어지면, 수학적 24를 통해서 주파수 대역폭 $w^*(\tilde{\rho})$ 을 계산한다(S606).
- [0123] 각 기지국(i)의 자원 할당 장치는 계산한 주파수 대역폭 $w^*(\tilde{\rho})$ 으로 주파수 대역폭을 업데이트한다(S608).
- [0124] 다음으로, 세 개의 기지국(BS1, BS2, BS3)이 2차원 상에 존재하고, 기지국(BS1, BS2, BS3)은 도 9 내지 도 11에 도시한 바와 같이 셀 경계에 있는 것으로 가정한다. 또한 기지국(BS1, BS2, BS3)의 최대 송신 전력은 40dBm이며, 전체 주파수 대역폭 w_{sys} 는 10MHz인 것으로 가정하고 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법을 시뮬레이션하여 그 성능 효과를 살펴본다.
- [0125] 먼저, 기지국(BS1, BS2, BS3)의 트래픽 불균형을 설정하기 위해 기지국(BS1, BS2, BS3)이 갖는 트래픽의 비율을 8:2:1로 설정하였고, 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법을 토대로 주파수 대역폭을 조절한 결과를 도 7 내지 도 11에 도시하였다.
- [0126] 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 방법의 성능 결과인 평균 전송 지연 시간의 CDF(cumulative density function)를 나타낸 그래프도이다.
- [0127] 도 7에서, (a)는 자원 할당 시 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘만 수행한 경우의 그래프이고, (b)는 스펙트럼 브리딩 알고리즘만 수행한 경우의 그래프이며, (c)는 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘과 스펙트럼 브리딩 알고리즘을 같이 수행한 경우의 그래프이다.
- [0128] x 위치에서 조건부적인 평균 전송 지연 시간은 수학적 25와 같이 구해질 수 있다.

수학식 25

$$E[D_i|X=x] = \frac{1}{\lambda(x)} * \frac{\rho_i(x)}{\rho_i} * \frac{\rho_i}{1-\rho_i} = \frac{1}{\mu(x)c_i(x)(1-\rho_i)}$$

[0129]

[0130] 수학식 25는 M/GI/1의 여러 계층 프로세서 공유 시스템 모델이다. 간단히 하기 위해 $1/\mu(x) = 1/\mu$ 정규화하였다.

[0131] 도 7을 참고하면, 주어진 부하에서 지연 시간의 비율을 보면 알 수 있듯이, 본 발명의 실시 예에 따른 스펙트럼 브리딩 알고리즘을 통해서 트래픽 부하가 집중된 기지국에 더 많은 주파수 대역폭을 할당함으로써, 셀의 가장 자리에 위치한 사용자 단말들의 성능이 좋아지게 된다.

[0132] 도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치가 자원 할당을 수행하기 전의 트래픽 밀도를 나타낸 도면이다. 도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치가 자원 할당 시 스펙트럼 브리딩 알고리즘과 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘을 함께 수행한 결과의 트래픽 밀도를 나타낸 도면이고, 도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치가 자원 할당 시 스펙트럼 브리딩 알고리즘만 수행한 결과의 트래픽 밀도를 나타낸 도면이며, 도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치가 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘만 고려한 결과의 트래픽 밀도를 나타낸 도면이다. 도 9 내지 도 11에서, 파란색에 가까울수록 트래픽 부하가 적은 것을 의미한다.

[0133] 자원 할당 장치가 자원 할당을 수행하기 전의 트래픽 밀도가 도 8에 도시한 바와 같다고 가정한다.

[0134] 도 9를 참고하면, 스펙트럼 브리딩 알고리즘과 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘을 함께 수행하여 각 셀의 주파수 대역폭을 조절한 결과, 트래픽이 골고루 분산되어 트래픽 밀도가 낮아지고, 시스템 전 지역으로 트래픽이 분산되어 셀의 경계가 도 8과 같이 자원 할당 전과 비슷해 진 것을 확인할 수 있다. 즉, 자원 할당 장치는 초기에 기지국(BS1, BS2, BS3)에 3.333MHz의 주파수 대역폭을 할당한다. 이후, 스펙트럼 브리딩 알고리즘을 통해 트래픽 부하가 큰 기지국(BS1)에 6.964MHz의 스펙트럼 대역폭을 할당하게 되고, 나머지 기지국(BS2, BS3)에 각각 1.962MHz 및 1.074MHz 대역폭을 할당하게 된다. 이로 인해 트래픽 부하가 집중된 곳에 효과적으로 주파수 대역폭을 할당함으로써, 셀의 가장 자리에 위치한 사용자 단말들의 성능이 좋아지게 된다.

