



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년11월04일
 (11) 등록번호 10-1080012
 (24) 등록일자 2011년10월28일

(51) Int. Cl.
H04B 7/04 (2006.01) *H04W 24/10* (2009.01)
 (21) 출원번호 10-2009-0127740
 (22) 출원일자 2009년12월21일
 심사청구일자 2009년12월21일
 (65) 공개번호 10-2011-0071233
 (43) 공개일자 2011년06월29일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020070026244 A*
 KR100916167 B1
 KR100943620 B1
 KR101002897 B1
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
주식회사 케이티
 경기 성남시 분당구 정자동 206
 (72) 발명자
길계태
 대전광역시 유성구 관평동 대덕테크노밸리 9단지
 아파트 906-1502
권선형
 대전광역시 유성구 문지동 103-6
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
특허법인 신성

전체 청구항 수 : 총 8 항

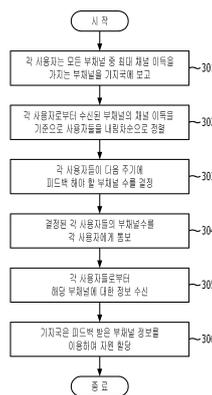
심사관 : 왕한호

(54) 다중 안테나 시스템에서 효율적인 채널 피드백을 적용한 사용자 선택 방법 및 이를 이용한 기지국 장치

(57) 요약

본 발명은 다중 안테나 시스템에서 효율적인 채널 피드백을 적용한 사용자 선택 방법에 관한 것으로, 셀 내에 복수의 사용자 단말이 존재하고, 복수의 부채널을 사용하는 다중 안테나 시스템에서의 사용자 단말 선택 방법에 있어서, (a) 각각의 상기 사용자 단말로부터 최대 채널 이득값을 포함하는 적어도 하나 이상의 부채널의 채널 이득 측정 결과를 수신하는 단계; (b) 상기 수신된 부채널의 채널 이득 측정 결과를 기준으로 상기 각 사용자 단말을 정렬하는 단계; (c) 상기 정렬된 각 사용자 단말의 순서에 따라 상기 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 결정하는 단계; (d) 상기 결정된 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 상기 각 사용자 단말로 전송하는 단계; 및 (e) 상기 전송한 결과로 상기 각 사용자 단말로부터 피드백받은 부채널의 채널 품질 정보를 바탕으로 자원을 할당하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

이성춘

서울특별시 서초구 우면동 17번지

이석호

서울특별시 서초구 우면동 17번지

이남정

대전광역시 유성구 문지동 한국정보통신대학교

강준혁

대전광역시 유성구 문지동 한국정보통신대학교

박세준

서울특별시 서초구 우면동 17번지

특허청구의 범위

청구항 1

셀 내에 복수의 사용자 단말이 존재하고, 복수의 부채널을 사용하는 다중 안테나 시스템에서의 사용자 단말 선택 방법에 있어서,

(a) 각각의 상기 사용자 단말로부터 최대 채널 이득값을 포함하는 적어도 하나 이상의 부채널의 채널 이득 측정 결과를 수신하는 단계;

(b) 상기 수신된 부채널의 채널 이득 측정 결과를 기준으로 상기 각 사용자 단말을 정렬하는 단계;

(c) 상기 정렬된 각 사용자 단말의 순서에 따라 상기 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 결정하는 단계;

(d) 상기 결정된 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 상기 각 사용자 단말로 전송하는 단계; 및

(e) 상기 전송한 결과로 상기 각 사용자 단말로부터 피드백받은 부채널의 채널 품질 정보를 바탕으로 자원을 할당하는 단계

를 포함하는 다중 안테나 시스템에서의 사용자 단말 선택 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

상기 수신된 부채널의 채널 이득 측정 결과를 기준으로 상기 각 사용자 단말을 내림차순으로 정렬하는, 다중 안테나 시스템에서의 사용자 단말 선택 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 (c) 단계는,

상기 내림차순으로 정렬된 각 사용자 단말 중 첫번째 사용자 단말이 피드백해야 할 부채널 개수(m)와, 다음 차순의 사용자 단말들이 피드백해야 할 부채널 개수의 감소 정도를 결정하기 위한 상수(β)를 이용해 상기 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 결정하는, 다중 안테나 시스템에서의 사용자 단말 선택 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 상수(β)는 자원 할당 방식에 따라 상기 첫번째 사용자 단말이 피드백해야 할 부채널 개수(m)에 대응되어 설정되는, 다중 안테나 시스템에서의 사용자 단말 선택 방법.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 (c) 단계에서 임의의 k번째 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 개수($M_{best,k}$)는 다음의 수학적 식 19와 같이 계산하는, 다중 안테나 시스템에서의 사용자 단말 선택 방법.

수학적 식 19

$$M_{best,k} = \left\lceil m \times e^{-\beta(k-1)} \right\rceil$$

청구항 6

다중 안테나를 사용하고, 다중 부채널을 이용해 셀 내의 복수의 사용자 단말에 서비스를 제공하는 기지국 장치에 있어서,

각각의 상기 사용자 단말로부터 수신된 부채널의 채널이득을 기준으로 상기 각 사용자 단말을 내림차순으로 정렬하여, 정렬된 순서에 따라 상기 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 개수를 결정하여 상기 각 사용자 단말로 통보하고, 상기 통보한 결과로 상기 각 사용자 단말로부터 피드백된 부채널의 채널 품질 정보를 바탕으로 자원을 할당하는 스케줄러;

상기 스케줄러에 의해 할당된 하향링크 패킷을 빔포밍하는 빔포머; 및

상기 빔포머에 의해 빔포밍된 신호를 송출하는 상기 다중 안테나

를 포함하는 기지국 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 스케줄러는,

상기 각 사용자 단말로부터 부채널의 채널이득을 포함하는 채널품질정보를 수신하는 채널품질정보 수신부;

상기 채널품질정보 수신부를 통해 수신된 상기 부채널의 채널이득을 기준으로 상기 각 사용자 단말을 내림차순으로 정렬하는 사용자 단말 정렬부;

상기 정렬된 각 사용자 단말의 순서에 따라 상기 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 결정하는 부채널 개수 결정부;

상기 부채널 개수 결정부에 의해 결정된 상기 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 개수를 상기 각 사용자 단말로 통보하는 송신부; 및

상기 각 사용자 단말로부터 피드백된 부채널의 채널 품질 정보를 바탕으로 자원을 할당하는 자원할당부

를 포함하는 기지국 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 부채널 개수 결정부는,

상기 내림차순으로 정렬된 각 사용자 단말 중 첫번째 사용자 단말이 피드백해야 할 부채널 개수(m)와, 다음 차순의 사용자 단말이 피드백해야 할 부채널 개수의 감소 정도를 결정하기 위한 상수(β)를 이용해 상기 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 결정하는, 기지국 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

본 발명은 다중 안테나 시스템에서 사용자 선택 방법 및 이를 이용한 기지국 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 제로 포싱 빔포밍(ZFBF: Zero-Forcing Beamforming)을 사용하는 다중 부채널 통신망에서 사용자 단말로부터 전달된 부채널의 이득에 따라 사용자 단말들을 정렬하여 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 결정하여 각 사용자 단말로 통보하고, 그 결과로 사용자 단말로부터 피드백 받은 부채널 정보를 이용하여 사용자 단말을 선택하는 다중 안테나 시스템에서의 사용자 선택 방법 및 이를 이용한 기지국 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

