



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년09월04일
(11) 등록번호 10-1179704
(24) 등록일자 2012년08월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 72/12 (2009.01) H04W 88/08 (2009.01)
(21) 출원번호 10-2011-0020807
(22) 출원일자 2011년03월09일
심사청구일자 2011년03월09일
(56) 선행기술조사문헌
KR100986649 B1
KR1020080053679 A

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
이인규
서울특별시 광진구 능동로 90, B동 605호 (자양동, 더 클래식500)
신훈영
서울특별시 서초구 방배로 21, 경남아파트 3동 802호 (방배동)
(74) 대리인
김정훈, 이진주

전체 청구항 수 : 총 8 항

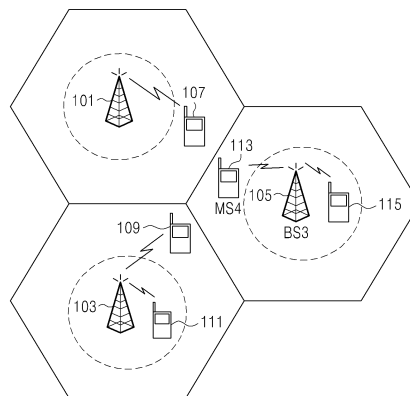
심사관 : 전영상

(54) 발명의 명칭 통신 시스템에서 간섭 정렬을 이용하여 스케줄링하는 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 통신 시스템에서 간섭 신호를 이용하여 스케줄링하는 방법 및 장치에 관한 것으로, 미리 지정된 채널 위상의 평균값을 이용하여 제1기지국의 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 제1사용자를 결정하고, 상기 결정된 제1사용자의 채널 정보를 이용하여 제2기지국의 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 제2사용자와 제3기지국의 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 제3사용자를 결정하고, 상기 결정된 제1 내지 제3사용자의 채널 정보를 이용하여 상기 채널 위상 값을 계산하고, 상기 계산된 채널 위상 값을 이용하여 상기 제1기지국의 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 제1사용자를 재결정하는 스케줄링부를 특징으로 한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2010-0017909

부처명 교육과학기술부

연구사업명 중견연구자지원사업 도약 연구

연구과제명 불규칙 행렬이론을 이용한 분산 안테나 기반 다중셀 이동통신 시스템 설계

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2010.05.01 ~ 2011.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

복수의 셀들을 기반으로 통신 서비스를 지원하는 통신 시스템에서 간섭 정렬을 이용하여 스케줄링하는 장치에 있어서,

상기 복수의 셀들 각각에 위치하는 사용자들의 채널 위상의 평균값을 이용하여 상기 복수의 셀들 중 하나인 서빙 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자를 결정하고, 상기 서빙 셀에서 결정한 사용자에게 대한 채널 정보를 이용하여 상기 복수의 셀들 중 상기 서빙 셀을 제외한 나머지 셀들 각각에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자들을 결정하고, 상기 복수의 셀들 각각에서 결정된 사용자들이 가지는 채널 정보를 이용하여 새로이 계산한 채널 위상 값을 기반으로 상기 서빙 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자를 재결정하는 스케줄링부를 포함하는 스케줄링 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 스케줄링부는 상기 서빙 셀 내에서 재결정한 사용자에게 대한 채널 정보를 이용하여 상기 복수의 셀들 중 상기 서빙 셀을 제외한 나머지 셀들 각각에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자들을 재결정함을 특징으로 하는 스케줄링 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 채널 정보는 해당 사용자에게 대한 채널 위상 값과 채널 진폭 값을 포함함을 특징으로 하는 스케줄링 장치.

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 스케줄링부는 상기 서빙 셀 내에서 재결정한 사용자와 상기 나머지 셀들 각각에서 결정한 사용자들을 포함하는 사용자 셋을 생성함을 특징으로 하는 스케줄링 장치.

청구항 6

복수의 셀들을 기반으로 통신 서비스를 지원하는 통신 시스템에서 간섭 정렬을 이용하여 스케줄링하는 방법에 있어서,

상기 복수의 셀들 각각에 위치하는 사용자들의 채널 위상의 평균값을 이용하여 상기 복수의 셀들 중 하나인 서빙 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자를 결정하는 과정과,

상기 서빙 셀에서 결정한 사용자에게 대한 채널 정보를 이용하여 상기 복수의 셀들 중 상기 서빙 셀을 제외한 나머지 셀들 각각에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자들을 결정하는 과정과,

상기 복수의 셀들 각각에서 결정된 사용자들이 가지는 채널 정보를 이용하여 새로이 계산한 채널 위상 값을 기반으로 상기 서빙 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자를 재결정하는 과정을 포

합하는 스케줄링 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 재결정한 사용자에게 대한 채널 정보를 이용하여 상기 복수의 셀들 중 상기 서빙 셀을 제외한 나머지 셀들 각각에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자들을 재결정하는 과정을 더 포함하는 스케줄링 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 채널 정보는 해당 사용자에게 대한 채널 위상 값과 채널 진폭 값을 포함함을 특징으로 하는 스케줄링 방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 재결정한 사용자와 상기 나머지 셀들 각각에서 결정한 사용자들을 포함하는 사용자 셋을 생성하는 과정을 더 포함하는 스케줄링 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 스케줄링 방법 및 장치에 관한 것으로, 특히, 통신 시스템에서 간섭 정렬을 이용하여 스케줄링하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근에, 고용량 데이터 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라, 고속으로 패킷을 전송하는 고속 패킷 접속 모바일 시스템들이 점차 발전하고 있다. 다중 사용자와 다중 경로 페이딩 상태에서 고속 및 고용량으로 데이터를 전송하기 위해서 간섭 채널에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다.

[0003] 이와 같이, 십 수년간 간섭 채널에 대한 연구가 진행되어 왔으나 2-사용자 간섭 채널의 경우에서도 용량 (Capacity) 특성이 완벽히 알려지지 않았다. 따라서 이러한 용량 특성 대신에 높은 신호 대 잡음 비(Signal to Noise Ratio, 이하 'SNR'이라 한다) 영역에서의 용량 특성을 결정짓는 DOF(Degree of Freedom)에 관한 연구가 활발하게 진행되어 왔다.