[0135] 또한 도 10을 참고하면, 스펙트럼 브리딩 알고리즘만 수행하여 각 셀의 주파수 대역폭을 조절하여도 각 셀의 트래픽 밀도는 도 9와 매우 비슷하다는 것을 확인할 수 있다. 단지, 각 기지국(BS1, BS2, BS3)의 커버리지와 트래픽 밀도가 도 8과 약간 차이를 확인할 수 있다. 즉, 자원 할당 시 도 6과 같이 스펙트럼 브리딩 알고리즘만을 수행하여도 스펙트럼 브리딩 알고리즘과 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘을 함께 수행한 것과 비슷한 성능을 나타낼 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

[0136] 반면, 도 11을 참고하면, 자원 할당 시 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘만을 수행하면, 셀의 경계 부분에 트래픽이 몰려 있고, 이를 위해 셀의 경계선이 바뀌어져 있다는 것을 확인할 수 있다.

[0137] 이러한 도 9 내지 도 11을 통해서 스펙트럼 브리딩 알고리즘을 통한 자원 할당으로는 셀의 부하 불균형을 해소할 수 있으나, 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘만을 통한 자원 할당으로는 셀의 부하 불균형이 제대로 해소되지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

[0138] 도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 시 알고리즘의 평균 반복 회수에 대한 평균 전송 지연 시간을 나타낸 도면이다.

[0139] 도 12를 참고하면, 자원 할당 장치는 도 5와 같이 스펙트럼 브리딩 알고리즘과 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘을 수학식 14의 목적 함수가 소정의 값으로 수렴할 때까지 반복한다. 이때 알고리즘의 반복 횟수가 늘어남에 따라 169.8초에서 9.7초까지 평균 전송 지연 시간이 단축되는 것을 확인할 수 있다.

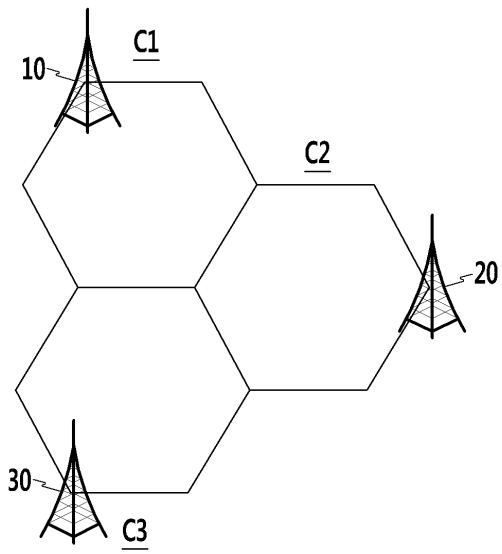
[0140] 다음으로, 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당의 성능을 살펴보기 위해 서로 다른 자원 할당 방법에서 셀의 부하에 따른 평균 전송 지연 시간을 도 13에 도시하였다.

[0141] 도 13은 트래픽이 증가하는 상황에서 서로 다른 자원 할당 방법의 성능을 비교한 도면이다.

