(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년05월07일
(11) 등록번호 10-1142229
(24) 등록일자 2012년04월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/26 (2006.01) *H04W 16/32* (2009.01)
(21) 출원번호 10-2011-0002369
(22) 출원일자 2011년01월10일
심사청구일자 2011년01월10일
(56) 선행기술조사문헌
논문: 전자공학회
논문: 한국통신학회
KR100986649 B1

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
장경희
서울특별시 양천구 목동서로 70, 목동신시가지 아파트 220동 702호 (목동)
한동걸
충청북도 청주시 상당구 방서동 10
희빙
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 하이테크 433호 (용현동)
(74) 대리인
특허법인무한

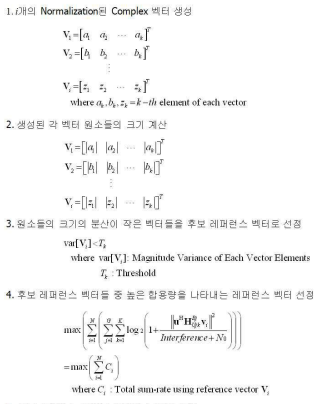
전체 청구항 수 : 총 4 항 심사관 : 장현근

(54) 발명의 명칭 **이동통신 시스템에서 셀 간 간섭 제거를 위한 부분공간 간섭 정렬의 레퍼런스 벡터 설정 방법**

(57) 요 약

부분공간 간섭 정렬에서 셀 용량 최대화를 위한 최적 레퍼런스 벡터 설정 방법이 개시된다. 레퍼런스 벡터 설정 방법은 수신단에 수신된 채널 정보에서 복소 벡터(complex vector)를 생성하여 복소 벡터에서 벡터 원소의 크기 분산이 작은 벡터 중 하나의 벡터를 레퍼런스 벡터로 선택하는 벡터 선택 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도10



특허청구의 범위

청구항 1

무선 통신 시스템의 다중 셀 네트워크 환경에서 인접 셀로 인한 간섭 신호를 정렬하기 위해 사용되는 레퍼런스 벡터(Reference Vector)를 설정하는 레퍼런스 벡터 설정 방법에 있어서,

상기 레퍼런스 벡터 설정 방법은,

수신단에 수신된 채널 정보에서 복소 벡터(complex vector)를 생성하여 상기 복소 벡터에서 벡터 원소의 크기 분산이 작은 벡터 중 하나의 벡터를 상기 레퍼런스 벡터로 선택하는 벡터 선택 단계

를 포함하는 레퍼런스 벡터 설정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 벡터 선택 단계는,

상기 복소 벡터 중 상기 벡터 원소의 크기 분산이 일정 범위 이하인 벡터를 후보 레퍼런스 벡터로 선정하는 단계; 및

상기 후보 레퍼런스 벡터 중에서 네트워크 내의 채널에 대한 합용량(sum-rate)이 가장 큰 벡터를 상기 레퍼런스 벡터로 선택하는 단계

를 포함하는 레퍼런스 벡터 설정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 벡터 선택 단계는,

정규화 된 복소 벡터를 복수 개 생성하는 단계;

상기 복소 벡터에 대한 벡터 원소의 크기를 계산하는 단계; 및

각각의 복소 벡터에 대하여 상기 벡터 원소의 크기 분산을 계산하는 단계;

를 더 포함하는 레퍼런스 벡터 설정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 레퍼런스 벡터는,

상기 인접 셀로 인한 간섭 신호를 전체 신호 공간 내에서 다차원을 갖는 부분공간으로 정렬하기 위해 사용되는 것

을 특징으로 하는 레퍼런스 벡터 설정 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 실시예들은 다중 셀 환경에서 전체 셀 용량을 향상시키기 위하여 부분공간 간섭 정렬(Sub-space Interference Alignment) 기법을 위한 새로운 레퍼런스 벡터 설정 알고리즘에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근, 무선 통신 시스템에서는 사용자의 고속 데이터에 대한 요구를 충족시키고자 펨토셀과 같은 초소형 기지국