[0004] 이러한 DOF의 연구에 의해, V. R. Cadambe와 S. A. Jafar은 "Interference Alignment and Degrees of Freedom of the K-User Interference Channel" (IEEE Transactions Information Theory, Vol 54. No 8. pp.3425 - 3441, Aug 2008)에서 K-사용자 간섭 채널에서의 최대 DOF를 이론적으로 분석을 하였고, 이론을 뒷받침하기 위하여 심볼 확장과 채널의 시변 특성의 가정 하에 간섭 정렬 기법을 제안하였다. 또한, V. R. Cadambe과 S. A. Jafar와 C. Wang은 "Interference Alignment with Asymmetric Complex Signaling - Settling the Host-Madsen-Nosratinia Conjecture" 에서 심볼 확장만을 이용한 비대칭 복소 신호 간섭 정렬 기법을 제안하였다.

[0005] 그러나 이 두 간섭 정렬 기법은 시분할 다중 접속(Time Division Multiple Access, 이하 'TDMA'라 한다)기법보다 높은 DOF를 제공하지만, 낮은 SNR 영역에서는 Sum Rate 성능이 열화되었다.

[0006] 그러므로 Sum Rate 성능이 열화되지 않는 간섭 정렬 기법에 대한 필요성이 대두되었다. 그리고 이러한 간섭 정렬 기법을 이용하여 사용자를 스케줄링하는 필요성도 대두되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 낮은 SNR 영역에서도 Sum Rate 성능이 열화되지 않는 간섭 정렬 기법을 이용하여 사용자를 스케줄링하는 방법 및 장치를 제안하고자 한다.

[0008] 그리고 본 발명은 Sum Rate의 성능을 열화하지 않고 계산의 복잡성을 줄이면서 스케줄링하는 방법 및 장치를 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 과제를 해결하기 위해, 본 발명에서 제안하는 장치는, 복수의 셀들을 기반으로 통신 서비스를 지원하는 통신 시스템에서 간섭 정렬을 이용하여 스케줄링하는 장치에 있어서, 상기 복수의 셀들 각각에 위치하는 사용자들의 채널 위상의 평균값을 이용하여 상기 복수의 셀들 중 하나인 서빙 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자를 결정하고, 상기 서빙 셀에서 결정한 사용자에 대한 채널 정보를 이용하여 상기 복수의 셀들 중 상기 서빙 셀을 제외한 나머지 셀들 각각에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자들을 결정하고, 상기 복수의 셀들 각각에서 결정된 사용자들이 가지는 채널 정보를 이용하여 새로이 계산한 채널 위상 값을 기반으로 상기 서빙 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자를 재결정하는 스케줄링부를 특징으로 한다.

[0010] 상기한 과제를 해결하기 위해, 본 발명에서 제안하는 방법은, 복수의 셀들을 기반으로 통신 서비스를 지원하는 통신 시스템에서 간섭 정렬을 이용하여 스케줄링하는 방법에 있어서, 상기 복수의 셀들 각각에 위치하는 사용자들의 채널 위상의 평균값을 이용하여 상기 복수의 셀들 중 하나인 서빙 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자를 결정하며, 상기 서빙 셀에서 결정한 사용자에 대한 채널 정보를 이용하여 상기 복수의 셀들 중 상기 서빙 셀을 제외한 나머지 셀들 각각에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자들을 결정하며, 상기 복수의 셀들 각각에서 결정된 사용자들이 가지는 채널 정보를 이용하여 새로이 계산한 채널 위상 값을 기반으로 상기 서빙 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 썸-레이트가 가장 큰 사용자를 재결정함을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명은 낮은 SNR 영역에서도 Sum Rate 성능이 열화되지 않는 간섭 정렬 기법을 이용하여 사용자를 스케줄링할 수 있다.

[0012] 그리고 본 발명은 Sum Rate의 성능을 열화하지 않고 계산의 복잡성을 줄이면서 스케줄링할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 SISO 통신 시스템의 구조도,
 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 기지국의 블럭 구성도,
 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 기지국이 스케줄링하는 동작을 나타내는 흐름도,
 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 스케줄링 방식과 다른 스케줄링 방식의 Sum Rate를 비교한 그래프,
 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 스케줄링 방식과 다른 스케줄링 방식의 Sum Rate를 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 하기의 설명에서는 본 발명에 따른 동작을 이해하는데 필요한 부분만이 설명되며 그 이외 부분의 설명은 본 발명의 요지를 흐트리지 않도록 생략될 것이라는 것을 유의하여야 한다.

[0015] 도 1에는 본 발명의 실시 예에 따른 단일 입력 단일 출력(Single Input Single Output, 이하 'SISO'라 한다) 통신 시스템이 기재되어 있다.

[0016] 도 1을 참조하면, SISO 통신 시스템은 세 개의 기지국들(101, 103, 105)과 제1기지국(101)의 셀 내에 위치하는 사용자(107)와 제2기지국(103)의 셀 내에 위치하는 사용자들(109, 111)과 제3기지국(105)의 셀 내에 위치하는 사용자들(113, 115)로 구성된다.

[0017] 여기서 SISO 통신 시스템은 셀 간 간섭이 존재하는 3-셀 간섭 방송 채널 시스템이라고 고려한다. 그리고 각 셀 안에는 하나의 기지국과 K 명의 사용자가 존재하며, 모두 하나의 안테나를 구비하고, 각 노드들은 채널 정보를 정확히 알 수 있다고 가정한다.

[0018] 이때, (i, j) 사용자의 채널 출력은 다음과 같은 수학적식으로 정의된다. 여기서, (i, j) 사용자는 i 번째 셀의 j 번째 사용자를 나타낸다.