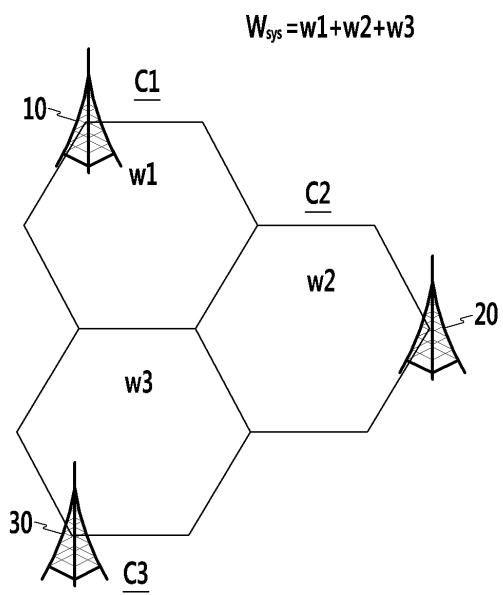
- [0142] 도 13에서, (a)는 자원 할당 시 기지국으로부터의 거리에 따라 서비스할 사용자 단말을 선택하는 정적인(static) 알고리즘을 수행한 경우의 셀의 부하에 따른 평균 전송 지연 시간을 나타낸 그래프이고, (b)는 자원 할당 시 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘의 경우, 셀의 부하에 따른 평균 전송 지연 시간을 나타낸 그래프이다. 그리고 (c)는 자원 할당 시 통합 알고리즘(사용자 연결을 위한 분산 알고리즘+스펙트럼 브리딩 알고리즘)을 수행하는 경우의 셀의 부하에 따른 평균 전송 지연 시간을 나타낸 그래프이며, (d)는 자원 할당 시 스펙트럼 브리딩 알고리즘만을 수행한 경우의 셀의 부하에 따른 평균 전송 지연 시간을 나타낸 그래프이다.
- [0143] 도 13의 (a) 내지 (d) 그래프를 보면, 정적인(static) 알고리즘, 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘, 통합 알고리즘, 그리고 스펙트럼 브리딩 알고리즘 증가함에 따라 평균 전송 지연 시간이 늘어나는 것을 알 수 있다. 이때 (a) 내지 (c)의 그래프를 비교하여 보면, 통합 알고리즘을 수행한 경우 성능 향상이 돋보이는 것을 알 수 있으며, (d) 그래프를 보면 알 수 있듯이, 통합 알고리즘을 수행한 경우나 스펙트럼 브리딩 알고리즘을 수행한 경우 거의 같은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.
- [0144] 통합 알고리즘을 사용한 경우를 살펴보면, 부하 크기 4인 경우에 스펙트럼 브리딩 알고리즘이 약 5배 이상 좋아진 것을 확인할 수 있다. 즉, 통합 알고리즘보다 복잡도가 낮은 스펙트럼 브리딩 알고리즘만으로도 충분히 성능 향상을 기대할 수 있다.
- [0145] 도 14는 본 발명의 실시 예에 따른 스펙트럼 브리딩 알고리즘으로 얻은 평균 전송지연 시간과 이론적으로 얻은 수치(Exhaustive Search)를 비교한 그래프도이다. 도 14에서는 트래픽을 증가시키면서 평균 전송 지연 시간을 측정하였다.
- [0146] 도 14를 보면, 스펙트럼 브리딩 알고리즘으로 얻은 결과(Proposed Method)가 이론적으로 얻은 결과와 거의 동일한 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다.
- [0147] 도 15는 본 발명의 실시 예에 따른 자원 할당 장치를 나타낸 도면이다.
- [0148] 도 15를 참고하면, 자원 할당 장치(100)는 통신부(110) 및 제어부(120)를 포함한다. 이러한 자원 할당 장치(100)는 셀 클러스터 내의 각 기지국(예를 들면, 도 1의 10, 20, 30)에 포함될 수 있다.
- [0149] 통신부(110)는 인접 기지국들과 통신을 수행한다. 특히 통신부(110)는
- [0150] 인접 기지국에게 결정된 대역폭의 정보 및 계산한 기준 부하를 인접 기지국으로 전송하고, 인접 기지국으로부터 인접 기지국이 계산한 기준 부하를 수신할 수 있다.
- [0151] 제어부(120)는 도 5 및 도 6을 참고로 하여 설명한 자원 할당을 위한 전반적인 동작을 수행한다. 특히 제어부(120)는 각 셀별로 공간상에 분포하는 트래픽 부하에 의해서 가변되는 상황에서, 플로우의 평균 전송 지연 시간을 최소화하기 위한 목적 함수를 이용하여 주파수 대역폭을 결정한다. 이를 위해 제어부(120)는 도 6과 같이 스펙트럼 브리딩 알고리즘만을 통해서 주파수 대역폭을 결정할 수 있다. 또한 제어부(120)는 도 5와 같이 사용자 연결을 위한 분산 알고리즘과 스펙트럼 브리딩 알고리즘을 반복하여 수행함으로써 주파수 대역폭을 결정할 수 있다.
- [0152] 이와 같이, 본 발명의 실시 예에 따른 셀 클러스터 내의 각 기지국은 자원 할당을 분산 처리할 수 있다.
- [0153] 본 발명의 실시 예는 이상에서 설명한 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현되는 것은 아니며, 본 발명의 실시 예의 구성에 대응하는 기능을 실현하는 프로그램 또는 그 프로그램이 기록된 기록 매체를 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 앞서 설명한 실시 예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야의 전문가라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.
- [0154] 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

