



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0006329
(43) 공개일자 2009년01월15일

(51) Int. Cl.

H04B 7/14 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0069554

(22) 출원일자 2007년07월11일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 매탄동 416

서강대학교산학협력단

서울 마포구 신수동 1-1 서강대학교

(72) 발명자

송기욱

경기도 수원시 영통구 영통동 황골마을1단지아파트 135동 1004호

황성택

경기도 평택시 독곡동 대림아파트 102동 303호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이건주

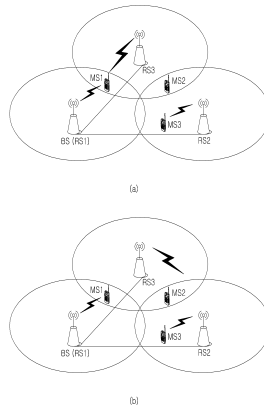
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 분산 안테나를 활용한 셀룰러 시스템에서 최대 전송 용량을만족하는 신호 결합 장치 및 이를 이용한 자원 할당 방법

(57) 요약

분산 안테나(Distributed Antenna)를 활용한 셀룰러 시스템에서 최대 전송 용량을 만족하는 자원할당 방법에 있어서, 기지국(Base Station : BS)에서 하나의 단일 중계국(Relay Station : RS)의 채널 전송용량을 확인하는 과정과, BS에서 둘 이상의 RS의 신호 결합에 의한 채널 전송용량을 확인하는 과정과, 단일 RS의 채널 전송용량 또는 RS 집합의 채널 전송용량 중에서 이득이 더 큰 채널 전송용량을 선택하는 과정과, 위 과정들을 통하여 단일 RS와 이동단말(Mobile Station : MS) 사이의 신호 전송, 또는 RS 집합과 MS 사이의 신호 결합을 통한 신호 전송을 수행하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

성원진

서울특별시 서초구 잠원동 60-7 녹원한신아파트
101동 505호

최진우

서울특별시 서초구 반포4동 서래아파트 4동 604호

박중현

서울특별시 서초구 서초동 1629-9

송의석

서울특별시 마포구 상수동 98-8 302호

특허청구의 범위

청구항 1

분산 안테나(Distributed Antenna)를 활용한 셀룰러 시스템에서 최대 전송 용량을 만족하는 자원할당 방법에 있어서,

기지국(Base Station : BS)에서 하나의 단일 중계국(Relay Station : RS)의 채널 전송용량을 확인하는 과정과,

상기 BS에서 둘 이상의 RS의 신호 결합에 의한 채널 전송용량을 확인하는 과정과,

상기 단일 RS의 채널 전송용량 또는 상기 RS 집합의 채널 전송용량 중에서 이득이 더 큰 채널 전송용량을 선택하는 과정과,

상기 과정들을 통하여 상기 단일 RS와 이동단말(Mobile Station : MS) 사이의 신호 전송, 또는 상기 RS 집합과 MS 사이의 신호 결합을 통한 신호 전송을 수행하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 최대 전송 용량을 만족하는 자원할당 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

세 개의 RS를 고려하였을 때, 두 개의 RS 간 신호 결합 시의 최대 전송 용량과 각각의 RS 별로 독립적인 전송 시의 최대 전송 용량의 차이를 나타내는 메트릭 δ 을 하기의 수학식 19를 이용하여 최적의 신호 결합 조합을 결정하는 것을 특징으로 하는 최대 전송 용량을 만족하는 자원할당 방법.

수학식 19

$$\delta_p = b_p - \sum_{j=1}^2 a_{p_j}$$

상기 수학식 19에서 a 는 RS s 의 부채널 하나를 사용한 경우의 전송 용량 원소로 하는 행렬을 나타내고 있고, b 는 두 개의 부채널이 사용된 경우의 전송 용량을 원소로 하는 행렬을 나타내고 있다.

청구항 3

제 2항에 있어서, 상기 메트릭 δ 은

상기 메트릭 δ 이 0보다 클 경우에 최대값에 해당하는 신호 결합을 수행하고, 상기 메트릭 δ 이 0보다 작을 경우에 신호 결합을 수행하지 않는 것을 하기의 수학식 20을 이용하여 나타내는 것을 특징으로 하는 최대 전송 용량을 만족하는 자원할당 방법.

수학식 20

$$\Delta_{k',p} > 0 \quad \text{where} \quad k' = \arg \max_k \Delta_{k,p}$$

$$\Delta_{k',p} = \max_k \psi_{k,p}^{(2)} - \sum_{j=1}^2 \left(\max_k \psi_{k,p_j}^{(1)} \right) = b_p - \sum_{j=1}^2 a_{p_j} = \delta_p$$

청구항 4

제 2항에 있어서, 상기 세 개의 RS는

상기 세 개의 RS를 하나의 블록 단위로 정의하고, 셀 전체적으로 블록간 스케줄링이 우선적으로 수행된 상태에서 각 블록별로 RS와 MS간의 최적의 조합을 결정하는 방식을 하기 표 4의 알고리즘으로 나타내는 것을 특징으로 하는 최대 전송 용량을 만족하는 자원할당 방법.

있어서,

단일 중계국(Relay Station)의 채널 전송용량과 둘 이상의 중계국의 신호 결합에 의한 채널 전송용량을 비교하여 더 큰 전송용량을 선택하는 기지국(Base Station)과,

단일 또는 집합으로 이동단말(Mobile Station)에게 채널을 전송하는 하나 이상의 중계국(Relay Station)과,

상기 기지국이나 단일 중계국으로부터 채널을 전송받거나, 중계국 집합으로부터 신호 결합에 의한 채널을 전송받는 하나 이상의 이동단말(Mobile Station)을 포함하는 것을 특징으로 하는 최대 전송 용량을 만족하는 신호 결합 장치.