을 사용자가 원하는 시간과 장소에 설치해 사용하는 방안이 검토되고 있다. 펨토셀은 낮은 전력을 사용하기 때문에 수십 미터 정도의 매우 작은 커버리지를 갖지만, 임의의 시간과 장소에 설치되기 때문에 다른 네트워크 장치에 매우 강력한 간섭을 미칠 수 있다. 또한, 다중 셀 네트워크 환경에서 셀 경계에 위치한 사용자는 인접한 셀의 기지국 및 사용자로부터 간섭의 영향을 많이 받게 된다. 특히, 모든 셀이 같은 주파수 대역을 사용하는 통신 시스템의 경우 그렇지 않은 시스템에 비해 인접 셀로 인한 간섭의 영향이 더욱 커지게 되고, 이로 인해 전체 시스템의 용량 감소 및 사용자의 QoS(Quality of Service)가 감소하게 된다. 따라서, 차세대 무선 통신 시스템에서는 간섭을 효과적으로 관리하는 것이 매우 중요한 문제로 대두되고 있고, 이러한 간섭 문제를 효과적으로 제어하기 위한 간섭 제어 기술들이 활발히 연구되고 있다.

[0003] 최근 여러 사용자가 존재하는 채널 환경에서 주어진 자원 내의 특정 영역에 다른 사용자들의 간섭 신호를 정렬시킴으로써 전체 시스템의 용량을 향상시키는 간섭 정렬(Interference Alignment) 기법이 제안되었다. 간섭 정렬 기법은 모든 사용자가 다른 사용자로부터의 간섭 신호를 사용 가능한 자유도의 절반 내에 위치시킴으로써 나머지 반에서는 간섭이 없는 통신을 제공하는 기술이다. 그러나, 간섭 정렬 기법은 각 사용자가 네트워크 내의 모든 채널 정보를 알고 있어야 한다는 점과 더불어 한 네트워크에 대한 간섭 정렬이 다른 네트워크에 대한 간섭 정렬을 보장하지 않는 문제점 때문에 다중 셀 환경에 적용하기에는 어려움이 있다.

[0004] 이러한 다중 셀 환경에서의 적용이 어려운 간섭 정렬 기법을 보완하기 위해 부분공간 간섭정렬 기법이 제안되었다. 부분공간 간섭정렬 기법은 각 사용자가 채널 행렬을 크로네커(Kronecker)곱 형태를 갖는 행렬로 분리하여 인접 셀로부터의 간섭을 전체 수신 신호 공간 내에서 다차원을 갖는 부분공간으로 정렬하는 방법이다. 그러나, 간섭 신호를 정렬하기 위해 사용되는 레퍼런스 벡터에 따라 전체 합용량이 크게 달라지는 문제점을 나타내고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 다중 셀 환경에서 부분공간 간섭정렬 기법을 적용함에 있어, 간섭을 정렬하기 위해 사용하는 전송 벡터를 생성하는데 사용되는 레퍼런스 벡터에 따라 전체 시스템의 용량이 달라지는 문제점을 해결하기 위하여 레퍼런스 벡터 원소들의 크기 분산을 고려하여 최적 레퍼런스 벡터를 설정함에 따라 전체 시스템의 용량을 향상시키기 위한 레퍼런스 벡터 설정 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0006] 다중 셀 네트워크 환경에서 인접 셀로 인한 간섭 신호를 정렬하기 위해 사용되는 레퍼런스 벡터(Reference Vector)를 설정하는 레퍼런스 벡터 설정 방법에 있어서, 레퍼런스 벡터 설정 방법은 수신단에 수신된 채널 정보에서 복소 벡터(complex vector)를 생성하여 복소 벡터에서 벡터 원소의 크기 분산이 작은 벡터 중 하나의 벡터를 레퍼런스 벡터로 선택하는 벡터 선택 단계를 포함한다.

[0007] 일측에 따르면, 벡터 선택 단계는 복소 벡터 중 벡터 원소의 크기 분산이 일정 범위 이하인 벡터를 후보 레퍼런스 벡터로 선정하는 단계; 및 후보 레퍼런스 벡터 중에서 네트워크 내의 채널에 대한 합용량(sum-rate)이 가장 큰 벡터를 레퍼런스 벡터로 선택하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 다른 측면에 따르면, 벡터 선택 단계는 정규화 된 복소 벡터를 복수 개 생성하는 단계; 복소 벡터에 대한 벡터 원소의 크기를 계산하는 단계; 및 각각의 복소 벡터에 대하여 벡터 원소의 크기 분산을 계산하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0009] 또 다른 측면에 따르면, 레퍼런스 벡터는 인접 셀로 인한 간섭 신호를 전체 신호 공간 내에서 다차원을 갖는 부분공간으로 정렬하기 위해 사용되는 것이다.