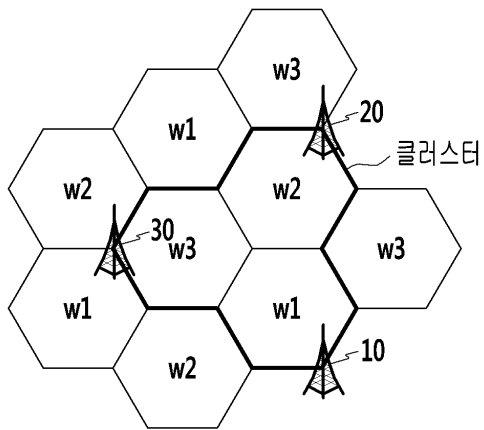
도면1



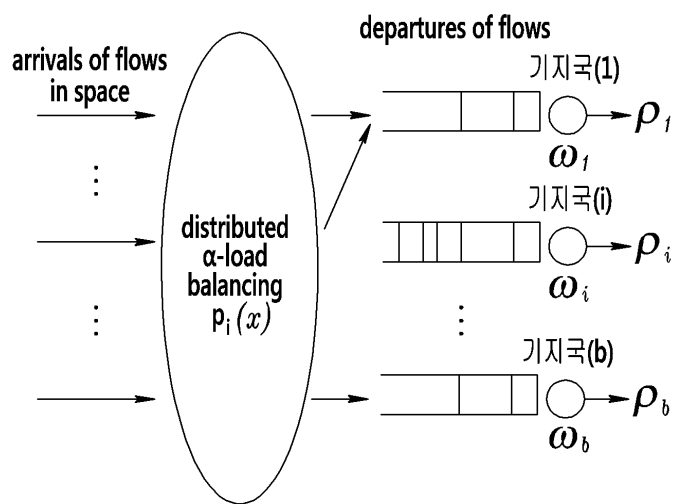
도면2



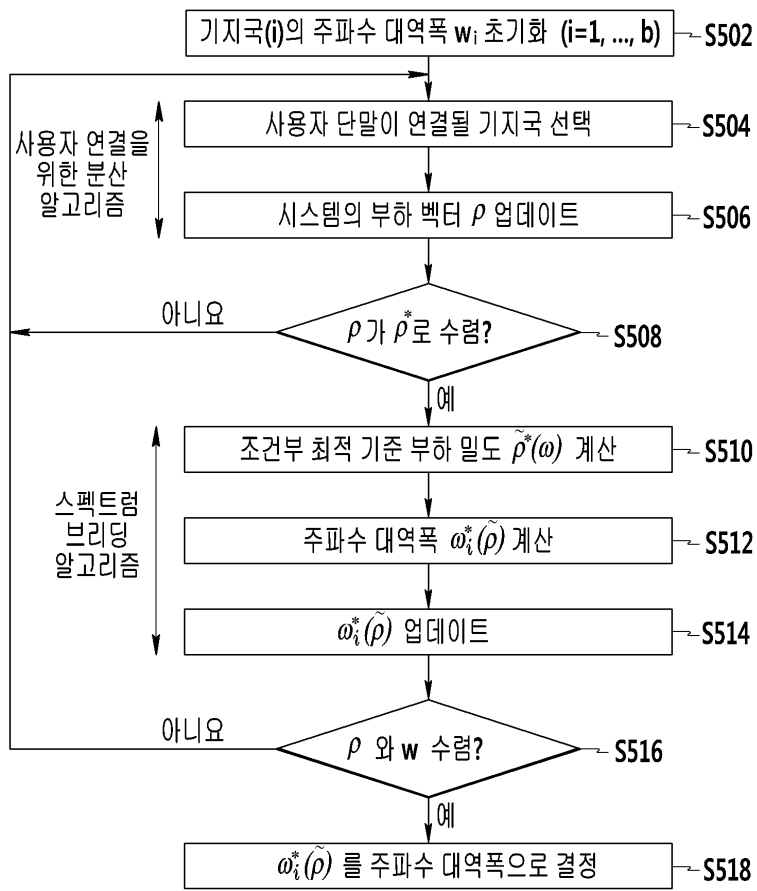
