



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년04월12일
(11) 등록번호 10-1725664
(24) 등록일자 2017년04월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 52/28 (2009.01) H04B 7/04 (2017.01)
H04W 52/08 (2009.01) H04W 52/24 (2009.01)
H04W 52/36 (2009.01) H04W 52/42 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04W 52/282 (2013.01)
H04B 7/0417 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0138794
(22) 출원일자 2015년10월01일
심사청구일자 2015년10월01일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020050027682 A
KR1020040080366 A
KR1020050080366 A

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
송형규
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17 320동 303호 (서현동, 시범단지한양아파트)
하창빈
서울특별시 성북구 장위로26길 11-12 2층 (장위동)
김용준
경기도 화성시 우정읍 조암동로 58, 110동 1201호
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 12 항

심사관 : 최상호

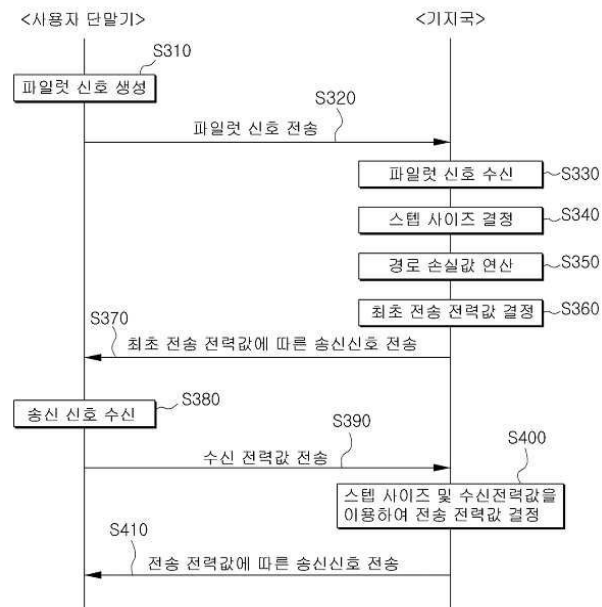
(54) 발명의 명칭 MIMO 시스템 및 그것을 기반으로 하는 송신 신호 전력 제어 방법

(57) 요약

본 발명은 MIMO 시스템 및 그것을 기반으로 하는 송신 신호 전력 제어 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, MIMO 시스템 기반의 송신 신호 전력 제어 방법은 기지국이 사용자 단말기로부터 파일럿 신호를 수신하는 단계, 상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기의 이동 속도를 연산하는 단계, 상기 연산된 이동 속도에 대응

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도3



되는 기 저장된 고속 페이딩 샘플들을 이용하여 상기 사용자 단말기의 전력 제어 스텝 사이즈를 결정하는 단계, 상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기로 전송하기 위한 송신 신호의 최초 전송 전력 값을 결정하는 단계, 상기 최초 전송 전력 값에 따라 상기 송신 신호를 상기 사용자 단말기로 전송하고 상기 사용자 단말기로부터 상기 송신 신호의 수신 전력 값을 수신하는 단계, 상기 수신 전력 값 및 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 이용하여 상기 송신 신호의 전송 전력 값을 결정하는 단계, 그리고 상기 전송 전력 값에 따라 상기 송신 신호를 상기 사용자 단말기로 전송하는 단계를 포함한다. 이와 같이 본 발명에 따르면, 사용자 단말기의 이동성에 따른 수신 신호 전력의 변동에 적응적으로 기지국의 송신 전력을 제어함으로써, 빔포밍의 성능을 안정적으로 유지할 수 있을 뿐만 아니라, 최적의 전송 전력을 유지함으로써 MIMO 시스템의 전력을 효율적으로 제어할 수 있다.

(52) CPC특허분류

H04B 7/0426 (2013.01)

H04W 52/08 (2013.01)

H04W 52/242 (2013.01)

H04W 52/362 (2013.01)

H04W 52/42 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711016865

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원

연구과제명 고속 주행 환경에서 무선 인지 지능형 차량 협력 통신 기술 개발

기 여 율 1/2

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2014.12.01 ~ 2015.11.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711026773

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 정보통신기술인력양성

연구과제명 다중센서 융·복합 기반 실시간 모바일 교통정보시스템 개발

기 여 율 1/2

주관기관 한국교통대학교 산학협력단

연구기간 2015.01.01 ~ 2015.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

MIMO 시스템 기반의 송신 신호 전력 제어 방법에 있어서,
 기지국이 사용자 단말기로부터 파일럿 신호를 수신하는 단계,
 상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기의 이동 속도를 연산하는 단계,
 상기 연산된 이동 속도에 대응되는 기 저장된 고속 페이딩 샘플들을 이용하여 상기 사용자 단말기의 전력 제어 스텝 사이스를 결정하는 단계,
 상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기로 전송하기 위한 송신 신호의 최초 전송 전력 값을 결정하는 단계,
 상기 최초 전송 전력 값에 따라 상기 송신 신호를 상기 사용자 단말기로 전송하고 상기 사용자 단말기로부터 상기 송신 신호의 수신 전력 값을 수신하는 단계,
 상기 수신 전력 값 및 상기 전력 제어 스텝 사이스를 이용하여 상기 송신 신호의 전송 전력 값을 결정하는 단계, 그리고
 상기 전송 전력 값에 따라 상기 송신 신호를 상기 사용자 단말기로 전송하는 단계를 포함하는 송신 신호 전력 제어 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 사용자 단말기의 이동 속도를 연산하는 단계는,
 최대 우도 추정법을 통해 상기 파일럿 신호를 분석하여 상기 사용자 단말기의 정규화된 도플러 주파수를 추정하는 단계, 그리고,
 상기 정규화된 도플러 주파수를 아래의 수학적식에 적용하여 상기 사용자 단말기의 이동 속도(v)를 연산하는 단계를 포함하는 송신 신호 전력 제어 방법:

$$v = \frac{f_{nd} \cdot c \cdot f_s}{f_c}$$

여기서, f_{nd} 는 상기 정규화된 도플러 주파수를 의미하고, c 는 빛의 속도를 의미하고, f_s 는 상기 MIMO 시스템의 부반송파 주파수 간격을 의미하고, f_c 는 상기 MIMO 시스템의 반송파 주파수를 의미한다.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 전력 제어 스텝 사이스를 결정하는 단계는,
 상기 이동 속도에 대응하는 기 저장된 고속 페이딩 샘플들을 선택하는 단계,
 상기 선택된 고속 페이딩 샘플들의 평균 편차를 연산하는 단계, 그리고
 상기 평균 편차를 상기 전력 제어 스텝 사이스로 결정하는 단계를 포함하는 송신 신호 전력 제어 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 고속 페이딩 샘플들의 평균 편차를 연산하는 단계는,

아래의 수학적식을 통해 상기 고속 페이딩 샘플들의 평균 편차를 연산하는 송신 신호 전력 제어 방법:

$$Step\ size = \frac{1}{q} \sum_{i=2}^q |FF(i) - FF(i-1)|$$

여기서 q는 상기 고속 페이딩 샘플들의 개수를 의미하고, FF는 상기 고속 페이딩 샘플들의 집합을 의미하고, i는 상기 고속 페이딩 샘플들의 인덱스 번호를 의미한다.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 최초 전송 전력 값을 결정하는 단계는,

상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기의 위치에 따른 송신 신호 전력의 경로 손실 값을 연산하는 단계, 그리고

상기 경로 손실 값과 기 저장된 MIMO 시스템 파라미터를 이용하여 상기 최초 전송 전력 값을 결정하는 단계를 포함하는 송신 신호 전력 제어 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 송신 신호의 전송 전력 값을 결정하는 단계는,

상기 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 크면, 상기 최초 전송 전력 값에서 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 뺀 값을 상기 전송 전력 값으로 결정하고,

상기 수신 전력 값이 상기 기준 수신 전력 값보다 작으면, 상기 최초 전송 전력 값에서 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 더한 값을 상기 전송 전력 값으로 결정하며,

상기 수신 전력 값이 상기 기준 수신 전력 값과 같으면, 상기 최초 전송 전력 값을 상기 전송 전력 값으로 결정하는 송신 신호 전력 제어 방법.