발명의 효과

[0010] 레퍼런스 벡터와 채널 변화에 의한 시스템의 합용량을 분석하고, 레퍼런스 벡터의 크기 분산이 작아질수록 합용량이 높아지는 경향이 있음을 확인하고, 이러한 분석을 바탕으로 벡터 원소들의 크기 분산을 고려하여 레퍼런스 벡터를 선정함으로써 다양한 채널 환경에서 평균적으로 높은 합용량을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 다중 셀 환경에서의 부분공간 간섭 정렬 알고리즘을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 Well-conditioned 직교채널에서의 합용량을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 Ill-conditioned 직교채널에서의 합용량을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 Well-conditioned 직교채널에서 부분공간 간섭 정렬 기법 적용에 의한 합용량을 나타내고 있는 그래프이다.

도 5는 Ill-conditioned 직교채널에서 부분공간 간섭 정렬 기법 적용에 의한 합용량을 나타내고 있는 그래프이다.

도 6은 Well-conditioned 직교채널에서 부분공간 간섭 정렬 기법 적용에 의한 합용량의 변화를 나타내고 있는 그래프이다.

도 7은 Ill-conditioned 직교채널에서 부분공간 간섭 정렬 기법 적용에 의한 합용량의 변화를 나타내고 있는 그래프이다.

도 8은 레퍼런스 벡터 원소들의 크기 분산에 의한 합용량의 변화를 나타내고 있는 그래프이다.

도 9는 분산과 SNR 변화에 의한 합 용량 변화를 도시한 것이다.

도 10은 본 발명의 일실시예에 있어서, 부분공간 간섭 정렬에서 셀 용량 최대화를 위한 최적 레퍼런스 벡터 설정 알고리즘의 절차를 도시한 도면이다.

도 11은 본 발명의 일실시예에 있어서, 레퍼런스 벡터 설정 방법의 하향링크를 위한 플로우 차트이다.

도 12는 본 발명의 일실시예에 있어서, 레퍼런스 벡터 설정 방법의 상향링크를 위한 플로우 차트이다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 있어서, 제안된 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우의 합용량을 나타내고 있는 그래프이다.

도 14와 도 15는 랜덤하게 생성한 한 채널 샘플에서의 합 용량을 나타내고 있는 그래프이다.

도 16은 앙상블(ensemble) 채널에서의 평균적인 합용량을 나타내고 있는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0013] 먼저, 도 1을 참조하여 다중 셀 환경에서의 부분공간 간섭 정렬 알고리즘을 설명한다.

[0014] 부분공간 간섭 정렬 알고리즘은 기존의 간섭 정렬 기법의 한계와 문제점을 보완한 기법으로, 전체 신호 공간 내에 다차원의 부분공간을 형성하여 인접 셀로부터의 간섭을 그 부분공간에 정렬하는 방법이다. 각 사용자는 네트워크 내의 모든 채널 정보를 필요로 하지 않고 오직 각 사용자가 인접 셀의 기지국에 미치는 채널 정보만을 알고 있으면 적용할 수 있다.

[0015] 부분공간 간섭 정렬 알고리즘은 원하는 신호 공간의 차원 K와 전체 신호 공간의 차원인 $\left(\sqrt[G-1]{K}+1\right)^{G-1}$ 의 비를 자유도(Interference-free)라 정의하고 수학식 1로 나타낸다.

수학식 1

$$\frac{K}{\left(\sqrt[G-1]{K}+1\right)^{G-1}} \rightarrow 1 \quad \text{as } K \rightarrow \infty$$

[0016]

[0017] 여기서, G는 셀의 개수, K는 각 셀 내 사용자 수이다. 수학식 1을 통해 셀과 사용자 수가 증가하여도 원하는

신호공간을 위한 간섭이 없는 자유도 1을 제공함을 알 수 있다.

[0018] 도 1은 3개의 셀에 K명의 사용자가 존재하는 상향링크 시스템을 고려한 것이다. 3-셀 환경의 경우, 전체 신호 공간은 $(\sqrt{K}+1)^2$ 이 되고, 인접 셀들로부터의 간섭 신호를 $\sqrt{K}+1$ 의 차원으로 정렬한다. 셀 α의 사용자는 셀 β에 대해서 부분공간 1에 간섭이 정렬됨과 동시에 셀 γ에 대해서 부분공간 2에 간섭이 정렬된다. 다른 셀의 사용자들 역시 마찬가지로 두 셀에 대하여 각각의 부분공간에 동시에 간섭이 정렬하게 된다.