청구항 9

제 8항에 있어서, 상기 중계국은

신호 결합 시에 둘 이상의 중계국간 신호 결합을 고려하는 것을 특징으로 하는 최대 전송 용량을 만족하는 신호 결합 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 분산 안테나를 이용한 셀룰러(Cellular) 통신 시스템에 관한 것으로, 특히 기지국(Base Station : BS)과 RS가 유선 또는 전용회선으로 연결되어 있는 분산 안테나 시스템에서 안테나간 신호 결합을 통해 시스템 전송 용량을 최대화하는 BS 또는 중계국(Relay Station : RS)과 이동단말(Mobile Station : MS)간 링크 조합을 결정하는 알고리즘 및 자원할당 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 통상적인 셀룰러 통신 시스템의 경우, 셀 내에 단일 BS가 존재하여 커버리지 내의 MS들에게 신호를 전송하는 단일 홉(Single Hop)방식과 셀 내에 하나의 BS와 다수의 RS를 두어 무선으로 연결하는 다중 홉(Multi Hop)방식이 널리 사용되어 왔다. 무선 RS를 활용하는 다중 홉 시스템의 경우, BS와 무선 자원을 부분적으로 공유하는 다수 개의 무선 RS를 사용함으로써, BS만 존재하는 기존의 셀룰러 시스템보다 축소된 전송 영역으로 인해 송신 전력을 감소시키는 효과를 얻을 수 있다. 또한 RS와 MS간의 전송 거리 단축을 통해 경로 손실을 감소시켜 고속 저송이 가능하게 함으로써, 셀룰러 시스템의 전송 용량을 증가시키는 효과를 얻을 수 있다.
- <3> 그러나 무선 RS를 활용하는 다중 홉 시스템의 경우, 단일 홉 망에 비하여 데이터 중계를 위한 전송이 추가적으로 필요하며 이 때 한정된 자원을 여러 중계 링크들이 공유해야 하므로, 이는 사용자 서비스 품질의 저하를 야기할 수 있다. 즉 무선 RS 시스템은 셀 외곽 영역에서의 MS에 대한 수신 신호 대 간섭과 잡음 비(Signal to Interference plus Noise Ratio : SINR)를 개선시킬 수 있지만, 프레임 자원의 일부가 중계 전송을 위하여 사용되므로 MS에 할당할 수 있는 유효 채널 자원이 감소하여 시스템 전송 용량이 큰 폭으로 확장되는데 어려움이 있다. 따라서 BS에서 RS로 같은 자원을 여러번 전송해야 하는 무선 RS 시스템의 한계를 극복하고자, BS와 RS 사이의 링크를 광케이블로 연결하여 셀을 구성하는 유선 RS 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.
- <4> 유선 RS 시스템 망의 기본적인 구성은 무선 RS 시스템과 같으며, BS와 RS 또는 RS와 RS 간의 링크가 유선으로 연결되어 있고 고정된 RS가 사용된다는 점이 다르다. 유선 RS 시스템은 BS와 RS 사이의 광케이블 설치를 위한 비용이 들고 RS 설치 후 이동이 어렵다는 문제가 있지만, BS와 RS 간에 유선으로 연결되어 있어 신호 손실이 없고 무선 RS 시스템과 비교하여 간섭 감소 등의 효과가 있다. 또한 다양한 종류의 저어신호 전송을 BS와 RS 유선 구간으로 전달함으로써, 무선 RS 시스템의 경우에 제약을 받는 자원할당 기법과 RS 간 신호 결합 방식이 유선 RS 시스템에서는 적용이 가능하게 된다.
- <5> 신호 결합 기술은 크게 두 가지로 나누어지는데, 수신단 또는 송신단에서 다수의 안테나를 이용하여 신호를 결합하는 방식인 마이크로 다이버시티(Microscopic Diversity) 기술과, 2개 이상의 BS 또는 RS에서 신호를 전송하고 이 신호 간의 결합을 활용하는 방식인 매크로 다이버시티(Macroscopic Diversity) 기술로 분류할 수 있다.
- <6> 마이크로 다이버시티의 대표적인 예로는 여러 개의 수신 안테나를 통해 수신된 신호 중 가장 좋은 품질의 신호

를 선택하는 SC(Selection Combining) 방식, 신호 결합 시 수신 신호 대 잡음 비가 최대가 되도록 하는 MRC(Maximum Ratio Combining) 방식, 수신 신호 간 위상을 정합시켜 결합하는 EGC(Equal Gain Combining) 방식 등이 존재한다.

- <7> 매크로 다이버시티 기술은 마이크로 다이버시티와 비교하여 신호 결합 방식들이 지리적으로 멀리 떨어진 2개 이상의 BS 또는 RS로부터의 신호들에 대해 적용된다는 차이만 존재하며, 지리적 특성으로 인하여 신호 결합 시 수신 신호 간 시간 지연 차이등의 성능 열화 요인에 대한 보상 기술들을 바탕으로 여러 가지 마이크로 다이버시티 기술들을 활용하는 MDC(Macroscopic Diversity Combining) 방식이 사용된다. 마이크로 다이버시티 기술은 송수신단에 다수의 안테나를 사용하여 신호를 결합하여 다중 경로에 의한 단기 페이딩을 극복할 수는 있지만, 지형적인 장애물에 의한 장기 페이딩을 극복하여 채널 품질을 향상시키는 데에는 한계가 있다. 장기 페이딩의 극복을 위해 매크로 다이버시티 기술을 사용하게 된다.
- <8> 매크로 다이버시티 기술은 다수의 RS에서 전송되는 신호들이 결합되기 때문에 지형적인 장애물에 의한 장기 페이딩을 극복하는데 효과적이다. 다수의 RS가 신호 결합을 위해 같은 주파수 자원을 할당하므로 단일 RS 전송에 비해 추가적인 자원을 소모함에 따른 주파수 효율성의 감소가 발생하게 된다. 이 효과를 상쇄하고 신호 결합을 통해 더 큰 전송 용량의 증대효과를 가져오는 신호 결합 결정 조건을 찾고, 이에 따라 자원할당을 수행함으로써 단일 전송에 비해 큰 폭으로 평균 주파수 효율을 향상시키는 것이 가능하다.
- <9> 상기 기술들을 바탕으로 통상적으로 하나의 MS가 특정 BS의 통신 구역에서 다른 BS의 통신 구역으로 이동하는 경우 채널을 전환하여 통신을 연결시켜 주는 핸드오프(Hand Off) 기술들이 연구되고 있다. 핸드오프 방식은 크게 기존의 채널을 끊고 새로운 채널을 연결하는 하드 핸드오프 방식과, 기존의 채널과 새로운 채널을 동시에 연결한 상태에서 기존의 채널을 끊는 소프트 핸드오프 방식으로 분류된다.
- <10> 통상적인 셀룰러 시스템에서는 후자인 소프트 핸드오프 방식을 사용하는데, 기존의 소프트 핸드오프 방식은 MS에 대한 인접 셀로부터의 신호 세기에 비례하여 새로운 셀로부터의 신호의 세기가 특정 값 이상으로 증가하면 신호 결합 모드로 진입하고, 기존의 셀로부터의 신호 세기가 특정 값 이하로 감소하면 다시 새로운 셀로부터의 단일 전송 모드로 동작하는 SINR 기반의 신호 결합 결정 조건을 사용하고 있다. 기존의 방식은 셀 경계지역으로 이동한 MS에 대한 채널 품질을 개선하고 통신 불능 상태를 방지함으로써, 셀 내의 지리적 조건에 관계없이 사용자의 최소 전송 요구량을 만족시키는 안정된 통신을 가능하게 한다.
- <11> 그러나 셀 전체적으로 볼 때 가장 큰 시스템 전송 용량을 보장하지는 않는다. 즉 신호 결합 활용 시에 기대할 수 있는 최대의 전송 용량을 위한 신호 결합 결정 조건은 단지 인접 셀로부터의 단일 전송 시 SINR 값들로 문턱값 검사를 수행하는 것으로 가장 큰 시스템 전송 용량을 보장하지 못하게 되고, 고 복잡도 고 효율의 자원 할당을 수행하는데 문제점이 생긴다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <12> 본 발명은 유선 RS 시스템에서 신호 결합 시, 셀 내에 랜덤하게 분포되어 있는 MS들의 채널 정보를 BS 또는 RS 간 유선 링크를 통해 공유함으로써, 셀 전체의 전송 용량을 최대화하는 BS와 MS 또는 RS와 MS 간 조합의 결정 및 자원할당 방안을 제시하고자 한다.