- [0002] 다중 안테나 시스템(MIMO: Multiple Input Multiple Output)은 무선 통신 시스템에서 높은 데이터 처리량을 얻을 수 있는 시스템으로, 이와 관련된 많은 연구들이 진행되고 있다. 특히, 이러한 다중 안테나 시스템에서 채널 용량을 최대화하기 위해 사용자 간의 간섭을 회피하는 기법은 많은 관심의 대상이 되어 왔다.
- [0003] 사용자 간 간섭 회피 방법 중에 가장 효과적인 방법은 'DPC(Dirty Paper Coding)' 기술인데, DPC 기술은 다중 사용자 환경에서 최대의 채널 용량(capacity)을 얻을 수 있음에도 불구하고, 복잡한 인코딩(encoding)과 디코딩(decoding) 오버헤드로 인해 구현상의 어려움을 가지고 있다.
- [0004] DPC 기술의 문제점을 해결하기 위한 대안으로, DPC 기술에 비해 저복잡도를 가지는 빔포밍(beamforming) 기술이 있다. 빔포밍 기술들 중에서 빔포밍 가중치 벡터(beamforming weight vector)를 사용자 간의 간섭을 피하도록 설계하는 'ZFBF(Zero-Forcing Beamforming)' 기술이 간단하면서도 효율적인 방법으로 각광받고 있다.
- [0005] 그런데, 이 ZFBF 기술은 전송 안테나 수와 수신 안테나 수에 의해, 동시 지원 가능한 사용자 수가 제한되기 때문에 많은 사용자가 셀 내에 존재할 경우, 기지국(BS: Base Station)은 수많은 사용자 중에서 지원 가능한 만큼의 사용자들을 선택해야 한다. 이때, 'brute-force' 방식으로 검색할 경우, 즉 가능한 모든 경우의 사용자 조합들을 고려하여 최상의 사용자 조합을 찾는 방법은 최적의 사용자 조합을 찾는 것을 보장하게 된다. 그러나 'brute-force' 방식은 시스템의 셀 내에 존재하는 사용자 수가 증가할 경우 큰 복잡도를 초래하게 된다.
- [0006] 위와 같은 문제점을 해결하기 위해, 저 복잡도의 사용자 선택 기술들이 제안되고 있다. 완벽한 채널 정보를 기지국에서 안다고 가정할 때, 기지국은 높은 채널 이득을 가지면서도 제로 포싱(zero-forcing) 빔 방향에 잘 부합하는 채널 방향을 가지는 사용자를 선택함으로써, ZFBF를 사용하는 시스템을 위한 저 복잡도의 사용자 선택이 가능하다. 이러한 방법 중 근래 들어 DPC 기술을 적용할 때 얻을 수 있는 용량에 거의 근접한 처리량을 얻을 수 있는 SUS(Semiorthogonal User Selection) 방식이 제안되었다.
- [0007] SUS 방식을 포함한 대부분의 사용자 선택 기술들은 단일 부채널 시스템을 고려하여 제안되었다. 단일 부채널 시스템과는 달리 다중 부채널 시스템에서는, 다중경로가 존재하는 경우에 부채널마다 다른 채널 상태를 가지는 주파수 선택적(frequency selective) 특성을 가지게 된다. 이때, 채널 이득이 좋은 부채널을 이용함으로써, 단일 부채널에 비해 높은 시스템 처리량을 가질 수 있다.
- [0008] 그런데, 다중 부채널 시스템에서 다중 사용자 다이버시티 이득을 얻기 위하여 모든 사용자의 모든 부채널을 고려하여 사용자를 선택하는 경우, 시스템 내에 존재하는 사용자 수가 증가함에 따라 많은 채널 피드백 양과 더불어 큰 복잡도를 초래하는 문제점이 있다. 따라서 사용자 수가 많은 경우에도 채널 피드백 양의 증가를 최소화할 수 있는 효과적인 채널 피드백 방식과 또 그에 따른 사용자 선택 방법이 요구된다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0009] 본 발명은 다중 부채널 통신망에서 사용자 단말로부터 전달된 부채널의 이득에 따라 사용자 단말들을 정렬하여 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 결정하여 각 사용자 단말로 통보하고, 그 결과로 사용자 단말로부터 피드백 받은 부채널 정보를 이용하여 사용자 단말을 선택하는 다중 안테나 시스템에서의 사용자 선택 방법 및 이를 이용한 기지국 장치를 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0010] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 발명의 다른 목적 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있으며, 본 발명의 실시예에 의해 보다 분명하게 알게 될 것이다. 또한, 본 발명의 목적 및 장점들은 특허 청구 범위에 나타난 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을 것이다.

과제 해결수단

- [0011] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 방법은, 셀 내에 복수의 사용자 단말이 존재하고, 복수의 부채널을 사용하는 다중 안테나 시스템에서의 사용자 단말 선택 방법에 있어서, (a) 각각의 상기 사용자 단말로부터 최대 채널 이득값을 포함하는 적어도 하나 이상의 부채널의 채널 이득 측정 결과를 수신하는 단계; (b) 상기 수신된 부채널의 채널 이득 측정 결과를 기준으로 상기 각 사용자 단말을 정렬하는 단계; (c) 상기 정렬된 각 사용자

단말의 순서에 따라 상기 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 결정하는 단계; (d) 상기 결정된 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 상기 각 사용자 단말로 전송하는 단계; 및 (e) 상기 전송한 결과로 상기 각 사용자 단말로부터 피드백받은 부채널의 채널 품질 정보를 바탕으로 자원을 할당하는 단계를 포함한다.

[0012] 또한, 본 발명에 따른 기지국 장치는, 다중 안테나를 사용하고, 다중 부채널을 이용해 셀 내의 복수의 사용자 단말에 서비스를 제공하는 기지국 장치에 있어서, 각각의 상기 사용자 단말로부터 수신된 부채널의 채널이득을 기준으로 상기 각 사용자 단말을 내림차순으로 정렬하여, 정렬된 순서에 따라 상기 각 사용자 단말이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 개수를 결정하여 상기 각 사용자 단말로 통보하고, 상기 통보한 결과로 상기 각 사용자 단말로부터 피드백된 부채널의 채널 품질 정보를 바탕으로 자원을 할당하는 스케줄러; 상기 스케줄러에 의해 할당된 하향링크 패킷을 빔포밍하는 빔포머; 및 상기 빔포머에 의해 빔포밍된 신호를 송출하는 상기 다중 안테나를 포함한다.

효과

[0013] 상기와 같은 본 발명은, 채널 이득이 좋지 못한 사용자 단말들로부터는 적은 채널 정보를 피드백 받아 사용함으로써, 채널 이득이 좋지 못한 사용자 단말들에 대한 채널 피드백에 대한 부담을 줄여주는 효과를 가진다. 또한, 본 발명은 각 자원할당 방식에 맞추어 필요로 하는 피드백 양을 제시하여 사용자 단말이 크게 늘어나는 경우에도 사용자 선택 기술 알고리즘의 초기값이 되는 행렬의 크기를 감소시키는 효과를 가져와 결국 저복잡도의 사용자 선택 기술을 구현할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0014] 상술한 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 후술되어 있는 상세한 설명을 통하여 보다 명확해 질 것이며, 그에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 이하, 첨부된 도면들을 함께 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0015] 도 1은 본 발명이 적용되는 하향링크(downlink) 자원할당을 위한 협력 다중안테나(MIMO: multiple input multiple output) 시스템에 대한 일시시예 구성도로서, 한 개의 부채널에 대한 프리코딩(precoding) 적용 시 사용자 선택 기술의 구조를 도시하고 있다.

[0016] 도 1에 도시된 바와 같이, 일반적으로 기지국(Base Station)(10)은 복수의 전송 안테나(11), 스케줄러(12), 전력 할당부(13), 제로 포싱(zero- forcing) 빔포머(14)를 포함한다. 그리고 하나의 기지국이 관장하는 셀 내에는 복수의 사용자 단말(20)들이 존재한다. 즉, 하나의 기지국(10)은 K개의 사용자(User) 단말(20)을 위한 데이터 전송을 지원하며, 각 사용자 단말(20)은 기지국(10)으로 채널 품질 정보(CQI: Channel Quality Information)를 피드백한다.

[0017] 기지국(10)은 M개의 전송 안테나를 가지며 각각의 사용자 단말(20)은 하나의 안테나를 가지는 것으로 가정한다. 기지국(10)은 각 사용자 단말(20)로 전송할 하향링크 패킷이 전달되면, 사용자 단말(20)들 중에서 동시에 최대 지원 가능한 사용자 수인 M개의 사용자 단말(20)을 선택하게 된다. 이때, $K \geq M$ 임을 가정한다. 기지국은 선택된 M개의 사용자 단말들을 위해서 신호를 전송하는 과정을 거치게 된다. 기지국은 총 N개의 부채널에 대하여 사용자 단말을 선택한다. 각 사용자 단말은 독립적인 대규모 페이딩(large scale fading)과 소규모 페이딩(small scale fading, 예:다중 경로 효과)을 겪는다고 가정한다. 이로 인해 각 부채널들은 다른 채널 상태를 가지게 된다.