[0019] 상기한 3개의 셀이 존재하는 상향링크 시스템에서 셀 α의 수신단 B_α에서의 수신 신호는 수학식 2로 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\mathbf{y}^{B\alpha} = \sum_{k=1}^{K} \mathbf{H}_{\alpha k}^{B\alpha} \mathbf{v}_{\alpha k} x_{\alpha k} + \sum_{k=1}^{K} \mathbf{H}_{\beta k}^{B\alpha} \mathbf{v}_{\beta k} x_{\beta k} + \sum_{k=1}^{K} \mathbf{H}_{\gamma k}^{B\alpha} \mathbf{v}_{\gamma k} x_{\gamma k} + \mathbf{w}^{B\alpha}$$

[0020]

[0021] 여기서, K는 각 셀 내 사용자의 수이며, $\mathbf{H}_{ik}^{Bj} \in \mathbb{C}^{n\times n}$ 는 셀 i에 속한 사용자 k로부터 수신단 B_j로의 채널이다. 또한, $\mathbf{v}_{ik} \in \mathbb{C}^{n\times 1}$ 은 셀 i의 사용자 k의 송신벡터이고, $\mathbf{w}^{Bj} \in \mathbb{C}^{n\times 1}$ 는 수신단 Bj에서의 복소 가우시안 잡음 벡터이다. 이때, $n=(\sqrt{K}+1)$ 을 나타낸다.

[0022] 수학식 2와 같은 수신 신호 식에서 채널 $\mathbf{H}_{ik}^{Bj}$ 를 수학식 3과 같이 분리한다.

수학식 3

$$\mathbf{H}_{ik}^{Bj} = \mathbf{H}_{ik}^{Bj,2} \otimes \mathbf{H}_{ik}^{Bj,1}$$

[0023]

[0024] 여기서, ⊗ 는 크로네커 곱을 의미하며, 수학식 4와 같이 정의될 수 있다.

수학식 4

$$A \otimes B = \begin{pmatrix} a_{11}B & \cdots & a_{1n}B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}B & \cdots & a_{mn}B \end{pmatrix}$$

[0025]

[0026] 행렬 A는 m×n행렬로써, a_{ij}는 행렬 A의 원소를 나타낸다. 또한, 크로네커 곱은 수학식 5와 같은 혼합 법칙을 갖고 있다.

수학식 5

$$(A \otimes B)(C \otimes D) = (AC) \otimes (BD)$$

[0027]

[0028] 수학식 4와 수학식 5의 크로네커 곱의 법칙을 이용하여, 수학식 3과 같이 채널을 분리하여 수학식 2의 수신 신호를 정리하면, 수학식 6과 같이 나타낼 수 있으며, 나머지 송신 벡터들도 이와 같은 방법으로 설정하게 되면 각 송신 벡터들은 수학식 7과 같이 설정된다.

수학식 6

$$\begin{aligned}\mathbf{y}^{B\alpha} &= \sum_{k=1}^{K}\left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{B\alpha,2}\mathbf{v}_{\alpha k}^{2}\right)\otimes\left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{B\alpha,1}\mathbf{v}_{\alpha k}^{1}\right)x_{\alpha k} \\ &+ \sum_{k=1}^{K}\left(\mathbf{H}_{\beta k}^{B\beta,2}\mathbf{v}_{\beta k}^{2}\right)\otimes\left(\mathbf{H}_{\beta k}^{B\beta,1}\mathbf{v}_{\beta k}^{1}\right)x_{\beta k} \\ &+ \sum_{k=1}^{K}\left(\mathbf{H}_{\gamma k}^{B\gamma,2}\mathbf{v}_{\gamma k}^{2}\right)\otimes\left(\mathbf{H}_{\gamma k}^{B\gamma,1}\mathbf{v}_{\gamma k}^{1}\right)x_{\gamma k} + \mathbf{w}^{B\alpha}\end{aligned}$$

[0029]

수학식 7

$$\begin{aligned}\mathbf{v}_{\alpha k}^{1} &= \left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{B\beta,1}\right)^{-1}\mathbf{v}_{r}, \quad \mathbf{v}_{\alpha k}^{2} = \left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{B\gamma,2}\right)^{-1}\mathbf{v}_{r} \\ \mathbf{v}_{\beta k}^{1} &= \left(\mathbf{H}_{\beta k}^{B\gamma,1}\right)^{-1}\mathbf{v}_{r}, \quad \mathbf{v}_{\beta k}^{2} = \left(\mathbf{H}_{\beta k}^{B\alpha,2}\right)^{-1}\mathbf{v}_{r} \\ \mathbf{v}_{\gamma k}^{1} &= \left(\mathbf{H}_{\gamma k}^{B\alpha,1}\right)^{-1}\mathbf{v}_{r}, \quad \mathbf{v}_{\gamma k}^{2} = \left(\mathbf{H}_{\gamma k}^{B\beta,2}\right)^{-1}\mathbf{v}_{r}\end{aligned}$$