과제 해결수단

- <13> 본 발명의 일 견지에 따르면, 분산 안테나(Distributed Antenna)를 활용한 셀룰러 시스템에서 최대 전송 용량을 만족하는 자원할당 방법에 있어서, 기지국(Base Station : BS)에서 하나의 단일 중계국(Relay Station : RS)의 채널 전송용량을 확인하는 과정과, BS에서 둘 이상의 RS의 신호 결합에 의한 채널 전송용량을 확인하는 과정과, 단일 RS의 채널 전송용량 또는 RS 집합의 채널 전송용량 중에서 이득이 더 큰 채널 전송용량을 선택하는 과정과, 위 과정들을 통하여 단일 RS와 이동단말(Mobile Station : MS) 사이의 신호 전송, 또는 RS 집합과 MS 사이의 신호 결합을 통한 신호 전송을 수행하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <14> 본 발명의 다른 견지에 따르면, 분산 안테나(Distributed Antenna)를 활용한 셀룰러 시스템에서 최대 전송 용량을 만족하는 신호 결합 장치에 있어서, 단일 중계국(Relay Station)의 채널 전송용량과 둘 이상의 중계국의 신호 결합에 의한 채널 전송용량을 비교하여 더 큰 전송용량을 선택하는 기지국(Base Station)과, 단일 또는 집합으로 이동단말(Mobile Station)에게 채널을 전송하는 하나 이상의 중계국(Relay Station)과, 기지국이나 단일

중계국으로부터 채널을 전송받거나, 중계국 집합으로부터 신호 결합에 의한 채널을 전송받는 하나 이상의 이동단말(Mobile Station)을 포함하는 것을 특징으로 한다.

효 과

<15> 본 발명에 의하면, 유선 중계국(Relay Station) 시스템에서 중계국간 신호 결합을 활용하여 셀 내의 이동단말(Mobile Station)의 수에 관계없이 동일한 복잡도를 유지하며 시스템 전송 용량을 최대화하는 효과가 있고, 셀 내의 모든 중계국을 고려하여 고 복잡도 고 효율의 자원 할당을 수행하는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<16> 이하 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 하기 설명에서는 구체적인 구성 소자 등과 같은 특정 사항들이 나타나고 있는데 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐 이러한 특정 사항들이 본 발명의 범위 내에서 소정의 변형이나 혹은 변경이 이루어질 수 있음은 이 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게는 자명하다 할 것이다.

<17> 기존의 분산 안테나(Distributed Antenna)를 활용한 셀룰러 시스템에서 상기 언급한 바와 같이 SINR 기반의 신호 결합 결정 조건을 이용한 소프트 핸드오프 방식을 사용하고 있지만, 셀 전체적으로 볼 때 가장 큰 시스템 전송 용량이 보장되지 않고 고 복잡도 고 효율의 자원 할당을 수행하는데 문제점이 있었다.

<18> 이하 본 발명에서는 안테나간의 신호결합, 특히 세 개의 중계국(Relay Station : RS)이 이루는 커버리지 영역에 존재하는 임의의 이동단말(Mobil Station : MS)에 대한 최적의 기지국(Base Station : BS)과 MS 또는 RS와 MS 조합을 유일하게 결정하여, 분산 안테나 시스템 셀 구조에서 세 개의 RS가 형성하는 커버리지 영역 단위로 최대 전송 용량을 만족하는 자원할당을 수행하는 시스템을 제안한다. 또한 본 발명에서는 모든 RS가 같은 주파수 대역을 사용하고 주파수 재사용 계수가 1인 시스템을 가정하여 설명한다. 본 발명에서 '기지국'과 '중계국'의 역할이 같다고 정의하며 이하 '중계국'으로 통칭한다.

<19> 도 1은 본 발명이 적용되는 분산 안테나(Distributed Antenna)를 활용한 셀룰러 시스템의 개략적인 일 예시 구성도이다. 도 1은 본 발명에서 고려하고 있는 유선 RS를 활용한 분산 안테나 시스템으로서, 하나의 BS에 6개의 RS들이 유선으로 연결되어 있으며, 주위의 RS들은 또 다른 BS에 연결되어 있다. 각 RS 주위의 원으로 표시된 영역은 각각의 RS가 다른 RS와 신호 결합을 하지 않고 독립적으로 신호를 전송할 때 전송 가능한 최하의 수신 신호 대 간섭과 잡음 비(Signal to Interference plus Noise Ratio : SINR) 레벨을 포함함 커버리지를 예시한 것이다. 커버리지와 커버리지 사이에 서로 중복된 영역은 비교적 신호 간섭이 심한 영역으로서 RS간 신호 결합에 의해 큰 채널 품질의 개선이 예상되는 지역이다. 다수의 MS가 셀 내에 랜덤하게 분포되어 있으며 RS와 RS 간, RS와 MS 간의 가능한 모든 연결 조합을 구성하여 신호를 송수신한다.