청구항 7

기지국 및 복수의 사용자 단말기를 포함하는 MIMO 시스템에 있어서,

상기 기지국은,

사용자 단말기로부터 수신한 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기의 이동 속도를 연산하는 연산부,

상기 연산된 이동 속도에 대응되는 기 저장된 고속 페이딩 샘플들을 이용하여 상기 사용자 단말기의 전력 제어 스텝 사이즈를 결정하는 스텝 사이즈 결정부,

상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기로 전송하기 위한 송신 신호의 최초 전송 전력 값을 결정하는 전송 전력 결정부, 그리고

상기 최초 전송 전력 값에 따라 상기 송신 신호를 상기 사용자 단말기로 전송하고 상기 사용자 단말기로부터 상기 송신 신호의 수신 전력 값을 수신하는 통신부를 포함하며,

상기 전송 전력 결정부는,

상기 수신 전력 값 및 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 이용하여 상기 송신 신호의 전송 전력 값을 결정하고,

상기 통신부는,

상기 전송 전력 값에 따라 상기 송신 신호를 상기 사용자 단말기로 전송하는 MIMO 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 연산부는,

최대 우도 추정법을 통해 상기 파일럿 신호를 분석하여 상기 사용자 단말기의 정규화된 도플러 주파수를 추정하고, 상기 정규화된 도플러 주파수를 아래의 수학식에 적용하여 상기 사용자 단말기의 이동 속도(v)를 연산하는 MIMO 시스템:

$$v = \frac{f_{nd} \cdot c \cdot f_s}{f_c}$$

여기서, f_{nd} 는 상기 정규화된 도플러 주파수를 의미하고, c 는 빛의 속도를 의미하고, f_s 는 상기 MIMO 시스템의 반송파 주파수 간격을 의미하고, f_c 는 상기 MIMO 시스템의 반송파 주파수를 의미한다.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 스텝 사이즈 결정부는,

상기 이동 속도에 대응하는 기 저장된 고속 페이딩 샘플들을 선택하고, 상기 선택된 고속 페이딩 샘플들의 평균 편차를 연산하며, 상기 평균 편차를 상기 전력 제어 스텝 사이즈로 결정하는 MIMO 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 스텝 사이즈 결정부는,

아래의 수학식을 통해 상기 고속 페이딩 샘플들의 평균 편차를 연산하는 MIMO 시스템:

$$Step\ size = \frac{1}{q} \sum_{i=2}^q |FF(i) - FF(i-1)|$$

여기서 q 는 상기 고속 페이딩 샘플들의 개수를 의미하고, FF 는 상기 고속 페이딩 샘플들의 집합을 의미하고, i 는 상기 고속 페이딩 샘플들의 인덱스 번호를 의미한다.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 전송 전력 결정부는,

상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기의 위치에 따른 송신 신호 전력의 경로 손실 값을 연산하고, 상기 경로 손실 값과 기 저장된 MIMO 시스템 파라미터를 이용하여 상기 최초 전송 전력 값을 결정하는 MIMO 시스템.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 전송 전력 결정부는,

상기 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 크면, 상기 최초 전송 전력 값에서 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 뺀 값을 상기 전송 전력 값으로 결정하고,

상기 수신 전력 값이 상기 기준 수신 전력 값보다 작으면, 상기 최초 전송 전력 값에서 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 더한 값을 상기 전송 전력 값으로 결정하며,

상기 수신 전력 값이 상기 기준 수신 전력 값과 같으면, 상기 최초 전송 전력 값을 상기 전송 전력 값으로 결정하는 MIMO 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 MIMO 시스템 및 그것을 기반으로 하는 송신 신호 전력 제어 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 사용자 단말기의 이동성을 고려하여 기지국의 송신 전력을 제어하는 MIMO 시스템 및 그것을 기반으로 하는 송신 신호 전력 제어 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 인터넷 서비스, 고화질 영상 등을 지원하는 단말의 급속한 증가로 인하여 데이터 트래픽에 대한 수요가 급속하게 증가하고 있으며, 데이터 트래픽에 대한 수요를 충족시키기 위하여 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위한 통신 시스템 개발에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

[0003] 특히 이러한 통신 시스템 중 MIMO 시스템은 4세대 통신과 3세대 통신을 구분하는 핵심 기술로서, 전파를 주고받는 안테나의 개수를 늘리는 방식을 통해 통신 속도를 향상시키고 있으며, 현재 송신단과 수신단에서 다중의 안테나를 사용하여 데이터 전송률을 향상시키는 SU-MIMO 시스템과 기지국의 다중의 안테나에서 동시에 여러 단말들에게 신호를 전송하는 MU-MIMO 시스템이 상용화되어 사용되고 있다.

[0004] 그러나 SU-MIMO나 MU-MIMO와 같은 시스템들은 다른 안테나로부터의 간섭 신호들 때문에 안테나 수에 비례하는 스펙트럼 효율을 얻을 수 없는 단점이 있으며, 최근에는 이러한 문제점을 해결하고자 5세대 통신으로 핵심 기술로서, 기지국에서 안테나 어레이를 사용하는 massive MIMO 시스템에 대한 연구가 진행 중이다.

[0005] 하지만, Massive MIMO 시스템의 경우 단말을 사용하는 사용자의 이동성에 의해 수신 신호 전력이 빠르게 변화하고, 이로 인하여 간섭 신호들을 제거하기 위한 빔포밍의 성능이 떨어지는 문제점이 있다.

[0006] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국등록특허 제10-0917300호(2009.09.11공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 사용자 단말기의 이동성을 고려하여 기지국의 송신 전력을 제어하는 MIMO 시스템 및 그것을 기반으로 하는 송신 신호 전력 제어 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면 MIMO 시스템 기반의 송신 신호 전력 제어 방법이 있어서, 기지국이 사용자 단말기로부터 파일럿 신호를 수신하는 단계, 상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기의 이동 속도를 연산하는 단계, 상기 연산된 이동 속도에 대응되는 기 저장된 고속 페이딩 샘플들을 이용하여 상기 사용자 단말기의 전력 제어 스텝 사이즈를 결정하는 단계, 상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기로 전송하기 위한 송신 신호의 최초 전송 전력 값을 결정하는 단계, 상기 최초 전송 전력 값에 따라 상기 송신 신호를 상기 사용자 단말기로 전송하고 상기 사용자 단말기로부터 상기 송신 신호의 수신 전력 값을 수신하는 단계, 상기 수신 전력 값 및 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 이용하여 상기 송신 신호의 전송 전력 값을 결정하는 단계, 그리고 상기 전송 전력 값에 따라 상기 송신 신호를 상기 사용자 단말기로 전송하는 단계를 포함한다.