[0030]

[0031] 여기서, $\mathbf{v}_r \in \pounds^{\sqrt{n}}$ 은 임의의 레퍼런스 벡터를 나타낸다. 수학식 7의 송신 벡터들은 수학식 6에 대입하여 정리하면 수학식 8과 같이 정리할 수 있다.

수학식 8

$$\begin{aligned}\mathbf{y}^{B\alpha} &= \sum_{k=1}^{K}\left[\left\{\left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{B\alpha,2}\right)\left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{B\gamma,2}\right)^{-1}\mathbf{v}_{r}\right\}\otimes\left\{\left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{B\alpha,1}\right)\left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{B\beta,1}\right)^{-1}\mathbf{v}_{r}\right\}\right]x_{\alpha k} \\ &+ \sum_{k=1}^{K}\left[\mathbf{v}_{r}\otimes\left\{\left(\mathbf{H}_{\beta k}^{B\alpha,1}\right)\left(\mathbf{H}_{\beta k}^{B\gamma,1}\right)^{-1}\mathbf{v}_{r}\right\}\right]x_{\beta k} \\ &+ \sum_{k=1}^{K}\left[\left\{\left(\mathbf{H}_{\gamma k}^{B\alpha,2}\right)\left(\mathbf{H}_{\gamma k}^{B\beta,2}\right)^{-1}\mathbf{v}_{r}\right\}\otimes\mathbf{v}_{r}\right]x_{\gamma k} + \mathbf{w}^{B\alpha}\end{aligned}$$

[0032]

[0033] 수학식 8에서 첫 번째 항은 원하는 신호이며, 두 번째 및 세 번째 항은 인접 셀로부터의 간섭 신호이다. 즉, 수신단 Bα에서 유효한 채널 행렬들은 수학식 8과 같이 나타낼 수 있으며, 수신단에서 레퍼런스 벡터 v_r과 직교하는 벡터를 이용함으로써 간섭을 제거할 수 있다.

[0034] 이어, 레퍼런스 벡터와 채널에 의한 합용량 분석 내용을 설명한다.

[0035] 사용자 간 임의의 동일한 레퍼런스 벡터를 사용하는 기존 부분공간 간섭 정렬 기법의 경우 사용되는 레퍼런스 벡터에 의해 합용량이 크게 변화하는 문제점을 갖고 있다. 따라서, 다양한 채널 환경에서 부분공간 간섭 정렬 기법을 적용하여 레퍼런스 벡터 변화에 의한 합용량 변화의 문제점을 확인하고, 사용하는 레퍼런스 벡터 원소들의 크기의 분산에 의한 합용량 변화를 분석한다.

[0036] 채널 및 레퍼런스 벡터 변화에 의한 합용량 분석

[0037] 일반적으로, 채널의 용량은 샤논-하틀리(Shannon-Hartley) 이론에 따라 계산할 수 있으며, 이를 이용하여 부분공간 간섭 정렬 알고리즘을 적용하였을 경우 임의의 셀 α에서의 합용량은 수학식 9와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 9

[0038]
$$C_\alpha = \sum_{k\in\{1,\ldots,K\}} \log_2\left(1+\frac{P_{U\alpha k}^{B\alpha}\left\|\mathbf{u}^{\mathrm{H}}\mathbf{H}_{U\alpha k}^{B\alpha}\mathbf{v}_{\alpha k}\right\|^2}{\sum_{i\neq j,k,j=1}^{K}\left\|\mathbf{u}^{\mathrm{H}}\mathbf{H}_{Ujk}^{Bi}\mathbf{v}_{\alpha k}\right\|^2+N_0}\right)$$

[0039] 이때, P는 송신 전력을 나타내며, 본 실시예에서는 1로 가정한다. $\mathbf{H}_{Uik}^{Bi}$는 셀 i의 k번째 사용자와 기지국 Bi 간 채널을 나타내며, $v_{\alpha k}$는 셀 α의 사용자 k의 송신벡터를 나타낸다. 간섭 정렬 기법을 적용할 경우 간섭은 제거된다고 볼 수 있으므로, 수학식 9에서 시스템의 합용량은 레퍼런스 벡터와 채널값에 의존적임을 알 수 있다.