도면3



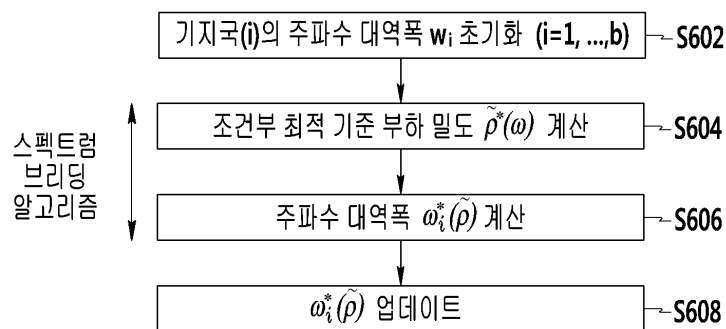
도면4



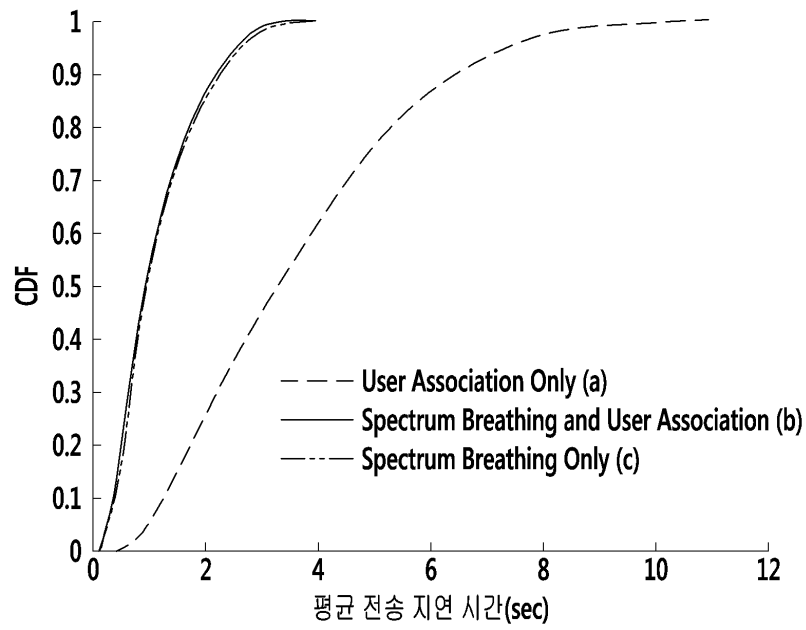