<20> 신호 결합을 활용한 자원 할당 방식에 있어서, 도 1과 같은 셀 구조에서 세 개의 RS(하나의 BS와 두 개의 RS로 구성되고 3-RS로 표기)가 형성하는 커버리지 영역 단위로 시스템 전송 용량을 최대화하는 자원 할당을 수행하는 방식이 가능하다. 즉 이러한 단위를 하나의 블록으로 정의하고 셀 전체적으로 블록 간 스케줄링이 우선적으로 수행된 상태에서 각 블록별로 RS와 MS 간 최적의 조합을 결정하는 방식이 가능하며, 이는 본 발명에서 제시하는 알고리즘의 3-RS의 경우에 해당된다. 또한 본 발명에서는 S개의 RS에 대한 확장 알고리즘을 제시함으로써 상기의 블록별 자원할당 방식을 4-RS 등으로 확장 적용할 수 있으며, 도 1에서 7-RS 커버리지 영역 전체를 고려하는 7-RS 확장 알고리즘을 사용하여 시스템 전송 용량을 최대화하는 자원할당을 수행하는 방식도 가능하다.

<21> 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 신호 결합(Signal Combining)을 활용하여 전송 용량을 높이는 셀룰러 시스템의 개략적인 구성도로서, 상기 도 1의 구성 및 동작에 대한 효과적인 설명을 위한 세 개의 RS와 세 개의 MS가 존재하는 개략적인 형태의 유선 RS 시스템이다. 타임 슬롯에 따른 구성이기 때문에 각 타임 슬롯에 따라 최대 전송 용량에 대한 구성이 달라질 수 있으며, 이를 도 2의 a와 b에 나타내었다.

<22> 먼저 도 2a를 살펴보면, 각각의 RS는 유선으로 연결되어 있고 세 개의 MS는 랜덤하게 분포되어 있다. MS1은 RS1과 RS3으로부터 신호 결합에 의한 전송을 받고 있으며, MS2는 전송이 이루어지지 않는 상태이고, MS3은 RS2로부터 단일 전송을 받고 있다. 도 2a에서는 RS 3에서 MS 2로 공평하게 신호를 분산하여 전송을 하는 것보다, MS 1에게 신호를 집중하여 줌으로써, 전체 전송 용량이 최대화가 된다는 것을 설명하고 있다.

<23> 도 2b는 도 2a와 달리 MS1, 2, 3 모두가 각 RS로부터 단일 전송을 받고 있다. 도 2b의 경우에는 공평하게 신호를 분산하여 전송을 하는 것이 전체 전송 용량으로 봤을때 최대화가 된다는 것을 설명하고 있다.

<24> 상기에서 설명한 도 2는 하나의 타임 슬롯(Time Slot)에서 적용되는 일 실시 예를 보여주고 있으며, 시분할 방식으로 운영되는 셀룰러 시스템의 특성상 다양한 실시 예가 나올 수 있다.

<25> 이하 본 발명의 연동과정을 수학적 모델로 표현하기 위해 하기의 표 1과 같은 매개 변수를 정의한다.

표 1

매개 변수	설 명
S	RS의 개수
Ω	RS 인덱스 집합
N	각 RS에 해당하는 부채널 자원의 총개수
K	셀 내의 MS의 개수

<26>

<27> 부채널별로 채널 특성을 독립적이라고 가정하면, 시스템 전송 용량을 최대화하는 RS와 MS 조합의 결정조건은 부채널 인덱스에 독립적이므로, 본 발명에서는 N=1인 경우만을 고려한다. 즉, 다수개의 부채널이 존재하는 일반적인 경우에 대해서는 N=1에 대한 알고리즘을 병렬적으로 적용할 수 있다.

<28> 신호 결합을 고려한 자원 할당 방법을 효과적으로 표현하기 위해, MS 인덱스를 값으로 갖는 $p_{n,s}$ 라는 지시 변수를 정의한다. 즉, RS s의 n번째 부채널에 MS k가 자원 할당된 경우를 $p_{n,s}=k$ 로 표기하며, 만약 같은 부채널 n에 대하여 $p_{n,p1}=p_{n,p2}=k$ 인 경우에는 두 RS $p1, p2$ 로부터의 신호 결합을 의미한다.

<29> S개의 RS와 K개의 MS에 대하여, 최대 S개의 RS가 모두 신호 결합에 동시에 참여할 수 있다고 가정할 때, 가능한 모든 RS와 MS 조합의 가지 수는 하기의 수학적 식 1로 나타낼 수 있다.

수학적 식 1

<30>
$$U = K^S$$

<31> 상기 수학적 식 1에서 K와 S의 증가에 따라 신호 결합을 고려하는 RS와 MS 링크 조합 결정의 복잡도는 지수적으로 증가한다. 여기서 두 개의 RS로부터의 신호 결합만을 고려하는 경우에, 전체 탐색의 가지 수는 하기의 수학적 식 2로 표현된다.

수학적 식 2

<32>
$$U = {}_K P_S + \sum_{i=1}^{\lfloor S/2 \rfloor} \binom{K}{i} \frac{S!}{(S-2i)! 2^i} {}_{K-i} P_{S-2i}$$

<33> 수학적 식 2에서는 두 개의 RS간의 신호 결합만을 고려한다는 가정 하에, 전체 탐색에 의한 결과와 동일한 결과를 나타내는 효과적인 알고리즘 및 신호 결합 결정 조건을 제시하고 검증한다.

<34> 여기서 신호 결합 결정 조건이란, 하나의 부채널 인덱스에 대해 RS 개수만큼 주어진 시스템의 총 자원을 어느 MS에게 할당하는 것이 시스템 전송 용량을 최대화 할 것인가에 대한 해답을 의미한다. 예를 들어, RS1과 RS2가 모두 MS1으로 신호 결합에 의한 전송을 하고, RS3은 MS3으로 단일 전송을 하는 것이 최대화된 전체 용량이 된다면, 이러한 RS와 MS의 조합이 최적의 결정 조건이 된다.