[0040] 먼저 직교 채널에서 레퍼런스 변화에 의한 합용량의 변화를 살펴본다. 직교 채널 행렬은 대각 행렬을 이용하거나 Gram-Schmidt 방법을 이용하여 생성할 수 있다. 또한, 조건수(condition number)에 따라 행렬은 well-condition과 ill-condition으로 나누어 볼 수 있으며, 조건수가 1에 근접한 경우 well-condition으로, 조건수가 상대적으로 큰 경우 ill-condition으로 정의한다.

[0041] 도 2는 well-condition의 직교 채널에서 부분 공간 간섭 정렬기법을 적용하였을 경우 시스템의 합용량을 나타내고 있는 결과이며, 도 3은 ill-condition 채널에서 부분 공간 간섭 정렬기법을 적용하였을 경우 합용량을 나타내고 있는 결과이다. 모의실험 결과들은 3개의 셀에 3명의 사용자가 있는 상향링크 시스템에서 사전에 채널 정보를 알고 있음을 가정한다. 이후의 모의실험들도 같은 상황을 가정한다.

[0042] 도 2와 도 3의 Fixed R.V.1과 Fixed R.V.2는 각각 같은 레퍼런스 벡터이며, Random R.V.의 경우 랜덤한 레퍼런스 벡터를 사용하였을 경우로 해당 채널에서의 평균적인 합용량을 나타낸다.

[0043] 결과 그래프를 보면, 부분공간 간섭 정렬기법을 적용함에 있어 같은 채널 환경에서 레퍼런스 벡터에 따라 시스템의 합용량이 다르게 나타남을 확인할 수 있으며, 더불어 같은 레퍼런스 벡터를 사용하더라도 채널이 변화함에 따라 전체 시스템의 합용량이 달라짐을 확인할 수 있다. 또한, 채널 행렬에서 유사한 고유값을 갖고 있어 원하는 신호의 세기가 더 높게 나타나는 well-condition에서의 합용량이 ill-condition의 경우보다 높게 나타남을 확인할 수 있다.

[0044] 도 4와 도 5는 간섭 채널에서 사용되는 레퍼런스 벡터에 의한 전체 합용량 변화를 나타내고 있는 결과 그래프이다. 결과를 보면, 부분공간 간섭 정렬 알고리즘을 적용하는 경우의 합용량이 적용하지 않는 경우보다 상당히 높은 합용량을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이는 간섭이 존재하는 채널에서 간섭 정렬 알고리즘을 적용할

경우 간섭 정렬 알고리즘에 의해 간섭이 제거되어 간섭의 영향을 받지 않기 때문이며, 적용하지 않은 경우는 간섭의 영향을 크게 받아 상당히 낮은 합용량을 나타내게 된다. 또한, 직교 채널의 결과와 마찬가지로 채널 및 사용되는 레퍼런스 벡터에 의해 전체 합용량이 달라짐을 확인할 수 있다.

[0045] 다음은, 채널의 상관계수(correlation coefficient)에 의한 합용량 변화에 대한 분석이다.

수학식 10

$$\rho_{X,Y}=\frac{\mathrm{cov}(X,Y)}{\sigma_X\sigma_Y}=\frac{E[(X-\mu_X)(Y-\mu_Y)]}{\sigma_X\sigma_Y}=\frac{E[XY]-\mu_X\mu_Y}{\sigma_X\sigma_Y}$$

where μ : mean

σ : standard deviation

[0046]

[0047] 이때, cov는 임의의 두 변수 X와 Y의 공분산을 나타낸다. 두 변수가 완벽히 uncorrelation된 상태라면 상관계수는 0이며, 완벽히 correlation된 상태라면 상관계수는 1이 된다.

[0048] 상관계수가 0인 채널은 직교 채널로 간주할 수 있으며, 또한 상관계수가 1인 채널은 간섭 채널로 볼 수 있다. 도 6과 7을 참조하면, 앞의 결과들과 마찬가지로, 사용하는 레퍼런스 벡터와 채널에 따라 합용량이 변화됨을 확인할 수 있다. 또한, 상관계수가 1인 채널은 간섭 채널로 간섭 정렬 기법을 적용하지 않는 경우, 간섭의 영향으로 인해 상당히 낮은 합용량을 나타내고 있음을 알 수 있다.