[0009] 상기 사용자 단말기의 이동 속도를 연산하는 단계는, 최대 우도 추정법을 통해 상기 파일럿 신호를 분석하여 상기 사용자 단말기의 정규화된 도플러 주파수를 추정하는 단계, 그리고 상기 정규화된 도플러 주파수를 아래의 수학식에 적용하여 상기 사용자 단말기의 이동 속도(v)를 연산하는 단계를 포함할 수 있다.

$$v = \frac{f_{nd} \cdot c \cdot f_s}{f_c}$$

[0010]

[0011] 여기서, f_{nd} 는 상기 정규화된 도플러 주파수를 의미하고, c 는 빛의 속도를 의미하고, f_s 는 상기 MIMO 시스템의 반송파 주파수 간격을 의미하고, f_c 는 상기 MIMO 시스템의 반송파 주파수를 의미한다.

[0012] 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 결정하는 단계는, 상기 이동 속도에 대응하는 기 저장된 고속 페이딩 샘플들을 선택하는 단계, 상기 선택된 고속 페이딩 샘플들의 평균 편차를 연산하는 단계, 그리고 상기 평균 편차를 상기 전력 제어 스텝 사이즈로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 고속 페이딩 샘플들의 평균 편차를 연산하는 단계는, 아래의 수학적식을 통해 상기 고속 페이딩 샘플들의 평균 편차를 연산할 수 있다.

$$Step\ size = \frac{1}{q} \sum_{i=2}^q |FF(i) - FF(i-1)|$$

[0014] 여기서, q는 상기 고속 페이딩 샘플들의 개수를 의미하고, FF는 상기 고속 페이딩 샘플들의 집합을 의미하고, i는 상기 고속 페이딩 샘플들의 인덱스 번호를 의미한다.

[0015] 상기 최초 전송 전력 값을 결정하는 단계는, 상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기의 위치에 따른 송신 신호 전력의 경로 손실 값을 연산하는 단계, 그리고 상기 경로 손실 값과 기 저장된 MIMO 시스템 파라미터를 이용하여 상기 최초 전송 전력 값을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 송신 신호의 전송 전력 값을 결정하는 단계는, 상기 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 크면, 상기 최초 전송 전력 값에서 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 뺀 값을 상기 전송 전력 값으로 결정하고, 상기 수신 전력 값이 상기 기준 수신 전력 값보다 작으면, 상기 최초 전송 전력 값에서 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 더한 값을 상기 전송 전력 값으로 결정하며, 상기 수신 전력 값이 상기 기준 수신 전력 값과 같으면, 상기 최초 전송 전력 값을 상기 전송 전력 값으로 결정할 수 있다.

[0017] 본 발명의 다른 실시예에 따른 기지국 및 복수의 사용자 단말기를 포함하는 MIMO 시스템에 있어서, 상기 기지국은, 사용자 단말기로부터 수신한 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기의 이동 속도를 연산하는 연산부, 상기 연산된 이동 속도에 대응되는 기 저장된 고속 페이딩 샘플들을 이용하여 상기 사용자 단말기의 전력 제어 스텝 사이즈를 결정하는 스텝 사이즈 결정부, 상기 파일럿 신호를 이용하여 상기 사용자 단말기로 전송하기 위한 송신 신호의 최초 전송 전력 값을 결정하는 전송 전력 결정부, 그리고 상기 최초 전송 전력 값에 따라 상기 송신 신호를 상기 사용자 단말기로 전송하고 상기 사용자 단말기로부터 상기 송신 신호의 수신 전력 값을 수신하는 통신부를 포함하며, 상기 전송 전력 결정부는, 상기 수신 전력 값 및 상기 전력 제어 스텝 사이즈를 이용하여 상기 송신 신호의 전송 전력 값을 결정하고, 상기 통신부는, 상기 전송 전력 값에 따라 상기 송신 신호를 상기 사용자 단말기로 전송한다.

발명의 효과

[0018] 이와 같이 본 발명에 따르면, 사용자 단말기의 이동성으로 인한 수신 신호 전력의 변동에 적응적으로 기지국의 송신 전력을 제어함으로써, Massive MIMO 시스템에서 사용하는 빔포밍의 성능을 안정적으로 유지할 수 있을 뿐만 아니라, 최적의 전송 전력을 유지함으로써 MIMO 시스템의 전력을 효율적으로 제어할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 기지국의 구성도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 송신 신호 전력 제어 방법에 대한 순서도이다.

도 4는 S340 단계의 순서도이다.

도 5는 기지국의 안테나 및 단말기 수에 따른 정규화된 도플러 주파수의 추정 결과를 나타낸 도면이다.

도 6은 사용자 단말기의 이동 속도에 따른 고속 페이딩 샘플들의 예시를 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 S410 내지 S480 단계의 순서도이다.

도 8a는 낮은 SNR 방향에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

도 8b는 높은 SNR 방향에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 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.
- [0022] 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 있다는 것을 의미한다.
- [0023] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.
- [0024] 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 시스템은 Massive MIMO 시스템에 기반한다. 여기서, Massive MIMO(Massive Multiple Input Multiple output)란, 단일 기지국 장비에 수백 개 이상의 LTE 안테나를 장착해 이동통신 속도를 향상시키는 기술로서, 기지국에 장착된 수백개 안테나들이 동시에 전파를 송수신하는 '빔(Beam)'을 형성해, 전파 도달 범위 내 이용자에게 데이터를 전달하는 방식으로 통신하는 기술을 말한다.
- [0025] 그러면, 도 1을 통해 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 시스템에 대하여 살펴본다. 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 시스템을 설명하기 위한 도면이다.
- [0026] 도 1에서 보는 바와 같이, MIMO 시스템은 복수의 사용자 단말기(100) 및 기지국(200)을 포함하며, 기지국(200)은 복수의 안테나를 포함한다. 기지국(200)에 포함된 복수의 안테나들은 빔포밍 기법을 이용하여 각 단말기로 송신 신호를 전송하게 되나(큰 화살표), 기지국(200)의 안테나는 무지향성이므로 목표표 하는 사용자 단말기(100) 이외의 사용자 단말기(100)를 향해서도 송신 신호를 송출하게 된다(작은 화살표). 즉, 각 사용자 단말기(100)가 수신하는 작은 화살표의 송신 신호는 각 사용자 단말기(100)의 입장에서 간섭 신호로 작용하게 된다.
- [0027] 그러므로, 본 발명의 MIMO 시스템은 이러한 간섭 신호를 제거하기 위하여 프리코딩 기법을 사용한다. 다만, 사용자 단말기(100)가 송신 신호를 수신할 때, 사용자 단말기(100)의 이동성으로 인하여 수신 전력이 감소할 수 있으며, 이로 인해 빔포밍의 성능이 하향될 수 있다.
- [0028] 이러한 수신 전력의 감소 문제를 해결, 즉 빔포밍의 성능을 유지하기 위하여, 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 시스템은 사용자 단말기(100)의 이동 속도를 고려하여 기지국(200)의 송신 신호 전력을 제어한다.
- [0029] 구체적으로, 각 사용자 단말기(100)는 각각이 매칭되는 기지국(200)의 안테나로 파일럿 신호를 전송하고, 기지국(200)은 파일럿 신호를 분석하여 각 사용자 단말기(100)의 이동 속도를 연산하여 송신 신호의 전송 전력을 제어하기 위한 각 사용자 단말기(100)의 전력 제어 스텝 사이즈를 결정한다.
- [0030] 또한, 기지국(200)은 파일럿 신호를 이용하여 각 사용자 단말기(100)의 위치에 따른 송신 전력의 경로 손실 값을 연산한 후, 기 저장된 MIMO 시스템의 파라미터와 경로 손실 값을 이용하여 각 사용자 단말기(100)로 전송할 전송 신호의 최초 전송 전력 값을 연산한다.
- [0031] 그러면, 기지국(200)은 최초 전송 전력 값에 따라 송신 신호를 각 사용자 단말기(100)로 전송하게 되고, 사용자 단말기(100)는 최초 전송 전력 값에 따라 전송된 송신 신호의 수신 전력 값을 기지국(200)으로 전송한다.
- [0032] 다음으로, 기지국(200)은 사용자 단말기(100)의 수신 전력 값, 기준 수신 전력 값 및 전력 제어 스텝 사이즈를 이용하여 송신 신호의 전송 전력 값을 결정하고, 결정된 전송 전력 값에 따라 송신 신호를 전송한다.
- [0033] 그리고, 각 사용자 단말기(100)는 수신되는 송신 신호의 수신 전력 값을 실시간으로 기지국(200)에 전송하며, 기지국(200)은 실시간으로 송신 신호의 전송 전력 값을 결정한 후 송신 신호를 각 사용자 단말기(100)로 전송한다.
- [0034] 그러면, 도 2를 통해 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 시스템의 기지국(200)에 대하여 살펴본다. 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 기지국의 구성도이다.
- [0035] 도 2에서 보는 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 기지국(200)은 연산부(210), 스텝 사이즈 결정부(220), 전송 전력 결정부(230) 및 통신부(240)를 포함한다.
- [0036] 먼저, 연산부(210)는 사용자 단말기(100)로부터 수신한 파일럿 신호를 이용하여 사용자 단말기(100)의 이동 속