[0018] 여기서, 기지국(10) 내의 k번째 사용자 단말(20)에 대한 n번째 부채널의 수신 신호인 y_k^n 는 다음의 수학적 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

[0019]
$$\mathbf{y}_k^n = \mathbf{H}_k^n \mathbf{x}^n + \mathbf{z}_k^n, \quad k = 1, \dots, K, n = 1, \dots, N$$

[0020] 수학식 1에서 $\mathbf{x}^n \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 은 기지국(10)으로부터 전송된 심볼 벡터이며, $\mathbf{H}_k^n \in \mathbb{C}^{1 \times M}$ 은 n번째 부채널에 대한 k번째 사용자 단말(20)의 채널 행렬로 $\mathbf{H}_k^n = \sqrt{L_k^n} \mathbf{h}_k^n$ 와 같이 정의되며, 대규모 페이딩($L_k^n \in \mathbb{R}^{1 \times 1}$)과 소규모 페이딩($\mathbf{h}_k^n \in \mathbb{C}^{1 \times M}$)을 모두 고려한 채널 행렬이다. L_k^n 은 크게 섀도잉 효과(shadowing effect)와 경로

손실 효과(pathloss effect)가 고려된 매크로스코픽 페이딩(macroscopic fading)을 나타낸다. \mathbf{z}_k^n 는 n번째 부채널에 대한 k번째 사용자 단말(20)이 겪는 부가백색가우시안잡음(AWGN: Additive White Gaussian Noise)이다. \mathbf{h}_k^n 의 각 성분과 \mathbf{z}_k^n 는 0의 평균과 1의 분산을 가진다. 기지국(10)은 각 부채널에 대한 평균전력 제약

인 P^n 과 총 평균전력 제약인 P 를 가진다. 이때, 부채널별 전송신호의 전력은 $E\{\mathbf{x}^n \mathbf{x}^{n*}\} \leq P^n$ 과 같이 제약을 받게 되며, 총 전송신호의 전력은 $\sum_{n=1}^N E\{\mathbf{x}^n \mathbf{x}^{n*}\} \leq P$ 와 같이 제약을 받는다.

[0021] 실험 결과에 의해, 전력 할당부(13)는 전체 전력 제약 P를 가지고 전력을 할당하는 경우나 각각의 부채널이 전력 제약 P^n 을 가지고 전력 할당을 하는 경우, 두 경우 모두 성능이 유사하므로, 실제 시뮬레이션에서는 각 부채널이 전력 제약 P^n 을 가지고 전력 할당하는 경우를 고려하였다. 그리고 기지국(10)은 채널상태정보를 완벽히 가지는 것을 가정한다.

[0022] 다음으로, 사용자 간의 다른 빔포밍 방향을 할당함으로써 DPC 기술과 유사한 성능을 얻을 수 있다고 알려져 있는 빔포밍(BF) 기술에 대해 살펴보도록 한다.

[0023] s_k^n 과 \mathbf{w}_k^n 그리고 P_k^n 을 각각 n번째 부채널의 사용자 단말 k에 대한 데이터 심볼과 빔포밍 가중치 벡터 그

$$x^n = \sum_{k=1}^K \sqrt{P_k^n} w_k^n s_k^n$$

리고 전송전력 스케일링 변수라고 하면, n번째 부채널에 대한 전송신호는 x^n 으로 표현된다. 이 경우 수학식 1을 다음의 수학식 2와 같이 다시 나타낼 수 있다.

수학식 2

[0024]
$$\mathbf{y}_k^n = (\sqrt{P_k^n} \mathbf{H}_k^n \mathbf{w}_k^n) s_k^n + \sum_{j \neq k} (\sqrt{P_j^n} \mathbf{H}_k^n \mathbf{w}_j^n) s_j^n + \mathbf{z}_k^n$$

[0025] 수학식 2에서 첫 번째 항은 원하는 신호이고, 두 번째 항은 간섭 신호, 그리고 마지막 항은 잡음이다. 두 번째와 세 번째 항을 잡음으로 취급함으로써, 빔포밍을 하였을 때 얻을 수 있는 시스템 용량을 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$R_{\text{BF}} = \max_{\mathbf{w}_k^n, P_k^n} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \log \left(\frac{1 + \sum_{j=1}^K P_j^n |\mathbf{H}_k^n \mathbf{w}_j^n|^2}{1 + \sum_{j=1, j \neq k}^K P_j^n |\mathbf{H}_k^n \mathbf{w}_j^n|^2} \right)$$

$$\text{subject to } \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \|\mathbf{w}_k^n\|^2 P_k^n \leq P$$

[0026]

[0027] 이때, 최적의 빔포밍 기술은 DPC 기술과 같은 증가율을 나타낸다는 것을 다음의 수학적 식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 4

$$E \{R_{\text{BF}}\} \sim M \log \left(1 + \frac{P}{M} \log K \right)$$

[0028]

[0029] 본 발명에서는, 이와 같이 DPC 기술의 성능에 근접한 성능을 보여주는 빔포밍 기술 중에서 간단한 형태인 ZFBF(zero-forcing beamforming) 기술에 초점을 맞추어 설명하기로 한다.

[0030] ZFBF 기술은 빔포밍 벡터를 사용자 단말(20) 간에 간섭을 주지 않도록 설계하는 방식으로 $\mathbf{H}_k^n \mathbf{w}_j^n = 0$ for $j \neq k$ 를 만족한다.

[0031] 도 1을 참조하여 살펴보면, 부채널 n에 대하여 지원받기로 결정된 사용자 단말(20)들의 집합을 S^n 이라고 하며, S^n 은 전체 집합인 $\{1, \dots, k\}$ 의 부분집합으로 정의된다. 이때, S^n 의 크기는 동시 지원가능 사용자 단말(20)의 수인 M과 같거나 작아야만 한다. 이때, 선택된 사용자 단말(20)에 대응하는 채널과 빔포밍 가중치는 $\mathbf{H}^n(S^n)$ 으로 정의되며, $\mathbf{H}^n(S^n) = \left[(\mathbf{H}_1^n)^T \dots (\mathbf{H}_k^n)^T \right]^T$ 의 부분집합이다. 다음의 수학적 식 5와 같이 $\mathbf{W}^n(S^n)$ 을 $\mathbf{H}^n(S^n)$ 의 슈도인버스(pseudoinverse)로 설계함으로써, 사용자 단말(20) 간의 간섭을 주지 않도록 시스템을 설계할 수 있게 나타낼 수 있다.

수학적 식 5

$$\mathbf{W}^n(S^n) = \mathbf{H}^n(S^n)^* \left(\mathbf{H}^n(S^n) \mathbf{H}^n(S^n)^* \right)^{-1}$$

[0032]

[0033] 이 경우, 수학적 식 3을 다음의 수학적 식 6과 같이 다시 나타낼 수 있다.

수학적 식 6

$$R_{\text{ZFBF}} = \max_{P_i^n: \sum_{n=1}^N \sum_{i \in S^n} \gamma_i^n P_i^n \leq P} \sum_{n=1}^N \sum_{i \in S^n} \log(1 + P_i^n)$$

[0034]

[0035] 이때, i번째 사용자의 유효채널 이득인 γ_i^n 은 다음의 수학적 식 7과 같이 표현할 수 있다.

수학적 식 7

$$\gamma_i^n = \frac{1}{\left[(\mathbf{H}^n(\mathbf{S}^n)) (\mathbf{H}^n(\mathbf{S}^n))^* \right]_{i,i}^{-1}}$$

[0036]

[0037] 수학식 6에서의 최적의 P_i^n 은 다음의 수학식 8에서와 같이 워터-필링(water-filling) 방식을 사용하여 쉽게 계산할 수 있다.

수학식 8

$$P_i^n = (\mu \gamma_i^n - 1)^+$$

[0038]

[0039] 수학식 8에서 $(x)^+$ 는 $\max\{x, 0\}$ 를 의미하며, 워터 레벨 μ 는 다음의 수학식 9를 만족하는 값으로 선택된다.