수학식 1

$$y_j^{[i]} = \sum_{k=1}^3 h_j^{[ik]} x^{[k]} + n_j^{[i]}$$

[0019]

[0020] 여기서, i와 k는 셀을 나타내며, i와 $k \in \{1, 2, 3\}$ 이고, j는 사용자를 나타내며, $j \in \{1, \dots, K\}$ 이고,

$x^{[k]}$ 는 k번째 기지국으로부터 전송된 데이터를 나타내며, $h_j^{[ik]}$ 는 k번째 기지국으로부터 (i, j) 사용자

까지의 채널 계수를 나타내고, $n_j^{[i]}$ 는 (i, j) 사용자에게 대한 잡음이며, 평균이 0이며 분산이 σ_n^2 인 가우

시안 노이즈(Gaussian noise)를 나타낸다. 여기서, 채널 계수와 가우시안 노이즈는 서로 독립적이며 동일한 분포 (independent and identically distributed, 이하 'i.i.d.'라 한다)를 가지고, 기지국 당 전력 제한은

$E[|x^{[i]}|] \leq P$ 이고, $i=1, 2, 3$ 이라고 가정한다.

[0021] 위의 수학식 1에서, (i, j) 사용자가 (i, k_1) , (i, k_2) 과 (i, k_3) 사용자들로 변경되면, 3셀 간섭 방송 채널은 3개의 기지국이 원하는 이동 사용자에게 독립적인 데이터를 전송하는 3셀 간섭 채널이라고 볼 수

있다. 그러므로 (i, k_i) 사용자에서 수신된 신호는 다음과 같은 수학적식으로 나타난다.

수학식 2

$$y_{k_i}^{[i]} = h_{k_i}^{[ii]} x^{[i]} + \sum_{j \neq i} h_{k_i}^{[ij]} x^{[j]} + n_{k_i}^{[i]}$$

[0022]

[0023] 실수 값(real-valued) 표현을 이용하면, 수학식 2는 다음과 같은 수학적식으로 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$\mathbf{y}_{k_i}^{[i]} = \mathbf{H}_{k_i}^{[ii]} \mathbf{x}^{[i]} + \sum_{j \neq i} \mathbf{H}_{k_i}^{[ij]} \mathbf{x}^{[j]} + \mathbf{n}_{k_i}^{[i]}$$

[0024]

[0025] 여기서, $\mathbf{y}_{k_i}^{[i]} = [\Re\{y_{k_i}^{[i]}\} \Im\{y_{k_i}^{[i]}\}]^T$, $\mathbf{x}^{[i]} = [\Re\{x^{[i]}\} \Im\{x^{[i]}\}]^T$, $\mathbf{n}_{k_i}^{[i]} = [\Re\{n_{k_i}^{[i]}\} \Im\{n_{k_i}^{[i]}\}]^T$ 이고,

$$\mathbf{H}_{k_i}^{[ij]} = \begin{bmatrix} \Re\{h_{k_i}^{[ij]}\} & -\Im\{h_{k_i}^{[ij]}\} \\ \Im\{h_{k_i}^{[ij]}\} & \Re\{h_{k_i}^{[ij]}\} \end{bmatrix}$$
이다. 그리고 $\Re\{\cdot\}$ 과 $\Im\{\cdot\}$ 은 각각 실수 부분과 허수 부분을 나타낸다.

[0026] 회전 행렬을 이용하면, 채널 행렬은 자신의 절대값과 위상으로 나타낼 수 있다. 이와 같이, 수학식 3에 회전 행렬을 도입하면, 다음과 같은 수학식으로 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$\mathbf{y}_{k_i}^{[i]} = A_{k_i}^{[ii]} \mathbf{J}(\theta_{k_i}^{[ii]}) \mathbf{x}^{[i]} + \sum_{j \neq i} A_{k_i}^{[ij]} \mathbf{J}(\theta_{k_i}^{[ij]}) \mathbf{x}^{[j]} + \mathbf{n}_{k_i}^{[i]}$$

[0027]

여기서, $A_{k_i}^{[ij]} = |h_{k_i}^{[ij]}|$, $\theta_{k_i}^{[ij]} = \angle h_{k_i}^{[ij]}$ 이며, $\mathbf{J}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$ 이다.

[0028]

[0029] 3셀 간섭 채널에서 최적의 DOF는 1.5이다. 이와 같이, DOF가 1.5가 되기 위해서는, 각 사용자는 2차원 신호 공간을 통해 1의 DOF를 가져야 한다. 수학식 3과 4는 각 기지국과 선택된 이동 사용자가 두 개의 안테나들을 가지는 3-셀 간섭 채널 모델과 비슷하기 때문에, 기지국은 최적의 DOF를 획득하기 위해, 각 사용자에게 하나의 실수 심볼을 전송할 것이다.

[0030]

이때, 전송된 심볼 벡터는 $\mathbf{x}^{[i]} = \mathbf{v}^{[i]} u^{[i]}$ 이고, 여기서 $\mathbf{v}^{[i]} \in \mathbb{R}^{2 \times 1}$ 는 사용자 (i, k_i)에 대한 빔포밍 벡터이고, $u^{[i]} \in \mathbb{R}^{1 \times 1}$ 는 단위 차이를 가지는 사용자 (i, k_i)에 대한 실수 데이터를 나타낸다.

기지국 당 전력 제한을 만족하기 위해, $\mathbf{v}^{[i]}$ 는 $\|\mathbf{v}^{[i]}\| \leq P$ (i=1, 2, 3)을 만족시킨다. 여기서, $\mathbb{R}^{M \times N}$ 은 $M \times N$ 의 크기를 가지는 실수 행렬의 집합을 말한다.

[0031]

3-셀 간섭 방송 채널 시스템에서, 각 수신기가 자신이 원하는 신호를 복원하기 위해서는, 두 개의 간섭 신호가 한 차원으로 정렬되어야 한다. 이를 위해, 비대칭 복소(asymmetric complex) 시그널링으로 간섭 신호들의 위상을 조절함으로써, 한 차원에 간섭을 정렬한다. 이를 위해, 다음과 같이 회전 행렬을 정의한다.