도면5



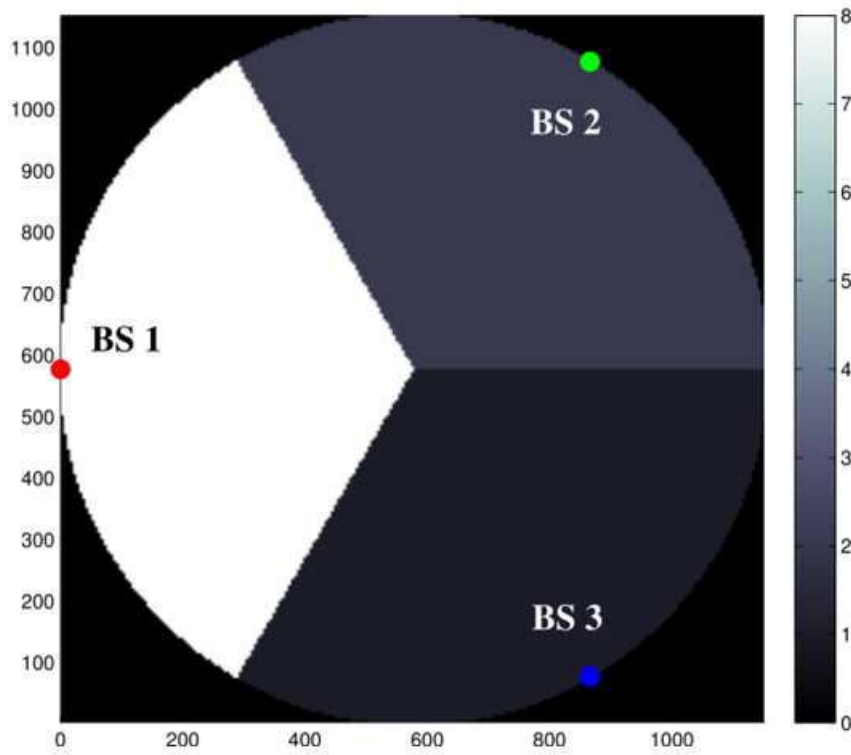
도면6



도면7

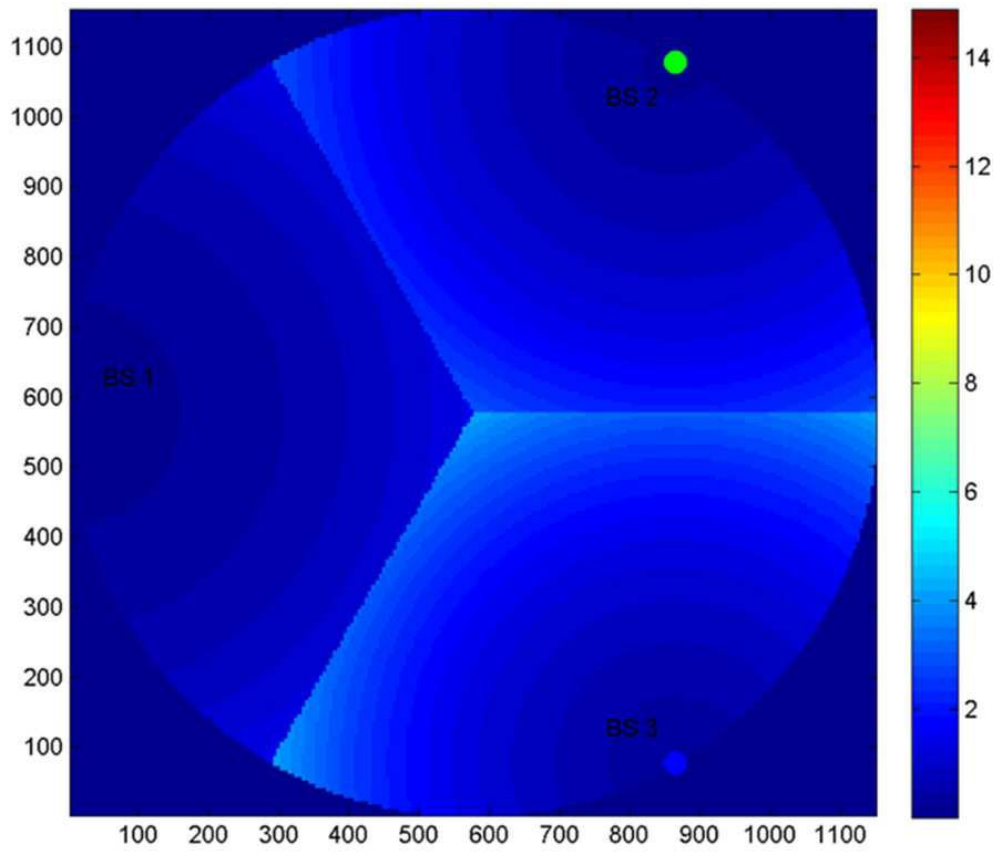


도면8