[0049] 레퍼런스 벡터 원소들의 크기 분산에 의한 합용량 변화

[0050] 이하에서는 사용되는 레퍼런스 벡터 원소들의 크기의 분산에 의해 합용량이 변화함을 모의실험 결과를 통해 확인할 수 있다.

[0051] 도 8은 레퍼런스 벡터 원소들의 크기 분산에 의한 합용량을 나타내는 결과로서, 이 결과로부터 분산의 크기가 작아질수록 합용량이 높게 나타남을 확인할 수 있다. 분산의 크기와 합용량과의 관계를 다음의 결과 도 9로부터 더욱 명확하게 알 수 있다. 도 9의 결과를 보면, 다소 변이(fluctuation)는 있지만 대체적으로 분산이 작아질수록 합용량이 높아지는 경향이 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 레퍼런스 벡터 원소의 크기의 분산이 작아질수록 합용량이 향상되는 것을 바탕으로 한 레퍼런스 벡터 설정 알고리즘을 제안한다.

[0052] 상기한 레퍼런스 벡터와 채널에 의한 합용량 분석 결과들을 통해, 사용되는 레퍼런스 벡터와 채널 환경에 따라 시스템 전체의 합용량이 변화함을 알 수 있으며, 사용되는 레퍼런스 벡터 원소들의 크기 분산이 작아짐에 의해 전체 합용량이 향상되는 경향이 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예에서는 다중 셀 환경에서 부분공간 간섭정렬 기법 적용 시 셀 용량을 향상시킬 수 있는 벡터 원소들의 크기 분산을 고려한 새로운 레퍼런스 벡터 설정 알고리즘을 제안한다.

[0053] 부분공간 간섭 정렬 기법을 적용하는 경우, 셀 α에서의 합용량을 나타내는 수학식 9를 수학식 11로 다시 정리할 수 있다.

수학식 11

$$C_\alpha=\sum_{k\in\{1\cdots K,\cdots K\}}\log_2\left(1+\frac{\left\|\left\{\left(\mathbf{v}_r^{\perp}\right)^H\left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{B\alpha,2}\right)\left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{Bc,2}\right)^{-1}\mathbf{v}_r\right\}\otimes\left\{\left(\mathbf{v}_r^{\perp}\right)^H\left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{B\alpha,1}\right)\left(\mathbf{H}_{\alpha k}^{Bc,1}\right)^{-1}\mathbf{v}_r\right\}\right\|^2}{\sum_{k\in\{1\cdots K,\cdots K\}}\left(\left\|\left(\mathbf{v}_r^{\perp}\cdot\mathbf{v}_r\right)\otimes\left\{\mathbf{v}_r^{\perp}\cdot\left(\mathbf{H}_{\beta k}^{\alpha,1}\right)\left(\mathbf{H}_{\beta k}^{c,1}\right)^{-1}\mathbf{v}_r\right\}\right\|^2+\left\|\left\{\mathbf{v}_r^{\perp}\cdot\left(\mathbf{H}_{\gamma k}^{a,2}\right)\left(\mathbf{H}_{\gamma k}^{b,2}\right)^{-1}\mathbf{v}_r\right\}\otimes\left(\mathbf{v}_r^{\perp}\cdot\mathbf{v}_r\right)\right\|^2\right)+Noise}\right)$$

[0054]

[0055] 이때, ' 는 수신단에 간섭을 제거하기 위해 사용하는 벡터이며, v_{ik}는 셀 i의 k번째 사용자의 송신 벡터를 나타낸

다. $\mathbf{H}_{Uik}^{By}$는 셀i의 k번째 사용자와 기지국 By간 채널을 나타낸다. $\mathbf{H}_{Uik}^{By,j}$는 채널 $\mathbf{H}_{Uik}^{By}$를 크로네커 곱 형태로 분리한 j번째 행렬을 나타내며, v_r은 레퍼런스 벡터, $\mathbf{v}_r^{\perp}$은 레퍼런스 벡터에 직교하는 벡터를 나타낸다.

[0056] 수학식 11의 셀 α에서의 합용량에 관한 식에서, 분모의 간섭항은 간섭 정렬 알고리즘을 적용하면 제거할 수 있다. 따라서, 간섭 정렬 알고리즘 적용 시 합용량을 향상시키기 위해서는 신호항의 $\left\|\mathbf{u}^{H}\mathbf{H}_{U\alpha k}^{Ba}\mathbf{v}_{\alpha k}\right\|^2$를 최대화 시키는 방법을 생각해 볼 수 있다. 따라서, 수학식 11에 따라 셀 α에서의 합용량은 레퍼런스 벡터와 채널의 두 가지 변수에 의해 변하게 됨을 알 수 있고, 채널은 조절할 수 있는 사항이 아니므로, 결국 레퍼런스 벡터의 설정 방법에 의해 합용량을 향상 시킬 수 있음을 알 수 있다.