수학식 9

$$\sum_{i \in \mathbf{S}} \left(\mu - \frac{1}{\gamma_i^n} \right)^+ = P^n$$

[0040]

[0041] 결국, ZFBF 기술을 사용하는 경우, 다음의 수학식 10과 같이 모든 가능한 \mathbf{S}^n 중 최대 처리량을 제공하는 사용자 집합을 선택하는 과정을 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$R_{\text{ZFBF}}^{\max} = \max_{\mathbf{S}^n \subset \{1, \dots, K\}; |\mathbf{S}^n| \leq M} \sum_{n=1}^N R_{\text{ZFBF}}(\mathbf{S}^n)$$

[0042]

[0043] 위의 수학식 10을 만족하는 \mathbf{S}^n 은 컴퓨터의 힘을 빌어 문제를 푸는 'brute-force' 방식으로 풀 수 있다. 즉, 모든 가능한 \mathbf{S}^n 에 대한 데이터 처리량을 계산하여 이 중 최고의 데이터 처리량을 가지는 \mathbf{S}^n 을 선택하는 방식이다. 그러나 이 방식의 경우 사용자 수 K 가 증가함에 따라, 매우 큰 복잡도를 가진다는 문제점이 있다.

[0044] 이러한 문제를 해결하기 위하여, 저 복잡도를 가지는 기술들이 제시되고 있다. 본 발명에서는 SUS(Semiorthogonal User Selection) 기술에 대해 설명하고자 한다. 그러나 본 발명에서 제시된 방식은 SUS 방식뿐만 아니라 다른 기술들에 적용하여 추가적으로 복잡도 감소를 가져올 것으로 기대된다.

[0045] SUS 방식은 각 부채널에 대하여 채널의 직교성이 좋은 사용자들을 선택하는 기술이다. ZFBF 기술은 각 부채널에 다중 사용자가 존재하여 해당 부채널을 공유하기 때문에, 각 부채널 당 채널 이득이 가장 좋은 사용자 하나를 선택하는 OFDMA 시스템과는 달리, 단순히 사용자들의 채널 이득뿐만 아니라 선택된 사용자의 채널간의 직교성을 중요시한다. 이에 ZFBF 기법에서의 사용자 선택 기술은 단순히 사용자들의 채널 이득만 가지고 사용자를 선택하는 것이 아니라 사용자들의 채널 이득과 더불어 선택된 사용자의 채널간의 직교성을 고려하여 선택하게 된다. SUS 방식의 자세한 알고리즘은 다음과 같다.

[0046] 첫 번째로 다음의 수학식 11과 같이 SUS 방식에서 사용될 변수들을 초기화한다.

수학식 11

$$\mathbf{T}_1^n = \{1, \dots, K\}$$

$$i = 1$$

$$\mathbf{S}_0^n = \phi \text{ (empty set)}$$

[0047]

[0048] 두 번째로 다음의 수학식 12의 절차를 거쳐, \mathbf{H}_k^n 의 성분들 중에서 기존 단계에서 선택된 사용자들 $\{\mathbf{g}_i^n, \dots, \mathbf{g}_{(i-1)}^n\}$ 과 직교한 성분을 계산하여 \mathbf{g}_k^n 라고 정의한다.

수학식 12

$$\mathbf{g}_k^n = \mathbf{H}_k^n - \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\mathbf{H}_k^n (\mathbf{g}_{(j)}^n)^*}{\|\mathbf{g}_{(j)}^n\|^2} \mathbf{g}_{(j)}^n$$

[0049]

[0050] $i=1$ 인 경우에는 $\mathbf{g}_k^n = \mathbf{H}_k^n$ 로 정의된다.

[0051] 세 번째 단계에서는 i 번째 사용자 단말을 다음의 수학식 13의 과정을 거쳐 선택한다.

수학식 13

$$\pi^n(i) = \arg \max_{k \in \mathbf{T}_i^n} \|\mathbf{g}_k^n\|$$

$$\mathbf{S}_0^n \leftarrow \mathbf{S}_0^n \cup \{\pi^n(i)\}$$

$$\mathbf{H}_{(i)}^n = \mathbf{H}_{\pi(i)}^n$$

$$\mathbf{g}_{(i)}^n = \mathbf{g}_{\pi(i)}^n$$

[0052]

[0053] 마지막으로 네 번째 단계에서는 $|\mathbf{S}_0^n| < M$ 인 경우, 다음의 수학식 14와 같이 $\mathbf{g}_{(i)}^n$ 에 대하여 준직교성을 만족하는 사용자들의 집합 \mathbf{T}_{i+1}^n 을 계산하여 다음 반복 과정으로 넘겨주는 과정을 거친다.

수학식 14

$$\mathbf{T}_{i+1}^n = \left\{ k \in \mathbf{T}_i^n, k \in \pi^n(i), \frac{\mathbf{H}_k^n(\mathbf{g}_{(i)}^n)^*}{\|\mathbf{H}_k^n\| \|\mathbf{g}_{(i)}^n\|} < \alpha \right\}$$

[0054]

$$i \leftarrow i + 1$$

[0055]

[0056]

이때, α 는 $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 값을 가진다. 적절한 α 값은 사용자 수에 따라 결정되며, $0.2 \leq \alpha \leq 0.6$ 일 때 최적의 성능을 보인다. α 를 도입함으로써, 각 반복 과정마다 그 다음 반복 과정에서 사용될 \mathbf{T}_{i+1}^n 의 크기를 줄여 복잡도를 줄이는 방법이 제안되었다.

[0057]

위에 제시된 방법들은 시스템 처리량을 최대화하기 위한 자원 할당 방식인 SRM(Sum Rate Maximization)(이하 'SRM'라 함) 혹은 'max sum rate'라고 불리는 기술에 대해 살펴보았다.

[0058]

다음으로, 사용자 간의 형평성(fairness)을 고려한 자원 할당 기술에 대해 간략히 설명하고자 한다. 가장 간단한 형태의 형평성 고려 자원 할당 기술로는 라운드 로빈(round-robin) 방식이 있다. 라운드 로빈 방식은 모든 사용자들에게 동등한 기회를 제공하는 것을 목표로 한다. 즉, 모든 사용자가 지원받기 전까지 기존에 지원받은 사용자는 지원을 받지 못하게 된다. 그래서 시스템의 처리량 측면에서 큰 손해를 야기시키는 문제점이 있다.

[0059]

이러한 문제를 해결하기 위하여, 시스템 처리량을 최대화하는 방식인 SRM 방식과 형평성을 고려하여 자원을 할당하는 라운드 로빈 방식의 사이에서 균형을 맞추는 방식으로 PF(Proportional Fairness) 방식이 제안되었다. PF 방식은 다음의 수학적 식 15와 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 15

$$\max_{\mathbf{S}^n \subset \{1, \dots, K\}} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \mu_k(t) R_k^n(\mathbf{S}^n, t)$$

[0060]

[0061]

이때, $\mu_k(t)$ 는 사용자 단말(20) k의 우선순위 변수로 사용자 단말(20)이 지원받은 평균 데이터 전송률의 역수로 정의되며, $R_k^n(\mathbf{S}^n, t)$ 는 선택된 사용자 단말(20) 집합과 같이 지원하였을 때 사용자 단말(20) k가 얻을 수 있는 데이터 전송률을 지칭한다. $R_k^n(\mathbf{S}^n, t)$ 는 사용자 단말(20) k가 선택되었을 때 구해지는 값이 아니며, 전체 사용자 단말(20) 선택이 이루어진 후에 정확한 값을 알 수 있다. 이는 한 부채널에 다수의 사용자 단말이 존재하는 ZFBF 기술을 비롯한 프리코딩(precoding)을 사용하는 시스템의 특징이라고 할 수 있다. 그리고 $\mu_k(t)$ 는 다음의 수학적 식 16과 같이 매 시간 슬롯마다 갱신되는 과정을 거친다.

수학적 식 16

$$\frac{1}{\mu_k(t+1)} = \left(1 - \frac{1}{t_c}\right) \frac{1}{\mu_k(t)} + \frac{1}{t_c} R_k^n(\mathbf{S}^n, t)$$

[0062]

[0063]

이때, t_c 는 윈도우 사이즈(window size)로 적절한 값을 선택하여 사용한다. 결론적으로 PF 자원 할당 기술의 경우 수학적 식 13의 $\pi^n(i)$ 가 다음의 수학적 식 17과 같이 변형되어 적용된다.