수학식 5

$$\mathbf{j}_c(\theta) \triangleq \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \end{bmatrix}^T$$

[0032]

$$\mathbf{j}_r(\theta) \triangleq \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \end{bmatrix}$$

[0033]

[0034] 전체 전력 P가 소비된다고 가정하면, $\mathbf{v}^{[i]}$ 는 $\mathbf{v}^{[i]} = \sqrt{P} \mathbf{j}_c(\theta^{[i]})$ 로 나타낼 수 있다. $\mathbf{v}^{[i]}$ 는 2차원 벡터이므로, 채널 입-출력을 나타내는 수학식 4는 기지국과 이동 사용자 모두 2 개의 안테나들을 가지는 시스템을 나타낸다.

[0035]

따라서, 기지국은 $\theta^{[1]}$, $\theta^{[2]}$ 와 $\theta^{[3]}$ 을 조절함으로써, 각 사용자의 신호 공간의 반쪽 공간에 간섭

신호들을 나열할 수 있다. 그러므로, 높은 Sum Rate 성능을 갖기 위한 간섭 정렬 문제는 $\theta^{[1]}$, $\theta^{[2]}$ 와 $\theta^{[3]}$ 를 설계하는 문제와 같다.

높은 DOF를 가지기 위해, 간섭 정렬은 (i, k_1) 과 (i, k_2) 사용자들에 대한 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

수학식 6

$$\text{span}(\mathbf{H}_{k_1}^{[12]} \mathbf{v}^{[2]}) = \text{span}(\mathbf{H}_{k_1}^{[13]} \mathbf{v}^{[3]})$$

수학식 7

$$\text{span}(\mathbf{H}_{k_2}^{[21]} \mathbf{v}^{[1]}) = \text{span}(\mathbf{H}_{k_2}^{[23]} \mathbf{v}^{[3]})$$

여기서 $\text{span}(X)$ 는 행렬 X 의 행 벡터들에 의해 걸쳐진 신호 공간을 의미한다. 만약에, $\mathbf{v}^{[1]}$, $\mathbf{v}^{[2]}$ 와 $\mathbf{v}^{[3]}$ 가 다음과 같은 수학식으로 나타난다면, 수학식 6과 7이 만족된다.

수학식 8

$$\begin{aligned} \mathbf{v}^{[1]} &= \sqrt{P} \mathbf{j}_c(\theta_{k_2}^{[23]} - \theta_{k_2}^{[21]} + \theta_0) \\ \mathbf{v}^{[2]} &= \sqrt{P} \mathbf{j}_c(\theta_{k_1}^{[13]} - \theta_{k_1}^{[12]} + \theta_0) \\ \mathbf{v}^{[3]} &= \sqrt{P} \mathbf{j}_c(\theta_0). \end{aligned}$$

여기서, θ_0 은 빔포밍 벡터 $\mathbf{v}^{[3]}$ 의 위상이다. 그러나 θ_0 은 sum-rate 성능에 아무 영향도 미치지 않기 때문에, θ_0 을 0으로 설정한다. 수학식 8에서의 $\mathbf{v}^{[1]}$, $\mathbf{v}^{[2]}$ 와 $\mathbf{v}^{[3]}$ 의 선택과 함께, (i, k_1) , (i, k_2) 사용자들에 대한 간섭 항들은 정렬된다. 예를 들면, 적어도 하나의 DOF가 보장되도록 적어도 두 개의 실수 심볼은 성공적으로 전송될 수 있다.

추가적인 DOF를 만족하기 위해, $(3, k_3)$ 사용자에서 수신된 신호는 다음과 같은 수학식으로 나타난다.

수학식 9

$$\mathbf{y}_{k_3}^{[3]} = \mathbf{H}_{k_3}^{[33]} \mathbf{v}^{[3]} u^{[3]} + \mathbf{H}_{k_3}^{[31]} \mathbf{v}^{[1]} u^{[1]} + \mathbf{H}_{k_3}^{[32]} \mathbf{v}^{[2]} u^{[2]} + \mathbf{n}_{k_3}^{[3]}$$

여기서 두 번째와 세 번째 항은 간섭을 나타낸다. 만약에 다음과 같은 수학식을 만족한다면, 0.5의 DOF를 추

가적으로 달성할 수 있다.

수학식 10

$$\begin{aligned} & \text{span} \left(\mathbf{j}_c(\theta_{k_3}^{[31]} + \theta_{k_2}^{[23]} - \theta_{k_2}^{[21]}) \right) \\ &= \text{span} \left(\mathbf{j}_c(\theta_{k_3}^{[32]} + \theta_{k_1}^{[13]} - \theta_{k_1}^{[12]}) \right) \end{aligned}$$

그러나, 채널은 랜덤으로 생성되므로, 이러한 조건이 만족될 확률은 매우 낮다. 그러므로, 기지국은 다른 DOF 이득(gain)을 달성할 수 없다. 그러나, 각 셀 내에 한 사용자를 선택함으로써, 기지국은 향상된 sum-rate 성능을 획득할 수 있다.

이러한 조건을 이용하여, 기지국은 sum-rate 성능을 최대화하는 최적의 사용자를 선택한다. 이를 위해, 기지국은 모든 사용자 조합 K^3 중에서 최적의 유저 셋 $\{k_1^*, k_2^*, k_3^*\}$ 을 생성한다. 여기서, k_i^* 는 선택된 사용자를 나타낸다. 만약에 K가 크다면, 수학식 10을 만족하는 사용자 조합을 찾을 가능성이 더 높다. 그러므로, 기지국은 sum-rate 성능이 실제적인 SNR 영역에서 개선될 것을 기대할 수 있다. 수학식 8의 빔포밍 벡터를 이용함으로, sum-rate R_Σ 는 다음과 같은 수학식으로 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$R_\Sigma(S) = \sum_{m=1}^3 \frac{1}{2} \log_2 \left[\det \left(\mathbf{I}_2 + \left(\sum_{i \neq m} \mathbf{H}_{k_m}^{[mi]} \mathbf{v}_i \mathbf{v}_i^T \mathbf{H}_{k_m}^{[mi]T} + \frac{\sigma_n^2}{2} \mathbf{I}_2 \right)^{-1} \mathbf{H}_{k_m}^{[mm]} \mathbf{v}_m \mathbf{v}_m^T \mathbf{H}_{k_m}^{[mm]T} \right) \right]$$

여기서, $S = \{k_1, k_2, k_3\} \subset \{1, \dots, K\}^3$ 는 모든 가능한 사용자 조합 중에서 선택된 사용자 셋을 나타내며, 결론적으로, 최적의 사용자 셋은 다음과 같은 수학식에 의해 결정된다. 그리고 $\det(\cdot)$ 는 디터미넌트(determinant)이고, I_s 는 s의 크기를 가지는 단위 행렬이다.