<35> 부채널 인덱스 n 과 MS k 에 대한, RS s 로부터 독립적인 전송 시의 SINR과, 두 개의 RS $p1$ 과 $p2$ 로부터의 신호 결합에 의한 SINR를 각각 수학적 식 3과 수학적 식 4에 표현하면 하기와 같다.

수학적 식 3

<36>
$$\gamma_{n,k,s}^{(1)} = \frac{P |H_{n,k,s}|^2 / r_{k,s}^\alpha}{\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq s}}^S (P |H_{n,k,i}|^2 / r_{k,i}^\alpha) + W}$$

수학식 4

$$\gamma_{n,k,p}^{(2)} = \frac{P \left(|H_{n,k,p_1}| / r_{k,p_1}^{\alpha/2} + |H_{n,k,p_2}| / r_{k,p_2}^{\alpha/2} \right)^2}{\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p_1 \\ i \neq p_2}}^S \left(P |H_{n,k,i}|^2 / r_{k,i}^{\alpha} \right) + W}$$

<37>

<38> 수학식 3과 수학식 4에서 P는 송신 신호 전력으로서 각 RS 마다 모두 동일함을 가정한다. $H_{n,k,s}$ 는 레일리 페이딩 채널(Rayleigh Fading Channel)로서 평균 전력이 1이고 전력이 지수 분포를 따르는 복소 가우시안 확률 변수로, $r_{k,s}$ 는 MS k와 RS s 사이의 거리로, 알파(α)는 경로 손실 지수(Pathloss Exponent)로, W는 백색 복소 가우시안 잡음의 전력으로 정의한다.

<39> 상기 수학식 3과 수학식 4를 세넨 용량 공식(Sannon Capacity Formula)에 대입하여 각각에 대한 전송 용량을 구하면 하기의 수학식 5와 수학식 6으로 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\psi_{k,s}^{(1)} = \log_2 (1 + \gamma_{n,k,s}^{(1)})$$

<40>

수학식 6

$$\psi_{k,p}^{(2)} = \log_2 (1 + \gamma_{n,k,p}^{(2)})$$

<41>

<42> 수학식 5에서는 RS s의 부채널 하나를 사용한 경우의 전송 용량을 수식으로 표현하였고, 수학식 6에서는 RS p1과 p2에 대한 신호 결합, 즉 총 두 개의 부채널이 사용된 경우의 전송 용량을 표현하였다.

<43> 인덱스 k,s,p의 모든 조합에 대하여 수학식 5와 수학식 6을 원소로 하는 행렬을 구성하면 각각 하기의 수학식 7과 수학식 8로 나타낼 수 있다.

수학식 7

$$A = \begin{bmatrix} \psi_{1,1}^{(1)} & \psi_{1,2}^{(1)} & \cdots & \psi_{1,S}^{(1)} \\ \psi_{2,1}^{(1)} & \psi_{2,2}^{(1)} & \cdots & \psi_{2,S}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_{K,1}^{(1)} & \psi_{K,2}^{(1)} & \cdots & \psi_{K,S}^{(1)} \end{bmatrix}$$

<44>

수학식 8

$$B = \begin{bmatrix} \psi_{1,1}^{(2)} & \psi_{1,2}^{(2)} & \cdots & \psi_{1,Q}^{(2)} \\ \psi_{2,1}^{(2)} & \psi_{2,2}^{(2)} & \cdots & \psi_{2,Q}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_{K,1}^{(2)} & \psi_{K,2}^{(2)} & \cdots & \psi_{K,Q}^{(2)} \end{bmatrix}$$

<45>

<46> 상기에서 주어진 수학식 7과 수학식 8의 행렬 A, 행렬 B를 통해서 시스템 전송 용량을 최대화하는 RS와 MS 링크의 최적 조합을 결정하는 과정을 다수의 수학식을 이용하여 하기에 기술한다.

<47> 신호 결합을 수행하기 위한 결정 조건을 수학식으로 표현하기 위해 먼저 수학식 7과 수학식 8의 행렬 A와 행렬 B의 원소들로부터 계산되어진 행렬을 구성하면 하기 수학식 9로 나타낼 수 있다.

수학식 9

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \Delta_{1,1} & \Delta_{1,2} & \cdots & \Delta_{1,Q} \\ \Delta_{2,1} & \Delta_{2,2} & \cdots & \Delta_{2,Q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{K,1} & \Delta_{K,2} & \cdots & \Delta_{K,Q} \end{bmatrix}$$

<48>

<49> 수학식 9의 행렬 D에 표현된 각각의 원소를 구하는 방법을 수학식 10에 나타내면 다음과 같다.

수학식 10

$$\Delta_{k,p} = \psi_{k,p}^{(2)} - \sum_{j=1}^2 \left(\max_k \psi_{k,p_j}^{(1)} \right)$$

<50>

<51> 수학식 10은 신호 결합시의 전송 용량 값에 해당하는 첫 번째 항에서 신호 결합을 하지 않을 경우 얻을 수 있는 최대 전송 용량 값을 뺀 값이다. 즉, 첫 번째 항은 수학식 8의 원소 하나하나를 나타내며, 여기에 두 번째 항이 차감되는 형태이다. 두 번째 항은 첫 번째 항의 인덱스 p 에 해당하는 신호 결합의 두 쌍 p1, p2 에 대해 독립적인 전송시의 최대 전송 용량을 합산한 것이며, 이는 수학식 7에서 열에 해당하는 K개의 원소들 중 가장 큰 값으로 정해진다.

<52> 이렇게 결정되는 값들을 원소로 하는 수학식 9의 행렬 D의 최대값, 즉 시스템 전송 용량 최대화의 관점에서 신호 결합을 수행하기 위한 결정 조건을 수학식으로 표현하면 하기의 수학식 11에 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$\Delta_{k',p} > 0 \text{ where } k' = \arg \max_k \Delta_{k,p}$$

<53>

<54> 수학식 11의 경우에는 신호 결합시 전송 용량의 이득이 발생하는 경우, 즉 $\Delta_{k,p}$ 가 0보다 클 경우에만 신호 결합이 적용된다. 만약 $\Delta_{k,p}=0$ 인 경우에는 하기의 수학식 12에 나타낸 것처럼, 두 개의 부채널 자원을 동일하게 소모하여, 좌변의 신호 결합시와 우변의 신호 비결합 시의 전송 용량이 동일하게 되어 신호 결합 이득이 발생하지 않는다.