수학식 17

$$\pi^n(i) = \arg \max_{k \in \mathcal{I}_i^n} \mu_k(t) \log \left(1 + \frac{P^n}{M} \|\mathbf{g}_k^n\|^2 \right)$$

[0064]

[0065]

[0066]

[0067]

[0068]

[0069]

[0070]

[0071]

[0072]

[0073]

[0074]

[0075]

$\log \left(1 + \frac{P^n}{M} \|\mathbf{g}_k^n\|^2 \right)$ 는 n번째 부채널에서 사용자 단말(20) k가 선택되었을 때 근사적으로 얻을 수 있는 데이터 전송률로, 실제 값은 해당 부채널에 대해 모든 사용자 단말(20)이 선택된 후 수학식 6을 이용하여 구할 수 있으며, 이 값은 수학식 16에서 우선순위 변수를 갱신시킬 때 사용된다.

위에 제시된 방법들은 단일 부채널 시스템을 위한 방법으로, 다중 부채널 시스템으로의 확장을 필요로 한다. 실제 다중 부채널 시스템으로 확장하였을 경우에 부채널별로 사용자를 적절하게 선택함으로써 단일 부채널 시스템에 비하여 다중 부채널 시스템에서는 향상된 시스템 처리량을 얻을 수 있을 것이다.

도 2는 단일 부채널과 다중 부채널 시스템의 데이터 처리량을 보여주는 일실시예 그래프이다. 도 2에서는 선택된 사용자 단말의 개수(M=4, N=2)에 따른 단일 부채널과 다중 부채널 시스템의 데이터 처리량을 보여주고 있다.

도 2는 다중경로가 10개인 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그러나 이러한 다중 부채널 시스템에서 현실적으로 모든 부채널 정보를 기지국에서 아는 것(Full CSI)은 어렵기 때문에, 제한적 채널 피드백 방식을 필요로 하게 된다. 또한, 다중 부채널 시스템에서 ZFBF 기술을 사용하는 경우, 사용자 선택 기술의 연구는 부족한 실정이다. 이에 따라, 다중 부채널 시스템을 위해 실용적이면서 복잡도 감소를 얻을 수 있는 사용자 선택 기술을 제안하고자 한다.

ZFBF 방식에서의 사용자 선택 기술은 위에 언급하였듯이, 사용자의 채널 이득과 선택된 사용자 채널들 간의 직교성을 고려하여 사용자 단말을 선택한다. 이에, 해당 부채널에 대하여 채널 이득이 좋은 사용자는 선택될 확률이 높아지게 된다.

본 발명은 이러한 경향성을 이용하여 사용자 단말들을 채널 이득에 따라 내림차순으로 정렬하여, 채널 이득이 좋은 사용자들은 많은 수의 부채널 정보를 기지국에 피드백하고, 반대로 채널 이득이 좋지 못한 사용자들은 적은 수의 부채널 정보를 기지국에 피드백하도록 함으로써, 실용적이면서도 추가적인 복잡도 감소를 얻을 수 있다.

도 3은 본 발명에 따른 다중 안테나 시스템에서의 효율적인 채널 피드백을 적용한 사용자 선택 방법에 대한 일 실시예 흐름도이다.

초기 상태에서 각 사용자 단말은 모든 부채널 중 최대 채널 이득을 가지는 부채널을 기지국으로 보고한다(301). 여기서, 사용자 단말은 모든 부채널에 대한 채널 이득을 보고하거나 일정 이상의 이득값을 갖는 부채널들의 채널 이득을 보고하거나 모든 부채널 중 최대 채널 이득을 갖는 부채널 하나만을 보고할 수도 있다. 다만, 기지국에서는 각 사용자 단말로부터 최대 채널 이득을 갖는 부채널과 그 최대 채널 이득 정보만을 획득하면 된다.

기지국은 각 사용자 단말로부터 전달된 부채널의 최대 채널 이득을 기준으로 사용자 단말들을 내림차순으로 정렬한다(302). 이때, 동일한 채널 이득을 보고한 사용자 단말들에 대해서는 자원 할당 공정성을 이용해 정렬 순서를 결정한다.

그리고 기지국은 내림차순으로 정렬된 각 사용자 단말들이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 결정한다(303). 각 사용자 단말들이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 결정하는 방법은 다음의 수학식 18과 같이 나타낼 수 있다.

여기서, $M_{best,k}$ 는 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 수를 나타낸다.

수학식 18

$$M_{best,k} = \left[m \times e^{-\beta(k-1)} \right]$$

- [0076]
- [0077] 수학식 18에서 m 과 β 를 적절히 조절함으로써, 시스템 총 처리량의 최대화를 목표로 하는 시스템이나 PF 및 라운드 로빈과 같은 자원 할당 기술에 적절한 값을 선택할 수 있게 된다.
- [0078] 즉, 수학식 18에서 m 은 $M_{best,k}$ 의 y 절편을 조절하는 역할을 하는 것으로, 내림차순으로 정렬된 사용자 단말들 중 첫번째 사용자 단말이 피드백해야 할 부채널 개수를 의미한다. 그리고 β 는 지수함수의 기울기를 조절하는 역할을 담당하는 것으로 상기 m 의 값에 대응되어 결정된 상수이다. 여기서, m 에 대응되는 β 는 시뮬레이션을 통해 결정될 수 있다. 즉, m 은 $0 \leq m \leq N$ 이며, β 는 $0 \sim 1$ 사이의 값을 가질 수 있다.
- [0079] SRM 기술의 경우, 사용자 간의 형평성을 고려하지 않고 시스템의 총 처리량을 최대화하는 방향으로 자원을 할당하므로, 채널 이득이 좋은 사용자 단말이 여러 부채널에 대해 반복적으로 선택될 가능성이 높다.
- [0080] 이를 고려해 보면, SRM 기술은 큰 m 값을 필요로 하게 되고, 최적의 m 과 β 를 찾기 위해 m 은 N 으로 고정한다. 반면에, 라운드 로빈 기술의 경우, 모든 사용자는 같은 횟수의 기회를 가지는 것을 목표로 하므로, 사용자의 채널 이득에 관계없이 각 사용자 별로 같은 수의 부채널을 피드백한다. 그리고 PF 기술의 경우, 이미 자원 할당받은 사용자는 계속해서 자원을 할당받을 확률이 다소 감소하지만 전체적인 경향성은 SRM과 비슷하며, SRM에 비해 채널 상태가 좋지 않은 사용자의 채널도 중요하게 여겨질 것이다. 그러므로 SRM과 동일하게 큰 m 값을 갖는 반면, 사용자 간의 형평성을 맞추기 위해 작은 β 값을 가질 것으로 예측된다.
- [0081] 전술한 바와 같이 각 할당 방식을 고려하여 기지국은 사용자들의 부채널 중에 일부 채널을 보고받고, 사용자들은 자신이 보고한 부채널에 대해서만 수학식 11의 \mathbf{T}_1^n 에 속하는 후보 사용자로 속하게 된다.
- [0082] 통상 다중 안테나 방식의 기지국은 스케줄러와, 제로 포싱 빔포머와 복수의 안테나로 구성되는데, 이와 같은 본 발명의 사용자 선택 방법은 기지국의 자원 할당을 담당하는 스케줄러에 의해 수행된다. 스케줄러는 사용자 선택을 위해 사용자 단말로부터 부채널에 대한 채널이득을 포함하는 채널 품질 정보를 수신하는 채널품질정보 수신부와, 상기 채널품질정보 수신부를 통해 수신된 부채널의 채널이득을 기준으로 복수 사용자 단말들을 내림차순으로 정렬하는 사용자 단말 정렬부와, 상기 사용자 단말 정렬부에 의해 정렬된 사용자 단말들 중 첫번째 사용자 단말(부채널의 채널 이득이 가장 좋은 사용자 단말)에 할당되는 부채널의 개수에 따라 다음 순서의 사용자 단말들의 부채널 감소 개수를 결정하기 위한 상수를 바탕으로 각 사용자 단말들이 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 개수를 결정하는 부채널 개수 결정부와, 상기 부채널 개수 결정부에 의해 결정된 각 사용자 단말들의 피드백해야 할 부채널 개수를 각 사용자 단말로 통보하는 송신부와, 각 사용자 단말로부터 피드백된 부채널들의 채널 품질 정보를 바탕으로 자원을 할당하는 자원할당부를 포함한다.
- [0083] 도 4는 다양한 자원 할당 기술(SRM, 라운드 로빈, PF)에 따른 각 사용자 단말의 부채널 사용 개수를 보여주기 위한 그래프이다. 도 4에 도시된 바와 같이, 수학식 11에서 쓰이는 초기값인 행렬 \mathbf{T}_1^n 의 크기를 줄임으로써, 곧 시스템의 복잡도를 개선해 줄 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 큰 β 값을 이용함으로써 도 4와 같이 사용자 수가 증가함에 따라 복잡도 감소를 기대할 수 있다. 자원할당 기술 중 PF나 라운드 로빈 기술의 경우에는 작은 m 값을 이용함으로써 크게 복잡도를 감소시킬 수 있다.
- [0084] 이상에서 설명한 바와 같은 각 사용자 단말들이 피드백해야 할 부채널 개수를 결정하는 과정을 예로 들어 설명하면 다음과 같다.
- [0085] 사용자 단말 a가 보고한 부채널의 최대 채널 이득이 10dB이고, 사용자 단말 b가 보고한 부채널의 최대 채널 이득이 8dB이며, 사용자 단말 c가 보고한 부채널의 최대 채널 이득이 9dB이고, 사용자 단말 d가 보고한 부채널의 최대 채널 이득이 9dB이며, 사용자 단말 e가 보고한 부채널의 최대 채널 이득이 7dB이었다고 가정한다.
- [0086] 그러면, 사용자 단말 a 내지 e를 채널 이득을 기준으로 내림차순으로 정렬하면 사용자 단말 a, c, d, b, e 순서가 된다. 여기서, 사용자 단말 c와 사용자 단말 d는 동일한 채널 이득을 보고하였지만, 사용자 단말 d가 이전에 사용자 단말 c보다 많은 자원을 할당받았기 때문에 공정성 측면에서 사용자 단말 c가 사용자 단말 d보다 먼저 정렬된다. 그리고 이러한 결과를 바탕으로 기지국은 먼저 사용자 단말 a가 다음 주기에 피드백해야 할 부채널 개수를 결정하는데 총 10개의 부채널 중 사용자 단말 a에게 4개의 부채널이 결정된 것으로 가정한다. 그러면,