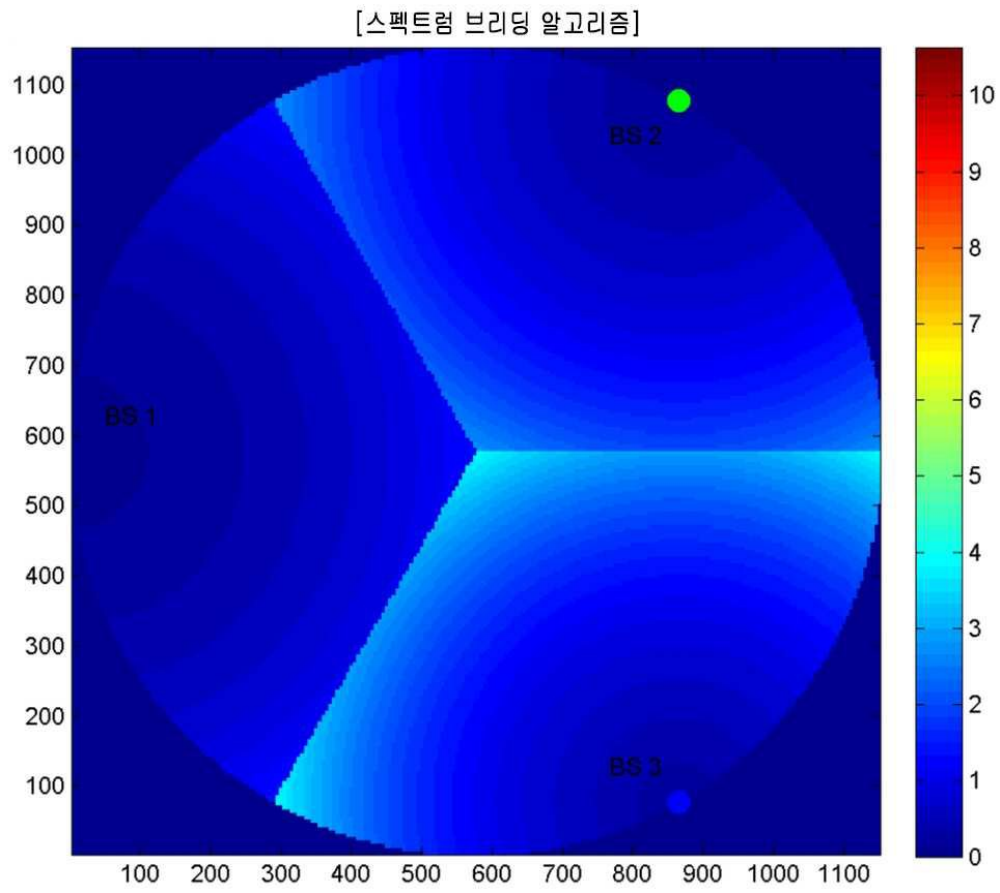


도면9

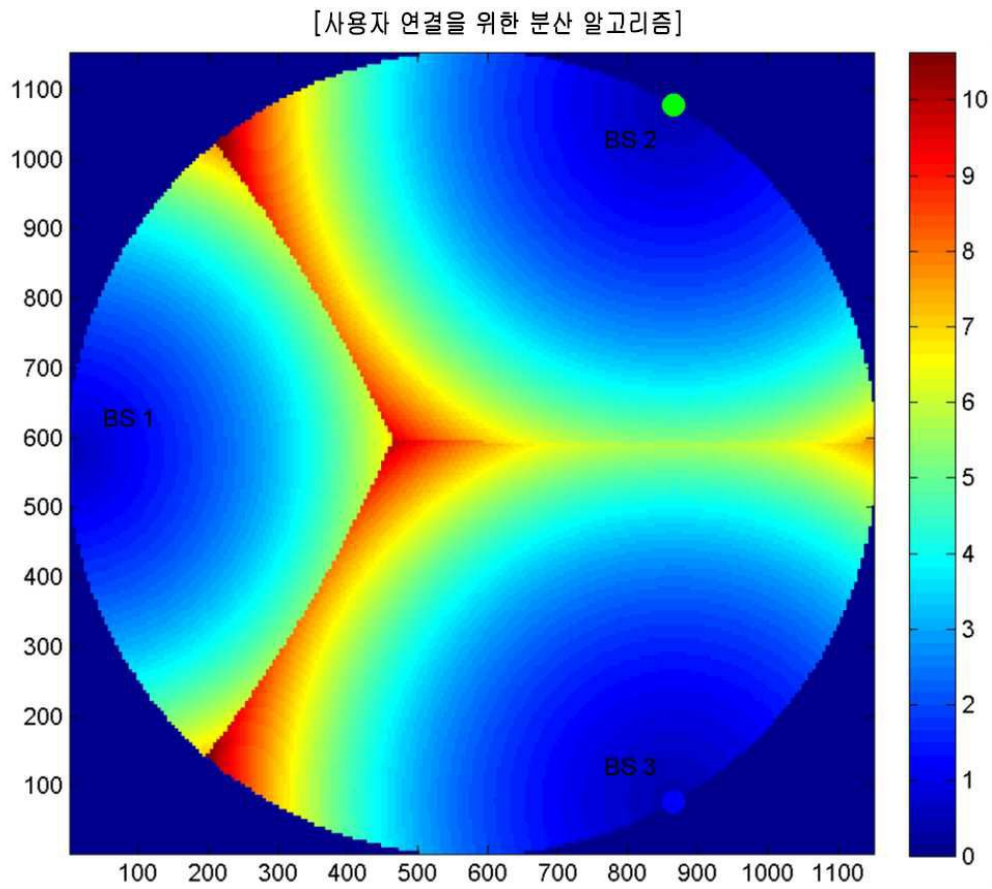
[스펙트럼 브리딩 알고리즘+사용자 연결을 위한 분산 알고리즘]