도를 연산한다. 구체적으로, 연산부(210)는 최대 우도 추정법을 통해 파일럿 신호를 분석하여 사용자 단말기(100)의 정규화된 도플러 주파수를 추정하며, 추정된 정규화된 도플러 주파수를 이용하여 사용자 단말기(100)의 이동 속도를 연산한다.

[0037] 그리고, 스텝 사이즈 결정부(220)는 이동 속도에 대응하는 고속 페이딩 샘플들을 선택한다. 이때, 고속 페이딩 샘플은 이동 속도에 대응하는 신호의 수신 전력의 감쇄 정도를 나타낸 데이터로서, 각 이동 속도에 대응하여 복수의 샘플들이 존재하며, 기지국(200)에 기 저장되어 있다.

[0038] 또한, 스텝 사이즈 결정부(220)는 선택된 고속 페이딩 샘플들의 평균 편차를 연산한 후, 평균 편차를 전력 제어 스텝 사이즈로 결정한다. 그리고 평균 편차는 사용자 단말기(100)의 이동 속도에 대응하여 기 저장되어 있을 수 있다.

[0039] 다음으로, 전송 전력 결정부(230)는 파일럿 신호를 이용하여 사용자 단말기(100)의 위치에 따른 경로 손실 값을 연산한다. 그리고 전송 전력 결정부(230)는 경로 손실 값과 사용자 단말기(100)의 기준 수신 전력 값을 이용하여 최초 전송 전력 값을 결정한다. 이때, 기준 수신 전력 값은 기 저장되어 있거나 사용자 단말기(100)로부터 전송받을 수 있으며, 파일럿 신호에 포함되어 있을 수 있다.

[0040] 또한, 전송 전력 결정부(230)는 최초 전송 전력 값에 따라 전송된 송신 신호의 수신 전력 값 및 사용자 단말기(100)의 기준 수신 전력 값을 이용하여 송신 신호의 전송 전력 값을 결정한다.

[0041] 구체적으로, 전송 전력 결정부(230)는 수신 전력 값과 기준 수신 전력 값의 비교 결과, 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 크면, 최초 전송 전력 값에서 전력 제어 스텝 사이즈를 뺀 값을 전송 전력 값으로 결정한다. 그리고 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 작으면, 최초 전송 전력 값에서 전력 제어 스텝 사이즈를 뺀 값을 전송 전력 값으로 결정하며, 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값과 같으면, 최초 전송 전력 값을 전송 전력 값으로 결정한다.

[0042] 다음으로, 통신부(240)는 최초 전송 전력 값에 따라 송신 신호를 사용자 단말기(100)로 전송하고, 사용자 단말기(100)로부터 최초 전송 전력 값에 따라 전송된 송신 신호의 수신 전력 값을 수신한다.

[0043] 또한, 통신부(240)는 전송 전력 값에 따라 송신 신호를 사용자 단말기(100)로 전송하며, 사용자 단말기(100)로부터 전송 전력 값에 따라 전송된 송신 신호의 수신 전력 값을 수신할 수 있다.

[0044] 다음으로 도 3 내지 도 7을 통해 본 발명의 실시예에 따른 MIMO 시스템 기반의 송신 신호 전력 제어 방법에 대하여 살펴본다. 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 송신 신호 전력 제어 방법에 대한 순서도이다.

[0045] 우선, 사용자 단말기(100)는 파일럿 신호를 생성하고(S310), 생성된 파일럿 신호를 기지국(200)으로 전송한다(S320). 여기서, 파일럿 신호(Pilot signal)란 데이터 변복조 방식을 취하는 데이터 전송 분야에서 사용되는 신호로서, 수신 측에서 복조용 기준 반송파나 타이밍을 얻기 위해 송신 측에 보내는 신호를 의미하며, 본 발명에서는 파일럿 신호를 이용하여 사용자 단말기(100)의 이동 속도 및 사용자 단말기(100)의 위치 정보 등을 획득한다.

[0046] 그리고, 기지국(200)은 파일럿 신호를 수신하고(S330), 파일럿 신호를 이용하여 전력 제어 스텝 사이즈를 결정한다(S340).

[0047] 그러면 도 4를 통해 기지국이 전력 제어 스텝 사이즈를 결정하는 방법에 대해 살펴본다. 도 4는 S340 단계의 순서도이다.

[0048] 도 4에서 보는 바와 같이, 기지국은 사용자 단말기(100)의 정규화된 도플러 주파수를 추정한다(S341).

[0049] 구체적으로, 기지국(200)은 파일럿 신호를 최대 우도 추정법을 통해 분석하여 사용자 단말기(100)의 정규화된 도플러 주파수를 추정한다. 여기서 최대 우도법(Maximum Likelihood Method)이란 우도값이 최대가 되도록 모수를 추정하는 통계적 방법을 말하며, 본 발명에서는 정규화된 도플러 주파수를 추정한다.

[0050] 그리고, 기지국(200)은 정규화된 도플러 주파수 추정시, 기 저장된 MIMO 시스템 파라미터를 이용할 수 있다. 이때, MIMO 시스템 파라미터는 MIMO 시스템의 반송파 주파수 및 부반송파 주파수 간격, 변조 방식, 기지국(200)의 안테나 개수 및 기본 송신 전력, 사용자 단말기(100)의 기본 송신 전력 등을 포함한다.