다음 순서에 있는 사용자 단말 c 가 피드백해야 할 부채널 개수가 전술한 수학적 식 18에 의해 결정되고, 다른 사용자 단말들에 대해서도 마찬가지로 피드백해야 할 부채널 개수가 결정된다.

[0087] 이와 같이 각 사용자별로 피드백해야 할 부채널 개수가 결정되면 기지국은 결정된 각 사용자별 피드백해야 할 부채널에 대한 정보를 각 사용자 단말로 통보한다(304). 그러면, 각 사용자 단말들은 자신에게 통보된 피드백해야 할 부채널 개수에 해당되는 부채널들에 대한 채널 이득을 측정하여 기지국으로 보고한다. 기지국은 각 사용자 단말들로부터 부채널들에 대한 정보를 수신하면(305), 각 사용자 단말들로부터 피드백된 부채널 정보를 이용해 각 사용자 단말들에게 자원 할당을 수행한다(306).

[0088] 이하에서는 표 1, 도 5, 도 6 및 도 7을 참조하여 본 발명에 대해 수행한 시뮬레이션 결과에 대해 설명하기로 한다. 다음의 [표 1]은 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 나타낸다.

표 1

| 파라미터(Parameter) | 디스크립션(Description) |
|-----------------------------------|------------------------|
| 시스템 대역폭(System bandwidth) | 10MHz |
| 부채널 개수(Number of subchannels (N)) | 16 |
| 반송파 주파수(Carrier frequency) | 3.5GHz |
| 사용자 수 | 30 |
| 기지국의 전체 전력 제약 (P) | 0dB |
| 각 부채널의 전력 제약 (P^n) | 0dB/16 |
| 다중 경로 개수(Number of multipath (L)) | 10 |
| 기지국의 안테나 수 (N_t) | 2 |
| 사용자의 안테나 수 (N_r) | 1 |
| 사용자간 전력 할당 기법 | Equip-power allocation |
| α | 0.6 |

[0090] SRM이나 PF 자원 할당 방식은 채널 상태가 좋은 사용자에게 부채널을 할당하므로, 각 부채널 별로 선택된 사용자의 채널 상태는 모두 좋을 확률이 높다. 그렇기 때문에 사용자 간의 전력 할당을 워터-필링(water-filling) 할당 방식으로 하는 경우나 동일 전력 할당(equip-power allocation) 방식으로 하는 경우, 전력 할당 결과가 매우 유사하다는 것을 시뮬레이션 결과를 통하여 알 수 있다. 이러한 경향성에 근거하여 본 시뮬레이션에서는 동일 전력 할당(equip-power allocation) 방식을 사용하였다.

[0091] 본 시뮬레이션은 [표 2]의 값을 이용하여, 다운링크 부채널에 AMC(Adaptive Modulation Coding)를 적용하였을 때의 처리량을 계산하였다. 각 부채널 별로 CNR(Carrier to Noise Ratio)을 계산하여, 이에 맞는 MCS(Modulation & Coding Scheme) 레벨을 선택하며, 이때 각 부채널 별로 얻을 수 있는 처리량(Data rate)은

$$\frac{P^n}{M} \|\mathbf{g}_k^n\|^2$$

[표 2]에 명시되어 있다. CNR은 각 부채널 별로 $\frac{P^n}{M} \|\mathbf{g}_k^n\|^2$ 의 값을 계산함으로써 얻어진다.

표 2

| MCS Level | Modulations | Coding Rate | CNR for 1% PER (dB) | Data Rate (kbps) |
|-----------|-------------|-------------|---------------------|------------------|
| 1 | QPSK | 1/12 | -2.2 | 614.4 |
| 2 | QPSK | 1/6 | 0.1 | 1228.8 |
| 3 | QPSK | 1/3 | 2.9 | 2457.6 |
| 4 | QPSK | 1/2 | 6.0 | 3686.4 |
| 5 | QPSK | 2/3 | 10.2 | 4915.2 |
| 6 | 16QAM | 1/2 | 10.9 | 7372.8 |
| 7 | 16QAM | 2/3 | 15.2 | 9830.4 |
| 8 | 64QAM | 2/3 | 20.2 | 14745.6 |
| 9 | 64QAM | 5/6 | 28.6 | 18432 |

[0093] 도 5는 본 발명을 SRM 기법에 적용하였을 때의 'arithmetic mean throughput'의 성능을 보여주기 위한 그래프이

다. 즉, 도 5는 본 발명에서 제안된 알고리즘이 'arithmetic mean throughput'을 최대화하는 것을 목표로 하는 할당 기법인 SRM 기법을 사용하는 시스템에 적용하였을 때의 'arithmetic mean throughput' 성능을 보여주고 있다. Full CSI의 'arithmetic mean throughput'(최대값)으로 제한적 채널 피드백을 사용하였을 때의 'arithmetic mean throughput'들을 정규화(normalization)시킨 것을 y축으로 보여주고 있다.