수학식 12

$$\Delta_{k,p} = \max_k \psi_{k,p}^{(2)} - \sum_{j=1}^2 \left(\max_k \psi_{k,p_j}^{(1)} \right) = 0 \Leftrightarrow \max_k \psi_{k,p}^{(2)} = \sum_{j=1}^2 \left(\max_k \psi_{k,p_j}^{(1)} \right)$$

<55>

<56> 수학식 11과 수학식 12와 달리, 만약 $\Delta_{k,p}$ 가 0보다 작을 경우에는 신호 비결합 시의 전송 용량이 더 크게 되므로 신호 결합 없이 각각의 RS에서 독립적인 전송이 이루어진다. 즉 고정된 p에 대한 전송 용량의 최대값 $\Delta_{k,p}$ 가 0보다 크면 신호 결합을 통하여 $\psi_{k,p}^{(2)}$ 가 되고, $\Delta_{k,p}$ 가 0보다 작으면 각 RS의 독립적인 전송을 통하여 $\max_k \psi_{k,p_1}^{(1)} + \max_k \psi_{k,p_2}^{(1)}$ 가 된다.

<57> 수학식 7과 수학식 8의 행렬 A와 행렬 B를 이용하여 신호 결합 결정 조건 메트릭 δ을 정의 할 수 있다. 메트릭 δ을 정의하기 전에 행렬 A와 행렬 B에서 각 열별로 최대값을 취하여 벡터로 나타내면 하기의 수학식 13, 14와 같다.

수학식 13

$$\mathbf{a} = \left[\max_k \psi_{k,1}^{(1)} \quad \max_k \psi_{k,2}^{(1)} \quad \cdots \quad \max_k \psi_{k,S}^{(1)} \right]$$

<58>

수학식 14

<59>

$$\mathbf{b} = \left[\max_k \psi_{k,1}^{(2)} \quad \max_k \psi_{k,2}^{(2)} \quad \cdots \quad \max_k \psi_{k,Q}^{(2)} \right]$$

<60>

벡터로 표현된 수학식 13과 수학식 14를 이용하여 메트릭 δ 을 정의하여 하기 수학식 15에 나타낼 수 있다.

수학식 15

<61>

$$\delta_p = b_p - \sum_{j=1}^2 a_{p_j}$$

<62>

수학식 15에 나타낸 메트릭 δ 은 상기에서 설명한 수학식 11의 신호 결합 조건과 동일한 품을 가지고 있으며, 이를 하기의 수학식 16에 나타내었다.

수학식 16

<63>

$$A_{k,p} = \max_k \psi_{k,p}^{(2)} - \sum_{j=1}^2 \left(\max_k \psi_{k,p_j}^{(1)} \right) = b_p - \sum_{j=1}^2 a_{p_j} = \delta_p$$

<64>

신호 결합 결정 조건 메트릭 δ 으로 수학식 15를 사용하여 셀 내에 존재하는 K개의 MS에 대한 전송 용량 행렬 A와 B 대신, K에 독립적으로 결정되는 벡터 a와 b를 사용하여 최적의 RS와 MS의 조합을 구할 수 있다.

<65>

수학식 15에 표현된 메트릭 δ 을 이용하여 본 발명의 3-RS의 경우에 대한 자원할당 알고리즘을 하기의 표 2에 나타내고, 이를 통해 시스템 전송 용량을 최대화 하는 RS와 MS의 조합이 유일하게 결정된다.

표 2

수행절차 (3-RS Algorithm):	
Calculate $\mathbf{d} = [\delta_1 \ \delta_2 \ \delta_3]$	
Choose $p' = \arg \max_p \delta_p$ and $k' = \arg \max_k \psi_{k,p'}^{(2)}$	
If $\delta_{p'} > 0$	
$\rho_{n,p'_1} = \rho_{n,p'_2} = k'$	
$\rho_{n,s'} = \arg \max_k \psi_{k,s'}^{(1)}$, where $\begin{matrix} s' \neq p'_1 \\ s' \neq p'_2 \end{matrix}$	
else	
for $s = 1 : S$	
$\rho_{n,s} = \arg \max_k \psi_{k,s}^{(1)}$	
end	
end	

<66>

<67>

표 2의 알고리즘을 토대로 본 발명에서 제시하고 있는 3-RS에 대한 시스템 전송 용량의 확률 분포 분석을 통해 해당 알고리즘의 성능을 평가 할 수 있다.

<68>

도 3a는 본 발명의 일 실시 예에 따른 알고리즘의 성능 검증을 위한 3-RS의 배치도로서, 성능 평가를 위해 도 3a의 각 RS는 점선으로 표시된 원주 상에 위치하며 원의 반지름은 1km인 RS의 배치 구조를 가정한다. K개의 MS는 점선으로 표시된 원 내부에 랜덤하게 분포되며, 외부의 다른 간섭 신호는 없는 것으로 가정한다. 즉 본 발명에서는 신호 결합에 동시에 참여하는 RS의 최대 개수를 2개로 고정하였으므로, 3-RS에서 신호 결합시 하나의 RS로부터의 신호가 간섭신호로 작용하게 된다. 각 RS로부터의 송신 신호 전력은 $P=20W$ 로 동일하며, 경로 손실 지수는 2로, 백색 복소 잡음 신호는 없는 것으로 가정한다. 상기에서 기술한 바와 같이, $H_{n,k,s}$ 는 평균 전력이 1인 레일리 페이딩 채널로서 채널 전력은 지수 분포를 따른다.

<69>

s 번째 RS의 위치를 구하는 수학식을 하기에 나타내었다.

수학식 17

$$(x_s, y_s) = \left(\cos \left[\frac{2\pi}{S} (s-1) \right], \sin \left[\frac{2\pi}{S} (s-1) \right] \right)$$

<70>

<71>

도 3b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 3-RS 시스템의 평균 전송 용량 누적 분포 함수 그래프로서, 도 3b는 3-RS에 대한 시스템 평균 전송 용량 최대값의 누적 분포 함수를 나타낸 결과이다.

<72>

도 3b를 살펴보면, 본 발명에서 제안한 방식이 부분 탐색의 성능 곡선과 정확히 일치하며, 이는 상기에서 제시한 신호 결합의 결정 조건에 의해 최적의 RS와 MS의 조합이 유일하게 결정됨을 의미한다.