수학식 12

$$\{k_1^*, k_2^*, k_3^*\} = \arg \max_{S \subset \{1, \dots, K\}^3} R_\Sigma(S)$$

이러한 스케줄링 알고리즘은 다중 사용자 다이버시티(MultiUser Diversity, 이하 'MUD'라 한다)를 활용하기 때문에, sum-rate 성능은 각 셀 내의 사용자 수가 증가할수록 개선된다. 그러나 K가 증가할 때, 서치 사이즈(search size)는 엄청나게 커진다.

이와 같은 서치 사이즈의 확대는 최적의 사용자 셋을 선택하기 위한 계산 시간을 증가시킨다. 그러므로, 본 발명의 실시 예로, 계산 복잡성과 서치 사이즈를 줄이는 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 이를 위해, 간단한 sum-rate 메트릭과 서치 사이즈를 줄이는 방안을 설명하고자 한다.

먼저, 본 발명의 실시 예에서는 수학식 11과 같은 sum rate를 계산하기 위한 수고를 줄이고자 한다. 간접 신호가 $(1, k_1)$ 과 $(2, k_2)$ 사용자들에서 완벽하게 배열되어 있으므로, 제로 포싱(Zero-Forcing, 이하 'ZF'라 한다) 수신기가 각 사용자에게 적용되어 있다고 가정하여 $(1, k_1)$ 과 $(2, k_2)$ 사용자들에 대한 간단

한 개별적인 rate를 나타낸다.

(1, k_1) 사용자의 수신된 신호 벡터는 다음과 같은 수학적식으로 나타낼 수 있다.

수학식 13

$$\mathbf{y}_{k_1}^{[1]} = \mathbf{H}_{k_1}^{[11]} \mathbf{v}^{[1]} u^{[1]} + \mathbf{H}_{k_1}^{[12]} \mathbf{v}^{[2]} u^{[2]} + \mathbf{H}_{k_1}^{[13]} \mathbf{v}^{[3]} u^{[3]} + \mathbf{n}_{k_1}^{[1]}$$

여기서, $\mathbf{y}_{k_1}^{[1]}$ 과 $\mathbf{n}_{k_1}^{[1]}$ 은 길이 2의 실수 행 벡터들을 나타내며, $u^{[i]}$ 는 실수 스칼라 값을 나타내고, $i=1, 2, 3$ 이다. 만약에, 수학식 8의 빔포밍 벡터를 사용한다면, 수학식 13의 간섭 신호들이 배열될 수 있다.

그러면, 상기 배열된 간섭 신호들은 ZF 수신기($\mathbf{w}_{ZF} = \mathbf{j}_r \left(\frac{\pi}{2} - \theta_{k_1}^{[13]} \right)$)를 적용함으로써 쉽게 제거될 수 있다. 이후에, (1, k_1) 사용자의 출력 신호인 $\hat{u}^{[1]}$ 은 다음과 같은 수학적식으로 나타낼 수 있다. 여기서, $\mathbf{W}^{ZF}$ 는 ZF 수신기에서 수신 신호로부터 원본 데이터인 사용자 출력 신호를 복원하기 위한 인자이다.

수학식 14

$$\begin{aligned} \hat{u}^{[1]} &= \mathbf{w}_{ZF}^T \mathbf{y}_{k_1}^{[1]} = \mathbf{H}_{k_1}^{[11]} \mathbf{v}^{[1]} u^{[1]} + \mathbf{w}_{ZF}^T \mathbf{n}_{k_1}^{[1]} \\ &= A_{k_1}^{[11]} \sqrt{P} \cos \left(\theta_{k_1}^{[11]} + \theta_{k_2}^{[23]} - \theta_{k_2}^{[21]} + \frac{\pi}{2} - \theta_{k_1}^{[13]} \right) u^{[1]} + \hat{n}^{[1]} \end{aligned}$$

여기서, $\hat{n}^{[1]}$ 은 분산 $\frac{\sigma_n^2}{2}$ 의 필터된 잡음을 나타낸다.

그러므로, ZF 수신기를 기반으로 한 각 사용자 (i, k_i)의 개별적인 rate는 다음과 같은 수학적식으로 나타낼 수 있다.

수학식 15

$$R_{ZF}^{[i]} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\left(A_{k_i}^{[ii]} \right)^2 P \cos^2 \left(\theta_{k_i}^{[ii]} + \theta_{k_{\bar{i}}}^{[i3]} - \theta_{k_{\bar{i}}}^{[i1]} + \frac{\pi}{2} - \theta_{k_i}^{[i3]} \right)}{\frac{\sigma_n^2}{2}} \right)$$

여기서, $i=1, 2$ 이며, $\bar{1}=2$ 이고, $\bar{2}=1$ 이다.

ZF 수신기를 가정하여 유도된 $R_{ZF}^{[1]}$ 과 $R_{ZF}^{[2]}$ 와 달리, 사용자 (3, k_3)의 정확한 개별적인 rate는 어떠한 생략도 없이 다음과 같은 수학적식으로 나타낼 수 있다.