[0051] 도 5는 기지국의 안테나 및 단말기 수에 따른 정규화된 도플러 주파수의 추정 결과를 나타낸 도면이다. 도 5는 사용자 단말기(100)의 이동 속도가 3km/h와 60km/h라고 가정한 경우에서의 정규화된 도플러 주파수를 나타내며,

상관도가 높은 지점의 x축 값이 정규화된 도플러 주파수로 추정된다. 도 5를 살펴보면, 3km/h의 이동 속도에서는 상관도가 가장 높은 $\pm 0.016\text{Hz}$ 가 정규화된 도플러 주파수로 추정되고, 60km/h의 이동 속도에서는 $\pm 0.311\text{Hz}$ 가 정규화된 도플러 주파수로 추정된다.

[0052] 도 5에서 K는 사용자 단말기(100)의 개수를 의미하고 N은 기지국(200) 안테나의 개수를 의미하며, 기지국(200) 안테나의 개수가 사용자 단말기(100)의 개수에 비해 상대적으로 많을수록 추정 정확도가 높아짐을 확인할 수 있다.

[0053] S341단계에 정규화된 도플러 주파수를 추정한 다음, 기지국(200)은 정규화된 도플러 주파수를 이용하여 사용자 단말기(100)의 이동 속도를 연산한다(S342). 구체적으로 기지국(200)은 아래의 수학적 식 1을 이용하여 사용자 단말기(100)의 이동 속도를 연산한다.

수학적 식 1

$$v = \frac{f_{nd} \cdot c \cdot f_s}{f_c}$$

[0054]

[0055] 여기서, f_{nd} 는 상기 정규화된 도플러 주파수를 의미하고, c 는 빛의 속도를 의미하고, f_s 는 상기 MIMO 시스템의 반송파 주파수 간격을 의미하고, f_c 는 상기 MIMO 시스템의 반송파 주파수를 의미한다.

[0056] 수학적 식 1은 수학적 식 2와 수학적 식 3을 정리함으로써 표현될 수 있다.

수학적 식 2

$$f_d = \frac{v \cdot f_c}{c}$$

[0057]

[0058] 여기서, f_d 는 사용자 단말기(100)의 도플러 주파수를 의미한다.

수학적 식 3

$$f_{nd} = \frac{f_d}{f_s} = \frac{v \cdot f_c}{c \cdot f_s}$$

[0059]

[0060] 그러면, 기지국(200)은 사용자 단말기(100)의 이동 속도에 대응되는 기 저장된 고속 페이딩 샘플을 선택한다(S343).

[0061] 여기서 고속 페이딩이란, 시간 선택적 페이딩(Time selective fading)의 일종으로 송신 신호가 채널의 변화 정도에 따라 빠르게 변하는 것을 말하며, 도플러 확산에 의해 생성된다. 본 발명에서는 사용자 단말기(100)의 이동 속도에 의해 송신 신호가 빠르게 변하는 것을 의미한다.

[0062] 도 6은 사용자 단말기의 이동 속도에 따른 고속 페이딩 샘플들의 예시를 나타낸 도면이다. 도 6은 사용자 단말기(100)의 이동 속도가 3km/h와 60km/h인 두 경우의 고속 페이딩 샘플들을 나타내며, 각각의 이동 속도당 10000개의 샘플들을 포함하고 있다.

[0063] 도 6에서 나타난 바와 같이, 3km/h의 이동 속도에 대응하는 고속 페이딩 샘플들에 비해 60km/h의 이동 속도에 대응하는 고속 페이딩 샘플들의 채널의 감쇄 정도가 더 크다. 즉, 3km/h의 이동 속도보다 60km/h의 이동 속도에서 송신 신호가 빠르게 변한다는 것을 알 수 있다.

[0064] 그리고, 기지국(200)은 선택된 샘플들의 평균 편차를 연산한 후(S344), 연산된 평균 편차를 송신 신호의 전력

제어 스텝 사이즈로 결정한다(S345).

[0065] 구체적으로, 기지국(200)은 아래의 수학적식 4를 이용하여 고속 페이딩 샘플들의 평균 편차를 연산한다.

수학적식 4

$$Step\ size = \frac{1}{q} \sum_{i=2}^q |FF(i) - FF(i-1)|$$

[0066]

[0067] 여기서, q는 고속 페이딩 샘플들의 개수를 의미하고, FF는 고속 페이딩 샘플들의 집합을 의미하고, i는 고속 페이딩 샘플들의 인덱스 번호를 의미한다.

[0068] 다음으로, 기지국(200)은 S330단계에서 수신받은 파일럿 신호를 이용하여 사용자 단말기(100)의 위치에 따른 송신 신호 전력의 경로 손실 값을 연산한다(S350).

[0069] 구체적으로, 경로 손실 값은 수신받은 파일럿 신호와 기 저장된 MIMO 시스템의 파라미터를 이용하여 연산되며, 이때 MIMO 시스템 파라미터로 사용자 단말기(100)의 기본 송신 전력이 이용된다.

[0070] 예를 들어, 기 저장된 MIMO 시스템 파라미터 중 사용자 단말기(100)의 기본 송신 전력이 23dB이고, 기지국(200)이 전송받은 파일럿 신호의 수신 전력이 13dB라고 가정하는 경우, 사용자 단말기(100)의 위치에 따른 송신 신호 전력의 경로 손실 값은 10dB가 된다.

[0071] 즉, 경로 손실 값은 사용자 단말기(100)의 기본 송신 전력에서 기지국(200)이 전송받은 파일럿 신호의 수신 전력을 뺀 값이 된다(경로 손실 값 = 사용자 단말기(100)의 기본 송신 전력 - 파일럿 신호의 수신 전력).

[0072] 그러면, 기지국(200)은 경로 손실 값을 이용하여 송신 신호의 최초 전송 전력 값을 결정한다(S360). 기지국(200)은 최초 전송 전력 값을 결정하기 위하여, 경로 손실 값과 MIMO 시스템 파라미터를 이용하며, 이때 MIMO 시스템 파라미터로 기지국(200)의 기본 송신 전력 값을 이용한다.

[0073] 예를 들어, 경로 손실 값이 10dB이고 기지국(200)의 기본 송신 전력 값이 50dB라고 가정하는 경우, 송신 신호의 최초 전송 전력 값은 60dB이 된다.

[0074] 즉, 송신 신호의 최초 전송 전력 값은 경로 손실 값과 기지국(200)의 기본 송신 전력 값을 합산한 값이 된다(최초 전송 전력 값 = 경로 손실 값 + 기지국(200)의 기본 송신 전력 값).

[0075] S360단계에서 최초 전송 전력 값이 결정되면, 기지국(200)은 최초 전송 전력 값에 따라 송신 신호를 사용자 단말기(100)로 전송한다(S370). 그리고, 사용자 단말기(100)는 S370 단계에서 기지국(200)이 전송한 송신 신호를 수신하고(S380), 수신한 송신 신호의 수신 전력 값을 기지국(200)으로 전송한다(S390).

[0076] 그러면, 기지국(200)은 사용자 단말기(100)로부터 전송받은 수신 전력 값과 전력 제어 스텝 사이즈를 이용하여 송신 신호의 전송 전력 값을 결정한다(S400).

[0077] 구체적으로, 기지국(200)은 수신 전력 값과 사용자 단말기(100)의 기준 수신 전력 값을 비교한다. 비교 결과, 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 크면, 기지국(200)은 최초 전송 전력 값에서 전력 제어 스텝 사이즈를 뺀 값을 전송 전력 값으로 결정한다(전송 전력 값 = 최초 전송 전력 값 - 전력 제어 스텝 사이즈).