- [0094] 기존의 채널 피드백 알고리즘 중에서 모든 사용자가 일정 수의 부채널을 기지국에 보고하는 방식인 Best-M(고정 m 과 $\beta=0$)과 본 발명에서 제안된 알고리즘($m=16$ 과 큰 β)의 성능 비교를 위하여 Full CSI의 'arithmetic mean throughput'의 90%를 가지는 m 과 β 를 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.
- [0095] 도 5에 나타낸 바와 같이, ' $m=6, \beta=0$ '일 때와 ' $m=16, \beta=0.11$ '일 때 'normalized arithmetic mean throughput'이 90%를 가지는 것을 확인할 수 있다.
- [0096] 이때 ' $m=6, \beta=0$ '는 총 180개의 부채널을 ' $m=16, \beta=0.11$ '은 총 162개의 부채널을 필요로 한다. 결과적으로, 본 발명은 SRM 기술을 사용하는 시스템에 적용 되었을 때 필요로 하는 총 피드백 양을 Best-M에 비해 10% 정도 줄여주는 효과를 가진다.
- [0097] 도 6은 각 사용자별로 채널 피드백 부담을 줄여주는 효과를 가지는 것을 보여주는 것이다.
- [0098] x축은 사용자들을 최대 채널 이득에 따라 내림차순으로 정렬한 후에 사용자 단말들을 나타내고, 이때 y축은 각 사용자들이 피드백해야 하는 부채널 수를 각 사용자들의 채널 용량으로 나누어 실질적인 채널 피드백 부담 정도를 나타내는 것이다. 기존의 채널 피드백 방식인 Best-M이 도 6에서 파란색 선의 결과이며, 붉은색 선은 본 발명에서 제안된 알고리즘의 성능을 나타낸다. 도 6에서 알 수 있는 바와 같이 채널 상태가 좋지 않은 사용자 단말(높은 인덱스의 사용자)들의 채널 피드백 부담 면에서 본 발명이 기존의 Best-M 알고리즘과 비교하여 약 1/6 정도로 부담을 감소시켜주고 있음을 알 수 있다.
- [0099] 도 7은 본 발명을 PF 기술에 적용하였을 때의 'geometric mean throughput'의 성능을 보여주기 위한 그래프이다. 다시 말해, 도 7은 'geometric mean throughput'을 최대화하는 것을 목표로 하는 할당 기법인 PF 기법을 사용하는 시스템에 적용하였을 때의 'geometric mean throughput' 성능을 보여주고 있다.
- [0100] 도 7에서 Full CSI의 'geometric mean throughput'(최대값)으로 제한적 채널 피드백을 사용하였을 때의 'geometric mean throughput'들을 정규화(normalization)시킨 것을 y축으로 보여주고 있다. 기존의 채널 피드백 알고리즘 중에서 모든 사용자가 일정 수의 부채널을 기지국에 보고하는 방식인 Best-M(고정 m 과 $\beta=0$)과 본 발명에서 제안된 알고리즘($m=16$ 과 큰 β)의 성능 비교를 위하여 Full CSI의 'geometric mean throughput'의 90%를 가지는 m 과 β 를 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 도 7에 나타낸 바와 같이 ' $m=6, \beta=0$ '일 때와 ' $m=16, \beta=0.08$ '일 때 'normalized geometric mean throughput'이 90%를 가지는 것을 확인할 수 있다.
- [0101] 이때, ' $m=6, \beta=0$ '는 총 180개의 부채널을 ' $m=16, \beta=0.08$ '은 총 202개의 부채널을 필요로 한다. 결과적으로, 본 발명은 PF 기법을 사용하는 시스템에 적용되었을 때 필요로 하는 총 피드백 양면에서 Best-M에 비해 10% 정도의 증가된 양을 필요로 하지만, 본 발명에 따른 장점은 다음의 도 8을 통해 확인할 수 있다.
- [0102] 도 8은 각 사용자 별로 채널 피드백 부담을 줄여주는 효과를 가지는 것을 보여주고 있다. x축은 사용자들을 최고 채널 이득에 따라 내림차순으로 정렬한 후의 사용자들을 나타내고, 이때 y축은 각 사용자들이 피드백해야 할 부채널 수를 각 사용자들의 채널 용량으로 나누어 실질적인 채널 피드백 부담 정도를 보여주고 있다. 기존의 채널 피드백 방식인 Best-M이 도 8에서 파란색 선의 결과이며, 붉은색 선은 본 발명에서 제안된 알고리즘의 성능을 나타낸다.
- [0103] 도 8에 나타낸 바와 같이, 채널 상태가 좋지 않은 사용자(높은 인덱스의 사용자)들의 채널 피드백 부담 면에서 본 발명은 기존의 Best-M 알고리즘과 비교하여 약 1/3 정도로 부담을 줄여주는 것을 확인할 수 있다.
- [0104] 실제 시스템에서는 채널 피드백 시에 요구되는 총 부채널 수보다 가장 채널 상태가 좋지 않은 사용자에게 주어진 채널 피드백 부담이 더 중요시 여겨진다. 본 발명에서 제안된 알고리즘은 기존 채널 피드백 알고리즘들과 비교하여 SRM과 PF 방식을 사용하는 시스템에서 채널 상태가 좋지 않은 사용자에게 채널 피드백 부담을 최소화시켜 줄 수 있다.
- [0105] 한편, 전술한 바와 같은 본 발명의 방법은 컴퓨터 프로그램으로 작성이 가능하다. 그리고 상기 프로그램을 구성하는 코드 및 코드 세그먼트는 당해 분야의 컴퓨터 프로그래머에 의하여 용이하게 추론될 수 있다. 또한, 상기 작성된 프로그램은 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체(정보저장매체)에 저장되고, 컴퓨터에 의하여 판독되고 실행됨으로써 본 발명의 방법을 구현한다. 그리고 상기 기록매체는 컴퓨터가 판독할 수 있는 모든 형태의 기록매체

를 포함한다.

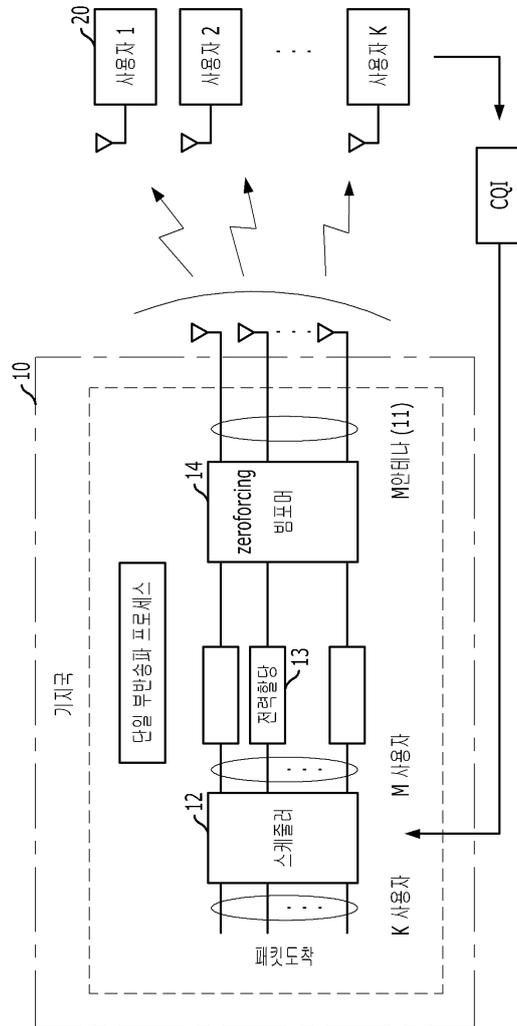
[0106] 이상에서 설명한 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하므로 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니다.

도면의 간단한 설명

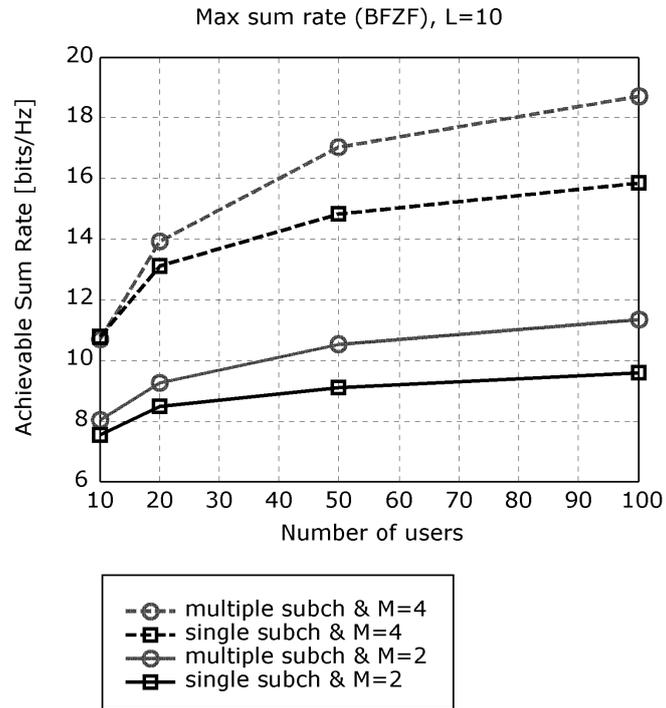
- [0107] 도 1은 본 발명이 적용되는 하향링크 사용자 선택을 위한 다중 안테나(MIMO) 시스템에 대한 일시시예 구성도,
- [0108] 도 2는 단일 부채널과 다중 부채널 시스템의 데이터 처리량을 나타내는 그래프,
- [0109] 도 3은 본 발명에 따른 다중 안테나 시스템에서의 효율적인 채널 피드백을 적용한 사용자 선택 방법에 대한 일 실시예 흐름도,
- [0110] 도 4는 다양한 β 와 사용자 수에 따른 총 부채널 피드백 개수를 나타내는 그래프,
- [0111] 도 5는 본 발명을 SRM 기술에 적용하였을 때의 'arithmetic mean throughput'의 성능을 나타내는 그래프,
- [0112] 도 6은 본 발명을 SRM 기술에 적용하였을 때 사용자 별 채널 피드백 부담을 나타내는 그래프,
- [0113] 도 7은 본 발명을 PF 기술에 적용하였을 때의 'geometric mean throughput'의 성능을 나타내는 그래프,
- [0114] 도 8은 본 발명을 PF 기술에 적용하였을 때 사용자 별 채널 피드백 부담을 나타내는 그래프이다.