<73>

도 4a는 본 발명의 일 실시 예에 따른 알고리즘의 성능 검증을 위한 4-RS의 배치도이고, 도 4b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 4-RS 시스템의 평균 전송 용량 누적 분포 함수 그래프이다.

<74>

도 4a를 살펴보면, 도 3a와 같이 각 RS는 점선으로 표시된 원주 상에 위치하며 원의 반지름은 1km인 RS의 배치 구조를 가정한다. K개의 MS는 점선으로 표시된 원 내부에 랜덤하게 분포되며, 외부의 다른 간섭 신호는 없는 것으로 가정한다. 즉 본 발명에서는 신호 결합에 동시에 참여하는 RS의 최대 개수를 2개로 고정하였으므로, 4-RS에서 신호 결합시 두개의 RS로부터의 신호가 간섭신호로 작용하게 된다.

<75>

도 4b를 살펴보면, 탐색폭 m의 변화에 따른 제안 알고리즘의 성능 곡선을 확인할 수 있으며, 확대한 그림에서 m=3의 탐색폭을 가지고 시스템 전송 용량을 최대화하는 조합을 선택하는 방식을 적용하면 부분 탐색의 성능 곡선과 거의 일치하게 된다. m=1의 경우에도 0.006bps/Hz 이내의 성능 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 도 4b의 경우 CDF 곡선이 도 3b의 경우와 비교하여 전체적으로 좌측에 위치하고 있는데, 이는 RS 개수 증가에 따른 간섭 신호 개수의 증가 때문이다.

<76>

상기에서 설명한 도 3b와 도 4b 두 그래프의 결과에서 모두 전송 용량 증대 관점에서 신호 결합 활용시 큰 이득을 관찰 할 수 있음을 알 수 있다.

<77>

본 발명의 3-RS에 대한 알고리즘을 S-RS에 대해 적용하면, 하기의 표 3과 같이 재귀적 형태의 알고리즘으로 확장된다.

표 3

수행절차 (S-RS Algorithm):
Calculate $\mathbf{d} = [\delta_1 \ \delta_2 \ \cdots \ \delta_Q]$
Choose $p' = \arg \max_p \delta_p$ and $k' = \arg \max_k \psi_{k,p'}^{(2)}$
If $\delta_{p'} > 0$
$\rho_{n,p'_1} = \rho_{n,p'_2} = k'$
Perform "(S-2)-RS Algorithm" with $\Omega = \{s_i s_i \neq p'_j \text{ for } \forall i, j\}$
else
for $s = 1 : S$
$\rho_{n,s} = \arg \max_k \psi_{k,s}^{(1)}$
end
end

<78>

<79>

표 3에서와 같이 네 개 이상의 RS에 대해서는 메트릭 $\delta_{p'}$ 을 정의하여 최대값을 선택하는 방식이 항상 최적의 조합을 보장하지는 않는다. 따라서 표 3의 알고리즘의 벡터 d의 원소들 중 크기 순으로 최대 m 개의 원소들에 대해 탐색을 수행하는 방식이 가능하며, 이 경우 탐색 폭 m 에 따라 얻어지는 RS와 MS의 조합의 가지 수는 하기의 수학식 18과 같다.

수학식 18

$$V_m = m^{\lfloor S/2 \rfloor - 1}$$

<80>

<81> 표 3의 알고리즘은 $m=1$ 인 경우로서 S 에 관계없이 $V_1=1$ 이며, 만약 $S=4$, $m=2$ 인 경우에는 $V_2=2^1$ 이 되어 네 개의 RS 중 처음 두 개의 RS 쌍을 고려하는데 사용되는 메트릭 δ 이 가장 큰 값과 두 번째로 큰 값을 가짐을 의미한다. $S=5$ 인 경우에도 처음 두 개의 RS 쌍을 고려하면 남은 세 개의 RS에 대해서는 상기에서 설명한 3-RS 알고리즘에 의해 유일하게 조합이 결정되므로 마찬가지로 $V_2=2^1$ 이다. 만약 $S=6$ 또는 $S=7$ 인 경우, 처음 두 개의 RS 쌍을 탐색폭 m 가지 수만큼 고려하고 남은 네 개 또는 다섯 개의 RS에 대해 다시 m 만큼의 탐색 과정이 필요하게 되므로 $V_2=2^2$ 이 된다.

<82> 상기와 같은 방법을 이용하여 일반적인 S -RS에 대해 고려되는 V_m 가지의 RS와 MS의 조합 중, 시스템 전송 용량을 최대화하는 조합을 선택하여 자원할당을 수행할 수 있다.

<83> 상기와 같이 본 발명의 일 실시 예에 따른 분산 안테나를 활용한 셀룰러 시스템에서 최대 전송 용량을 만족하는 신호결합 장치 및 이를 이용한 자원할당 방법의 구성 및 동작이 이루어질 수 있으며, 한편 상기한 본 발명의 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나 여러 가지 변형이 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 실시될 수 있다. 따라서 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 의하여 정할 것이 아니고 청구범위와 청구범위의 균등한 것에 의하여 정하여져야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

<84> 도 1은 본 발명이 적용되는 분산 안테나(Distributed Antenna)를 활용한 셀룰러 시스템의 개략적인 일 예시 구성도

<85> 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 신호 결합(Signal Combining)을 활용하여 전송 용량을 높이는 셀룰러 시스템의 개략적인 구성도