[0078] 그리고, 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 작으면, 기지국(200)은 최초 전송 전력 값에서 전력 제어 스텝 사이즈를 더한 값을 전송 전력 값으로 결정하며(전송 전력 값 = 최초 전송 전력 값 + 전력 제어 스텝 사이즈), 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값과 같으면, 최초 전송 전력 값을 전송 전력 값으로 결정한다(전송 전력 값 = 최초 전송 전력 값).

[0079] 예를 들어, 최초 전송 전력 값이 60dB, 수신 전력 값이 53dB, 기준 수신 전력 값이 55dB, 전력 제어 스텝 사이즈가 3dB라고 가정하면, 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 작으므로(수신 전력 값(53dB)<기준 수신 전력 값(55dB)) 최초 전송 전력 값(60dB)에 전력 제어 스텝 사이즈(3dB)를 더한 값(60dB+3dB=63dB)을 전송 전력 값으로 결정한다.

[0080] 그러면, 기지국(200)은 전송 전력 값에 따라 송신 신호를 사용자 단말기(100)로 전송한다(S410).

- [0081] 그리고, 기지국(200)은 통신이 종료될 때까지 S410단계 내지 S480 단계를 순환시킴으로써, 송신 신호 전력 제어를 할 수 있다. 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 S410 내지 S480 단계의 순서도이다.
- [0082] 도 7에서 보는 바와 같이, 기지국(200)은 전송 전력 값에 따른 송신 신호를 사용자 단말기(100)로 전송하고(S410), 사용자 단말기(100)는 송신 신호를 수신한다(S420). 그리고, 기지국(200)은 사용자 단말기(100)로부터 송신 신호의 수신 전력 값을 전송받아(S430), 수신 전력 값과 기준 수신 전력 값을 비교한다(S440).
- [0083] 비교 결과, 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 크면, 기지국(200)은 이전 전송 전력 값에서 전력 제어 스텝 사이즈를 뺀 값을 전송 전력 값(전송 전력 값 = 이전 전송 전력 값 - 전력 제어 스텝 사이즈)으로 결정한다(S450, S480).
- [0084] 그리고, 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값과 같으면, 이전 전송 전력 값을 전송 전력 값(전송 전력 값 = 이전 전송 전력 값)으로 결정한다(S460, S480).
- [0085] 그리고, 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 작으면, 기지국(200)은 이전 전송 전력 값에서 전력 제어 스텝 사이즈를 더한 값을 전송 전력 값(전송 전력 값 = 이전 전송 전력 값 + 전력 제어 스텝 사이즈)으로 결정한다(S470, S480).
- [0086] 예를 들어, 기지국(200)이 S375단계에서 63dB로 송신 신호를 전송하고, 이에 대응하는 사용자 단말기(100)의 수신 전력 값이 57dB인 경우를 가정한다. 이때, 기준 수신 전력 값이 55dB라면 수신 전력 값이 기준 수신 전력 값보다 크므로, 전력 제어 스텝 사이즈가 3dB라고 할 때, 기지국(200)은 이전 전송 전력 값(63dB)에 전력 제어 스텝 사이즈(3dB)를 뺀 값인 60dB를 전송 전력 값으로 결정하여 60dB로 송신 신호를 사용자 단말기(100)에 전송한다.
- [0087] 그러면, 기지국(200)은 S480단계에서 결정된 전송 전력 값에 따라 송신 신호를 사용자 단말기(100)로 전송하게 된다(S410).
- [0088] 이하에서는 도 8a 및 도 8b를 통해 본 발명의 실시예에 따른 시뮬레이션 결과에 대하여 살펴본다. 도 8a와 도 8b는 동일한 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면으로, 도 8a는 낮은 SNR 방향에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이고, 도 8b는 높은 SNR 방향에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.
- [0089] 도 8a 및 도 8b에서 나타난 바와 같이, 본 발명의 시뮬레이션 결과는 스펙트럼 효율을 평가한 것으로, 사용자 단말기(100)에서의 SNR(Signal to Noise Ratio)과 사용자 단말기(100)의 개수를 변화시키면서 기존의 MIMO 시스템과 비교하였다. 기존의 MIMO 시스템은 사용자 단말기(100)의 이동성을 고려하지 않은 MIMO 시스템을 의미한다.
- [0090] 그리고 Massive MIMO 시스템에서는 항상 기지국(200)의 안테나의 수가 사용자 단말기(100)의 수보다 많다고 가정하는바, 도 8a 및 도 8b는 이러한 가정에 기반한 시뮬레이션 결과이다.
- [0091] 먼저, 도 8a 및 도 8b에서 나타난 각 사용자 단말기(100)에서의 스펙트럼 효율은 아래의 수학적 식 5를 통해 연산된다.

수학적 식 5

$$spectrum\ efficiency = \min(N, K) \cdot \log_2(1 + \frac{P}{I + W})$$

- [0092]
- [0093] 여기서, N은 기지국(200) 안테나의 개수, K는 사용자 단말기(100)의 개수, P는 사용자 단말기(100)의 수신 전력 값, I는 간섭 신호의 전력 값, W는 잡음의 전력 값을 의미한다.
- [0094] 수학적 식 5에서 보는 바와 같이, 간섭 신호(I)가 프리코딩에 의해 완벽하게 제거된다면, MIMO 시스템의 스펙트럼 효율은 사용자 단말기(100)의 수(K)가 증가함에 따라 선형적으로 증가하게 되나, 그렇지 않은 경우 간섭 신호의 전력 값(I)은 사용자 단말기(100)의 수(K)가 증가함에 따라 함께 증가하므로, 스펙트럼 효율은 감소하게 된다. 그러므로 그래프의 형태는 스펙트럼 효율이 좋을수록 볼록한 형태로 나타난다.
- [0095] 도 8a 및 도 8b에서는, 본 발명의 스펙트럼 효율 곡선이 기존 MIMO 시스템의 스펙트럼 효율 곡선에 비해 볼록한

형태를 띄고 있으므로, 스펙트럼 효율이 기존 MIMO 시스템에 비해 좋음을 알 수 있다.

[0096] 도 8a 및 도 8b의 결과를 구체적으로 살펴보면, SNR이 -10인 경우, 전력 제어를 사용하지 않았을 때의 스펙트럼 효율의 최대값은 15.54bit/s/Hz이고, 기존의 MIMO 시스템을 사용했을 때는 17.32bit/s/Hz, 본 발명을 사용했을 때는 20.92bit/s/Hz로 기존의 방법에 비해 본 발명이 약 20.8% 증가된 스펙트럼 효율을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0097] 또한 SNR이 25인 경우, 전력 제어를 사용하지 않았을 때의 스펙트럼 효율의 최대값은 26.79bit/s/Hz, 기존의 MIMO 시스템을 사용했을 때는 31.65bit/s/Hz, 본 발명을 사용했을 때는 41.84bit/s/Hz로 기존의 방법에 비해 본 발명이 약 32.2% 증가된 스펙트럼 효율을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0098] 본 발명의 실시예에 따르면, 사용자 단말기의 이동성으로 인한 수신 신호 전력의 변동에 적응적으로 기지국의 송신 전력을 제어함으로써, Massive MIMO 시스템에서 사용하는 빔포밍의 성능을 안정적으로 유지할 수 있을 뿐만 아니라, 최적의 전송 전력을 유지함으로써 MIMO 시스템의 전력을 효율적으로 제어할 수 있다.