도면

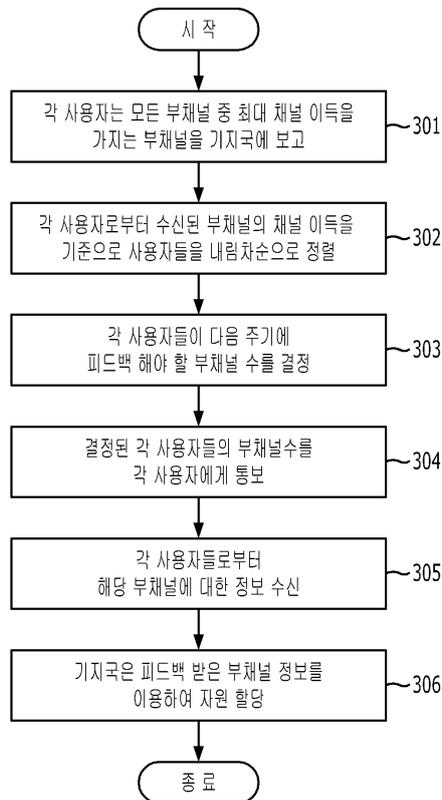
도면1



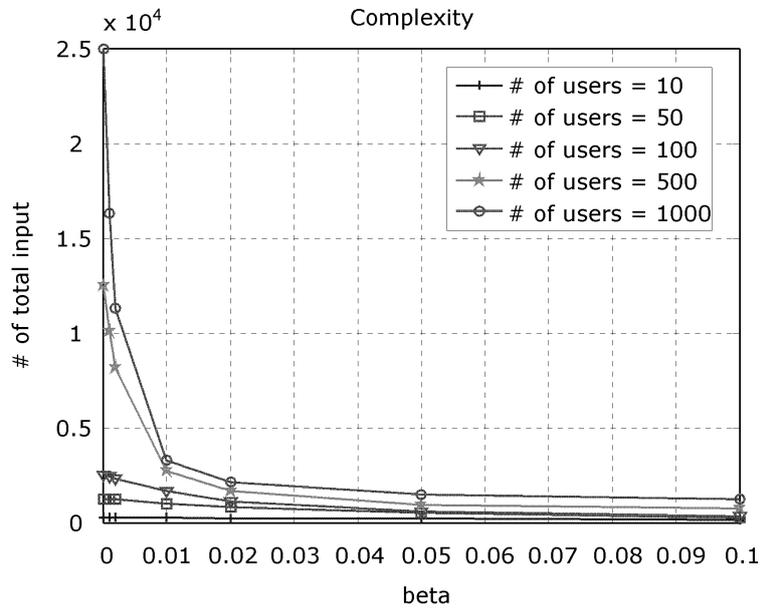
도면2



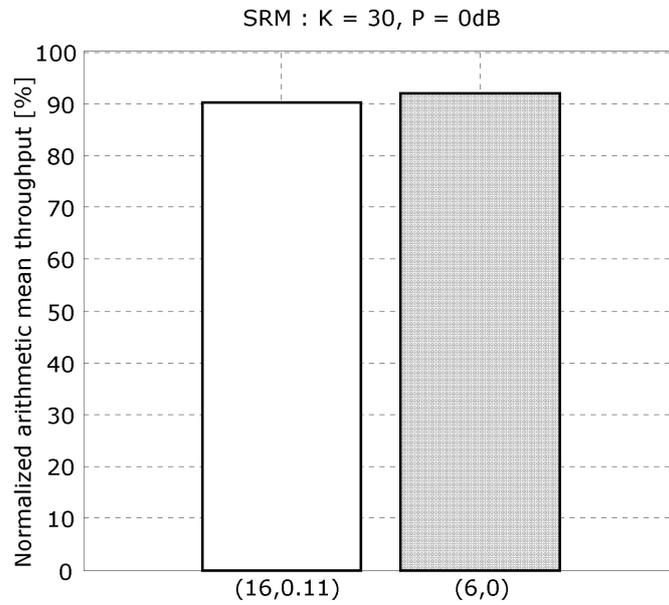
도면3



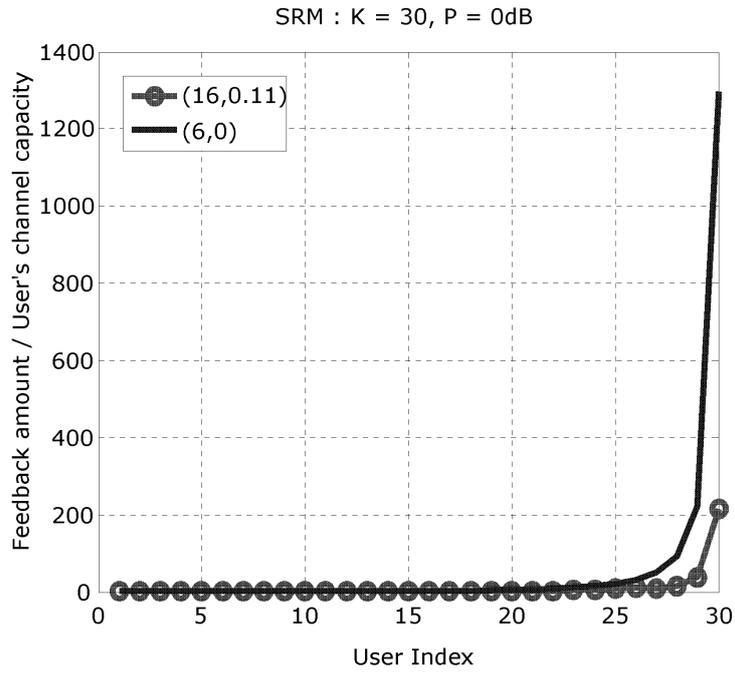
도면4



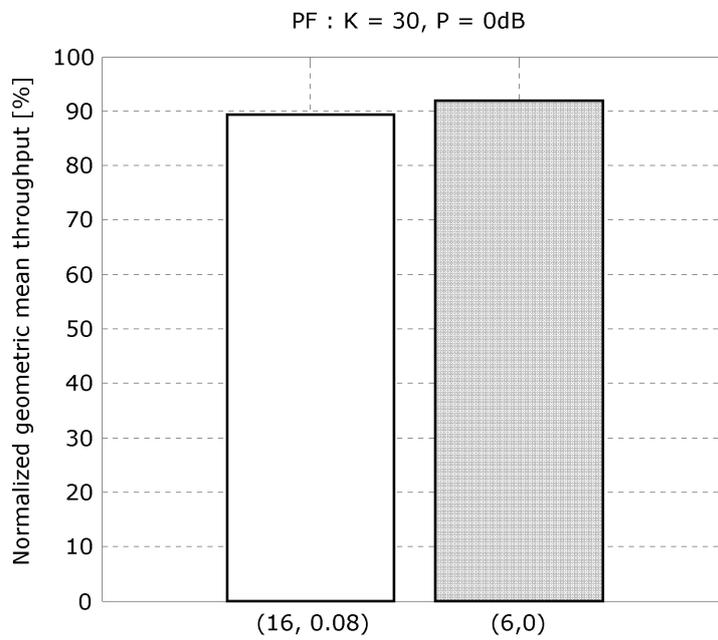
도면5



도면6



도면7



도면8