수학식 16

$$R^{[3]} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_1 \alpha_3 \sin^2(\delta_1 - \delta_3) + \alpha_2 \alpha_3 \sin^2(\delta_2 - \delta_3) + \frac{\sigma_n^2}{2} \alpha_3}{\alpha_1 \alpha_2 \sin^2(\delta_1 - \delta_2) + \frac{\sigma_n^2}{2} (\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{\sigma_n^4}{4}} \right)$$

여기서,

$$\alpha_1 = \left(A_{k_3}^{[31]} \right)^2 P, \quad \alpha_2 = \left(A_{k_3}^{[32]} \right)^2 P, \quad \alpha_3 = \left(A_{k_3}^{[33]} \right)^2 P, \quad \delta_1 = \theta_{k_3}^{[31]} + \theta_{k_2}^{[23]} - \theta_{k_2}^{[21]},$$

$$\delta_2 = \theta_{k_3}^{[32]} + \theta_{k_1}^{[13]} - \theta_{k_1}^{[12]}, \quad \delta_3 = \theta_{k_3}^{[33]} \text{ 이다.}$$

수학식 15와 16에 의해, 사용자 조합 $\{k_1, k_2, k_3\}$ 에 대한 간단한 sum-rate는 다음과 같은 수학적 식으로 나타낼 수 있다.

수학식 17

$$R_{\Sigma}^{sub}(\{k_1, k_2, k_3\}) = R_{ZF}^{[1]} + R_{ZF}^{[2]} + R^{[3]}$$

이러한 근사화된 sum-rate을 이용하여, 스케줄링 메트릭을 계산하기 위한 곱셈 횟수는 상당히 줄어든다. 예를 들면, 수학식 11에 의한 sum-rate는 192번의 곱셈이 필요하지만, 수학식 17에 의한 근사화된 sum-rate는 단지 42번의 곱셈이 필요하다. 결론적으로, 기지국은 78%의 계산을 줄일 수 있다.

위에서 설명한 근사화된 썸-레이트 알고리즘(suboptimal sum-late algorism)을 이용하는 스케줄링 방식은 다음과 같은 단계에 의해 사용자 셋을 결정한다.

첫 번째 단계에서, 기지국은 최대 개별적인 rate를 가지는 사용자 $(3, k_3)$ 를 결정한다. 한편, 수학식 16을 살펴보면, 사용자 $(3, k_3)$ 뿐만 아니라 사용자 $(1, k_1)$ 과 $(2, k_2)$ 의 채널 위상들의 함수인 δ_1 과 δ_2 가 기재되어 있다. 그러므로, 사용자 $(3, k_3)$ 만의 개별적인 rate를 계산하기 위해, 수학식 16은 다음과 같은 수학적 식으로 근사화될 수 있다.

수학식 18

$$\tilde{R}^{[3]} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_1 \alpha_3 + \alpha_2 \alpha_3 + \sigma_n^2 \alpha_3}{\alpha_1 \alpha_2 + \sigma_n^2 (\alpha_1 + \alpha_2) + \frac{\sigma_n^4}{2}} \right)$$

여기서, 수학식 16의 다른 셀들과 연관되는 항인, $\sin_{i \neq j}^2(\delta_i - \delta_j)$ 은 $\frac{1}{2}$ 로 설정한다. 왜냐하면, 랜덤 채널 위상에 대한 평균값이 $\frac{1}{2}$ 이기 때문이다.

[0072] 이러한 결과로부터, 기지국은 다음과 같은 수학적식을 이용하여 사용자 (3, k_3)을 결정한다.

수학식 19

[0073]
$$k_3^* = \arg \max_{k_3 \in \{1, \dots, K\}} \tilde{R}^{[3]}$$

[0074] 두 번째 단계에서, 기지국은 사용자 (3, k_3)에 대한 채널 진폭 및 위상 정보를 확인한다. 그리고 기지국은 확인된 채널 진폭 및 위상 정보와 수학식 17을 이용하여 sum-rate를 최대화하는 사용자 (1, k_1)과 (2, k_2)을 결정한다. 즉, 기지국은 다음과 같은 수학적식을 이용하여 사용자 셋 { k_1^* , k_2^* }를 결정한다.

수학식 20

[0075]
$$\{k_1^*, k_2^*\} = \arg \max_{\{k_1, k_2\} \subset \{1, \dots, K\}^2} R_{\Sigma}^{sub}(\{k_1, k_2, k_3^*\})$$

[0076] 비록, 첫 번째 단계에서 기지국이 사용자 (3, k_3)를 이미 결정하였지만, 결정된 사용자 (3, k_3)를 구하기 위해, 랜덤 채널 위상의 평균값을 $\frac{1}{2}$ 이라고 가정하였으므로, 사용자 (3, k_3)의 결정이 정확하다고 할 수 없다.

[0077] 이에 따라, 세 번째 단계에서, 기지국은 결정된 사용자 (3, k_3)와 (1, k_1^*)과 (2, k_2^*)의 채널 정보와 수학식 16을 이용하여, sum-rate를 최대화하는 사용자 (3, k_3)을 다시 결정한다. 즉, 기지국은 다음과 같은 수학적식을 이용하여 사용자 (3, k_3^*)을 결정한다.

수학식 21

[0078]
$$\hat{k}_3^* = \max_{k_3 \in \{1, \dots, K\}} R^{[3]}$$

[0079] 여기서, δ_1 과 δ_2 는 사용자 (3, k_3)와 (1, k_1^*)과 (2, k_2^*)의 채널 정보에 의해 결정된다.

[0080] 그리고 기지국은 새로이 결정된 $\hat{k}_3^*$ 을 기반으로 k_1^* 과 k_2^* 를 추가적인 업데이트는 sum-rate 성능을 획득하기 위해 반복할 수 있다. 그러나 이러한 추가 반복은 계산의 복잡도를 증가시키므로, 한 번만 수행하는

것이 바람직하다.