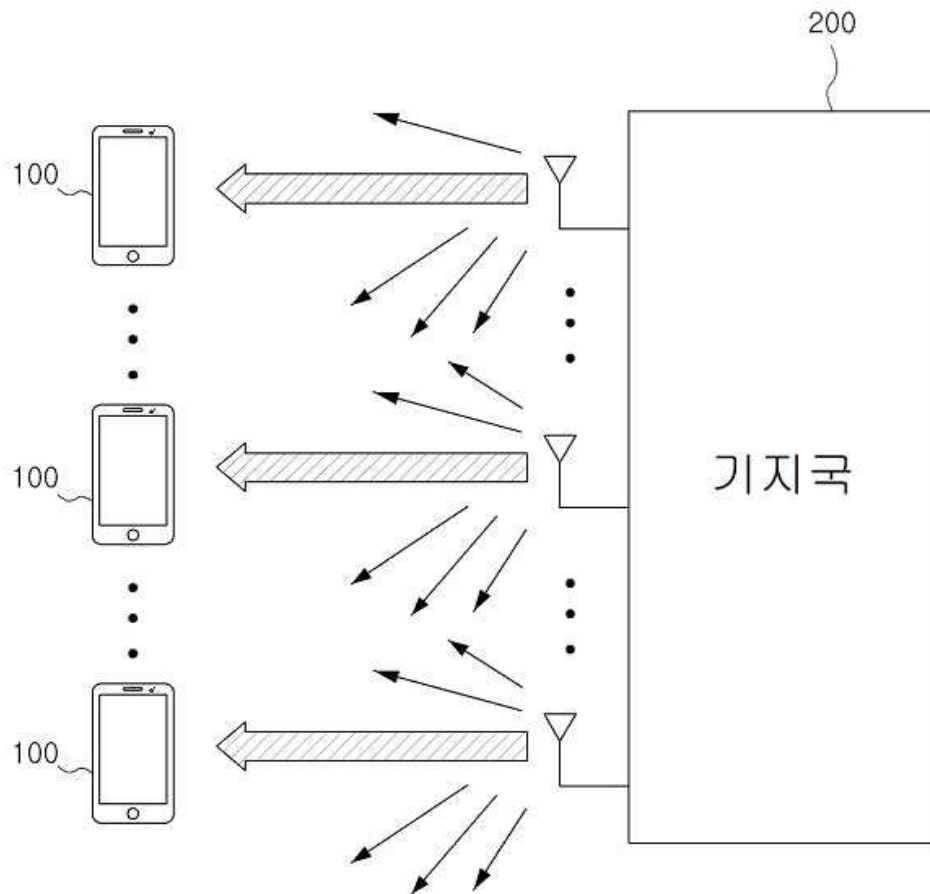
[0099] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0100]	100 : 사용자 단말기	200 : 기지국
	210 : 연산부	220 : 스텝 사이즈 결정부
	230 : 전송 전력 결정부	240 : 통신부