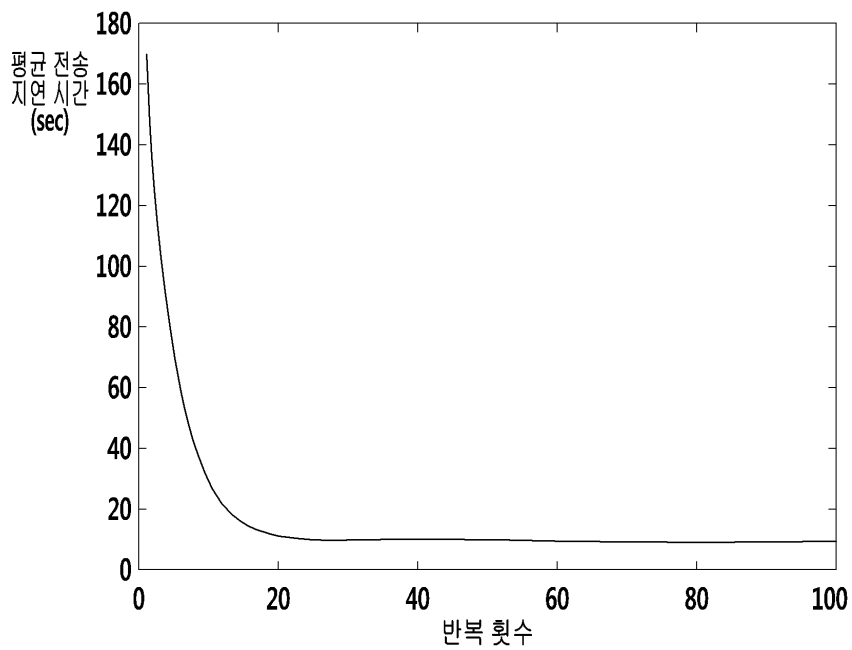
도면10



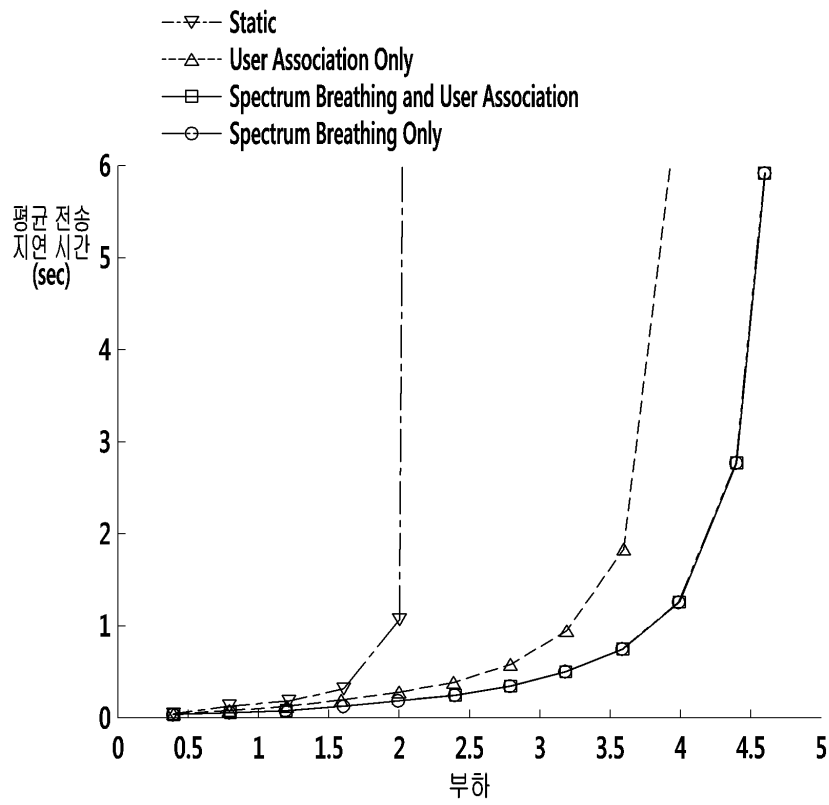
도면11



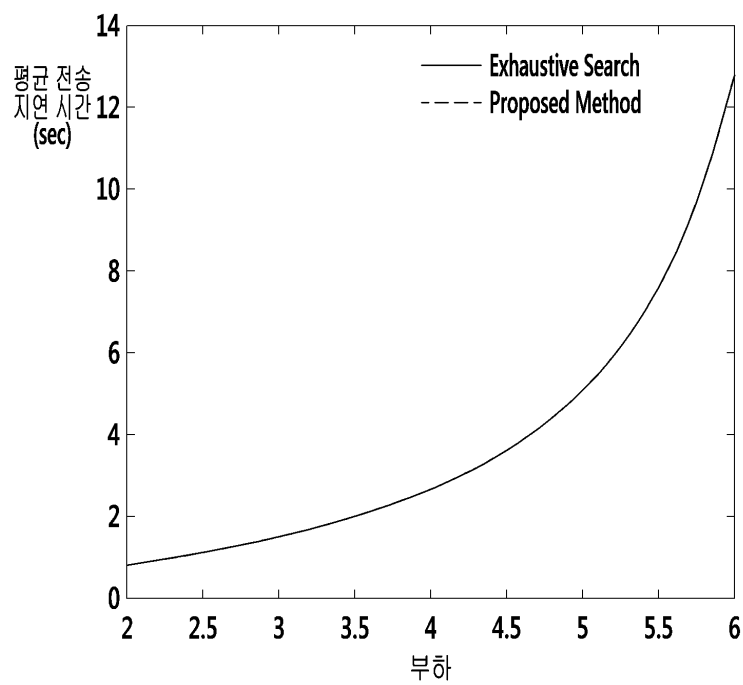
도면12



도면13



도면14



도면15