<86> 도 3a는 본 발명의 일 실시 예에 따른 알고리즘의 성능 검증을 위한 3-RS의 배치도

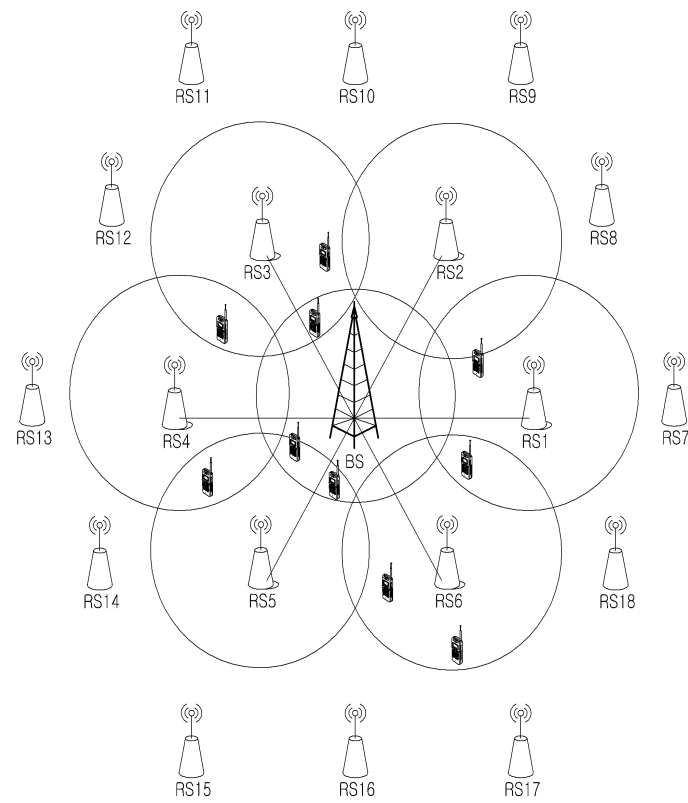
<87> 도 3b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 3-RS 시스템의 평균 전송 용량 누적 분포 함수 그래프

<88> 도 4a는 본 발명의 일 실시 예에 따른 알고리즘의 성능 검증을 위한 4-RS의 배치도

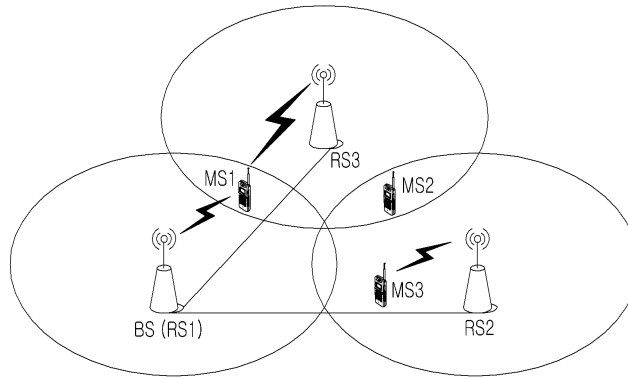
<89> 도 4b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 4-RS 시스템의 평균 전송 용량 누적 분포 함수 그래프

도면

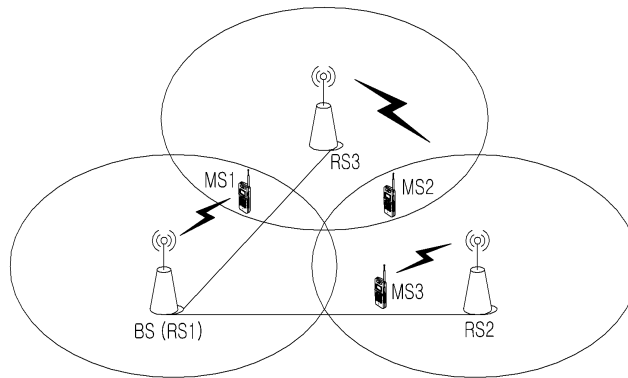
도면1



도면2

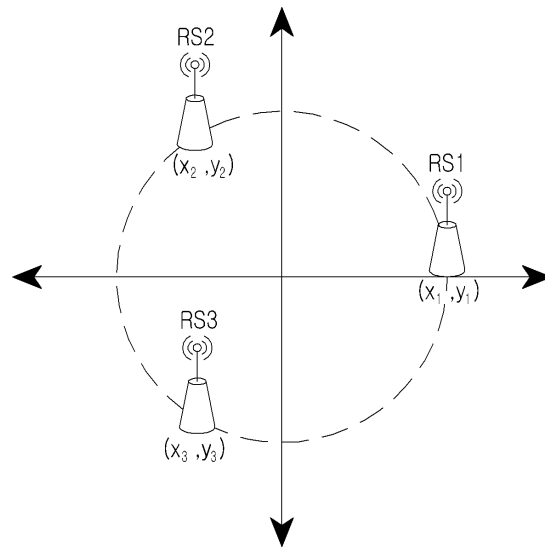


(a)

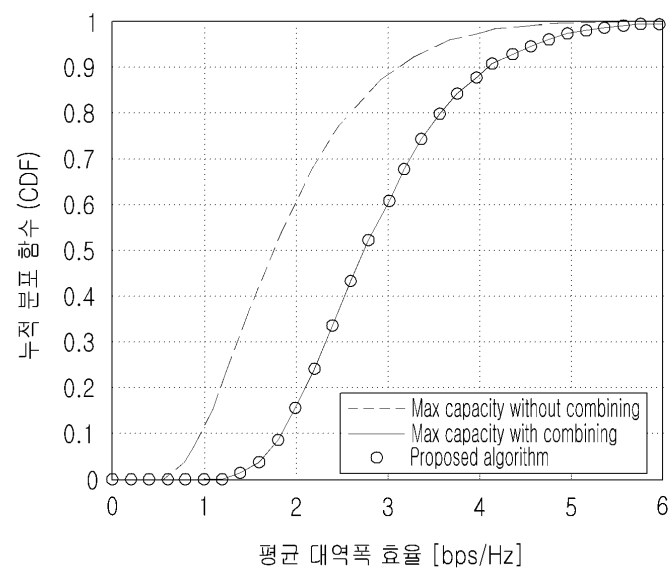


(b)

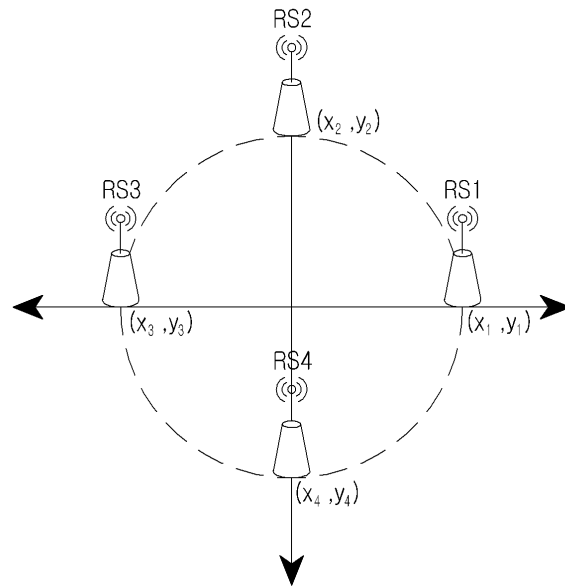
도면3a



도면3b



도면4a



도면4b