- [0081] 본 발명의 실시 예에서는 사용자 (1, k_1)과 (2, k_2)에 간섭 정렬 빔포밍 벡터들을 적용하였으나, 사용자들의 선택은 채널 특성에 의존하여 변경될 수 있다. 예를 들면, 좀 더 나은 sum-rate 성능을 위해 사용자 (1, k_1)과 (3, k_3) 사용자를 선택할 수 있다.
- [0082] 그리고 본 발명에서 제안한 간단한 스케줄링 방식은 K^2+K 의 서치 사이즈와 수학식 19, 20, 21의 단계에서 각각 26, 42, 32번의 부동 소수점 곱셈을 요구하며, 곱셈의 전체 횟수는 $42K^2+58K$ 이다. 예를 들면, $K=10$ 인 경우, 최적 스케줄링 방식에 의한 곱셈 횟수는 19,200번이고, 간단한 스케줄링 방식에 의한 곱셈 횟수는 4,780번이다. 그러므로, 간단한 스케줄링 방식이 복잡성을 충분히 줄일 수 있다.
- [0083] 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 기지국의 블록 구성도이다.
- [0084] 도 2를 참조하면, 기지국은 데이터 생성부(201)와 스케줄링부(203)과 송/수신부(205)를 포함한다. 각 구성요소를 설명하면, 데이터 생성부(201)는 외부로부터 정보를 입력으로 하여 인코딩 및 변조하여 전송될 데이터를 생성한 후, 스케줄링부(203)로 출력한다. 그리고 스케줄링부(203)는 본 발명의 실시 예에 따른 스케줄링 방식을 이용하여 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 데이터를 전송할 사용자를 선택하고, 선택된 사용자에게 대응되도록 데이터를 매칭시킨다. 그리고 송/수신부(205)는 데이터를 안테나를 통해 전송하거나 외부로부터 수신한다.
- [0085] 특히, SISO 시스템이 3 개의 셀인 경우, 스케줄링부(203)는 수학식 19를 이용하여 3번째 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 sum-rate를 최대화하는 사용자를 결정한다. 그리고 스케줄링부(203)는 결정된 3번째 셀의 사용자에게 대한 채널 정보와 수학식 20을 이용하여 1번째 셀 및 2번째 셀 내의 위치하는 사용자들 중에서 sum-rate를 최대화하는 1번째 셀 및 2번째 셀의 사용자들을 각각 결정한다.
- [0086] 그리고 스케줄링부(203)는 결정된 1번째 내지 3번째 셀의 사용자들에 대한 채널 정보와 수학식 21을 이용하여 3번째 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 sum-rate를 최대화하는 사용자를 재결정한다. 그리고 스케줄링부(203)는 재결정된 3번째 셀의 사용자에게 대한 채널 정보와 수학식 20을 이용하여 1번째 셀 및 2번째 셀 내의 위치하는 사용자들 중에서 sum-rate를 최대화하는 1번째 셀 및 2번째 셀의 사용자들을 각각 재결정한다.
- [0087] 이러한 동작을 통해, 스케줄링부(203)는 3 개의 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 최적의 사용자 셋을 결정할 수 있다. 여기서 최적의 사용자 셋은 3개의 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 sum-rate를 최대화하는 3개의 셀들 각각에 대응되는 사용자들을 말한다.
- [0088] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 기지국이 스케줄링하는 동작을 나타내는 흐름도이다.
- [0089] 301단계에서, 기지국은 수학식 19를 이용하여 3번째 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 sum-rate를 최대화하는 사용자를 결정한 후, 303단계로 진행한다.
- [0090] 그리고 303단계에서, 기지국은 결정된 3번째 셀의 사용자에게 대한 채널 정보와 수학식 20을 이용하여 1번째 셀 및 2번째 셀 내의 위치하는 사용자들 중에서 sum-rate를 최대화하는 1번째 셀 및 2번째 셀의 사용자들을 각각 결정한 후, 305단계로 진행한다.
- [0091] 그리고 305단계에서, 기지국은 결정된 1번째 내지 3번째 셀의 사용자들에 대한 채널 정보와 수학식 21을 이용하여 3번째 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 sum-rate를 최대화하는 사용자를 재결정한 후, 307단계로 진행한다.
- [0092] 그리고 307단계에서, 기지국은 재결정된 3번째 셀의 사용자에게 대한 채널 정보와 수학식 20을 이용하여 1번째 셀 및 2번째 셀 내의 위치하는 사용자들 중에서 sum-rate를 최대화하는 1번째 셀 및 2번째 셀의 사용자들을 각각 재결정한다.
- [0093] 이러한 단계들을 통해, 기지국은 3 개의 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 최적의 사용자 셋을 결정할 수 있다. 여기서 최적의 사용자 셋은 3개의 셀 내에 위치하는 사용자들 중에서 sum-rate를 최대화하는 3개의 셀들 각각에 대응되는 사용자들을 말한다.