도면

도면1



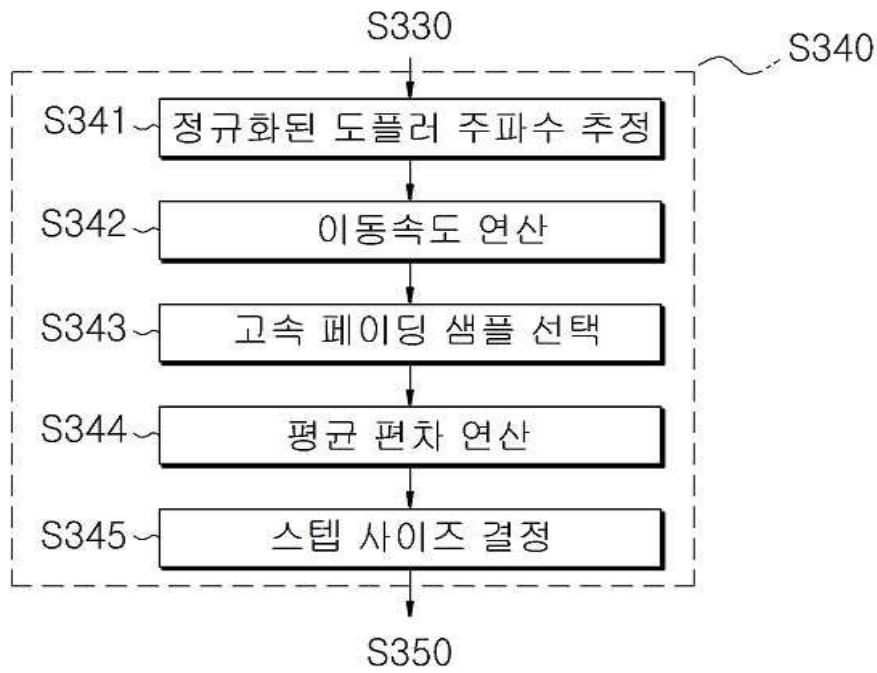
도면2



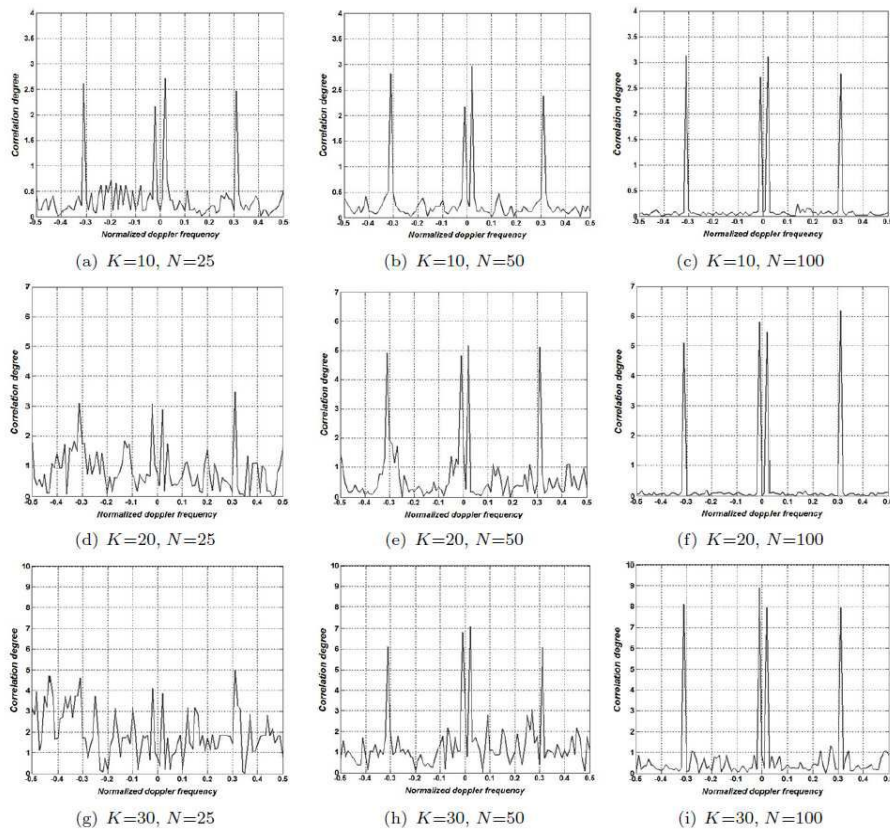
도면3



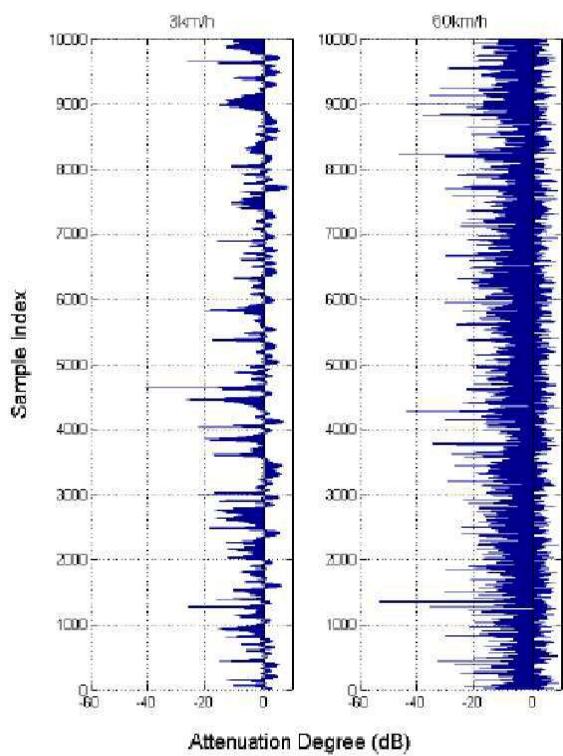
도면4



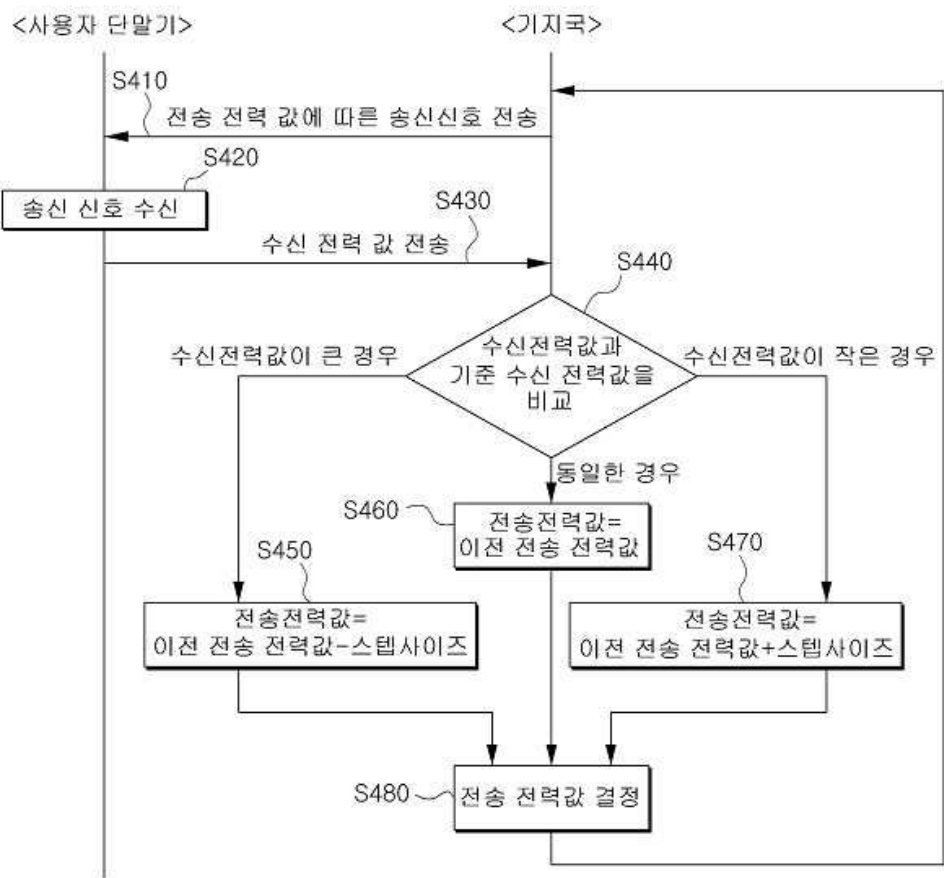
도면5



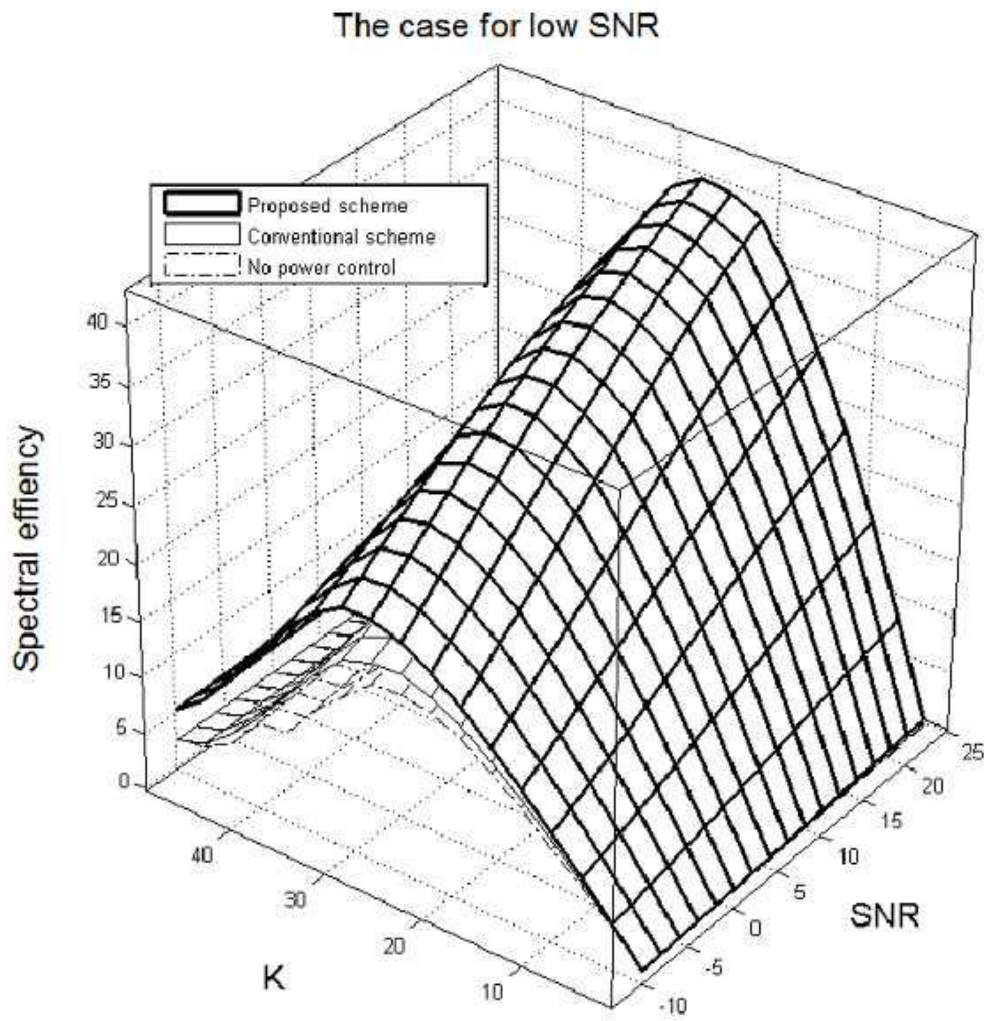
도면6



도면7



도면8a



도면8b