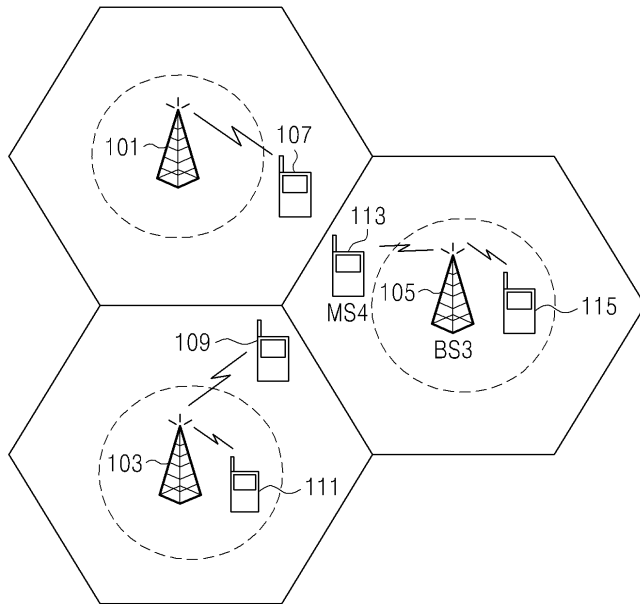
- [0094] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 스케줄링 방식과 다른 스케줄링 방식의 Sum Rate를 비교한 그래프이다.
- [0095] 401은 K가 20이라고 가정한 경우의 sum-rate를 비교한 그래프이다. 401에서, 수학식 11을 이용하여 계산된 sum-rate 알고리즘(optimal sum-rate 알고리즘)이 수학식 17을 이용하여 계산된 sum-rate 알고리즘(suboptimal sum-rate 알고리즘)과 거의 유사한 결과를 도출한다는 것을 알 수 있다. 예를 들면, optimal sum-rate 알고리즘과 suboptimal sum-rate 알고리즘간의 sum-rate 실행 갭이 12bps/Hz에서 단지 0.8dB이다.
- [0096] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 스케줄링 방식과 다른 스케줄링 방식의 Sum Rate를 비교한 그래프이다.
- [0097] 501은 20dB의 SNR에서 K가 2부터 20까지 변경되었을 경우에, optimal sum-rate 알고리즘에 의해 도출된 sum-rate와 suboptimal sum-rate 알고리즘에 의해 도출된 sum-rate와 기타 다른 알고리즘으로 도출된 sum-rate를 도시하고 있다. 501을 살펴보면, 본 발명의 실시 예에 따른 optimal 및 suboptimal sum-rate 알고리즘들과 다른 알고리즘간의 sum-rate 실행 갭이 K가 증가하는 만큼 증가한다. 이는 본 발명의 실시 예에 따른 sum-rate와 suboptimal sum-rate 알고리즘들을 MUD에 활용하는 이득이 다른 알고리즘을 이용하여 획득한 이득을 증가한다는 것을 보여준다.
- [0098] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.
- [0099] 예를 들면, 본 발명에서는 배열된 간섭을 제거하기 위해, ZF 방식을 이용하였으나, ZF 방식뿐만 아니라 배열된 간섭을 제거할 수 있는 다른 방식, 예를 들면, 레이크 등화기 같은 방식도 사용될 수 있다. 그리고 본 발명은 SISO 시스템을 예로 들어 설명하였으나, 본 발명은 SISO 시스템에만 국한되는 것이 아니라 MIMO 시스템 등의 다른 시스템에도 사용될 수 있다.

부호의 설명

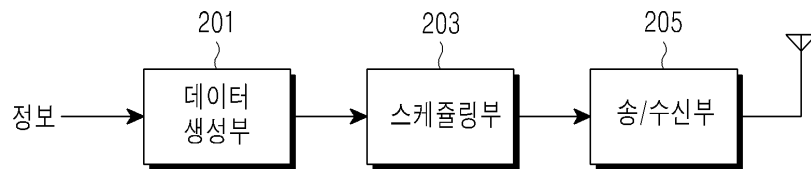
- [0100] 101, 103, 105: 기지국
107, 109, 111, 103, 115: 사용자
201: 데이터 생성부
203: 스케줄링부
205: 송/수신부

도면

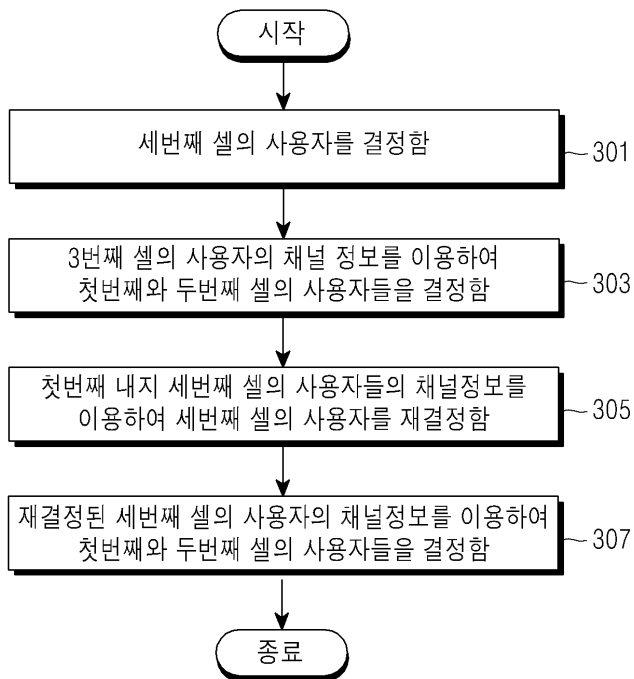
도면1



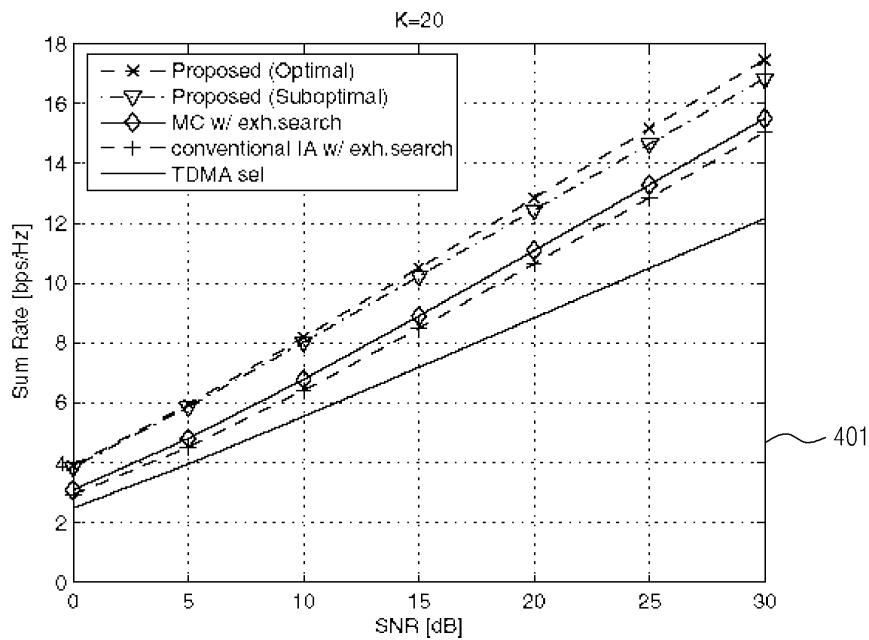
도면2



도면3



도면4



도면5