[0057] 수학식 11의 신호항을 행렬 형태로 표현하면 수학식 12와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 12

[0058]

$$\left\| \left\{ \underbrace{\begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \end{bmatrix}}_{\mathbf{v}_r^{\perp}} \underbrace{\begin{bmatrix} a_{11}^{Ba,2} & a_{12}^{Ba,2} & a_{13}^{Ba,2} \\ a_{21}^{Ba,2} & a_{22}^{Ba,2} & a_{23}^{Ba,2} \\ a_{31}^{Ba,2} & a_{32}^{Ba,2} & a_{33}^{Ba,2} \end{bmatrix}}_{\mathbf{H}_{\alpha k}^{Ba,2}} \underbrace{\begin{bmatrix} c_{11}^{Bc,2} & c_{12}^{Bc,2} & c_{13}^{Bc,2} \\ c_{21}^{Bc,2} & c_{22}^{Bc,2} & c_{23}^{Bc,2} \\ c_{31}^{Bc,2} & c_{23}^{Bc,2} & c_{33}^{Bc,2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}}_{\mathbf{v}_{\alpha k}^{2}} \right\}$$

[0059]

$$\otimes \left\{ \underbrace{\begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \end{bmatrix}}_{\mathbf{v}_r^{\perp}} \underbrace{\begin{bmatrix} a_{11}^{Ba,1} & a_{12}^{Ba,1} & a_{13}^{Ba,1} \\ a_{21}^{Ba,1} & a_{22}^{Ba,1} & a_{23}^{Ba,1} \\ a_{31}^{Ba,1} & a_{32}^{Ba,1} & a_{33}^{Ba,1} \end{bmatrix}}_{\mathbf{H}_{\alpha k}^{Ba,1}} \underbrace{\begin{bmatrix} b_{11}^{Bb,1} & b_{12}^{Bb,1} & b_{13}^{Bb,1} \\ b_{21}^{Bb,1} & b_{22}^{Bb,1} & b_{23}^{Bb,1} \\ b_{31}^{Bb,1} & b_{32}^{Bb,1} & b_{33}^{Bb,1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}}_{\mathbf{v}_{\alpha k}^{1}} \right\} \right\|$$

[0060] 이때, v_i는 레퍼런스 벡터의 i번째 원소를 나타내며, u_i는 레퍼런스 벡터에 직교하는 벡터의 i번째 원소를 나타낸다. 또한, $a_{ij}^{Br,k}$ 및 $c_{ij}^{Br,k}$는 각각 크로네커 곱 형태로 분리된 채널의 i번째 행의 j번째 열 원소를 나타낸다.

[0061] 수학식 12를 살펴보면, 각 행렬들의 곱의 놈(norm)을 크게 함으로써 신호항의 크기를 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

[0062] 일례로, 수학식 13과 같은 3×3 대각행렬의 경우를 살펴보면, 행렬 곱의 놈이 큰 경우는 각 원소들이 곱해질 때 큰 값을 갖는 원소들은 큰 값을 갖는 원소들끼리, 작은 값을 갖는 원소들은 작은 값 을 갖는 원소들끼리 곱해지는 경우가 놈이 가장 크게 나타남을 알 수 있다.

수학식 13

[0063]

$$\begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} \cdot v_1 \\ a_{22} \cdot v_2 \\ a_{33} \cdot v_3 \end{bmatrix}$$

[0064] 예를 들어, 수학식 14의 경우를 살펴보면 큰 값을 갖는 원소들끼리 곱해지는 경우인 첫 번째 경우가 가장 큰 놈을 갖게 됨을 확인할 수 있으며, 작은 값과 큰 값이 곱해지는 두 번째의 경우 가장 작은 놈을 갖게 됨을 볼 수 있다. 또한, 같은 값을 갖는 원소가 곱해지는 세 번째의 경우 상대적으로 중간 정도 크기의 놈을 갖게 됨을 확인할 수 있다.

수학식 14

$$\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 0.1 & 0\\ 0 & 0 & 0.01\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1\\ 0.1\\ 0.01\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1\\ 0.01\\ 0.0001\end{bmatrix} \Rightarrow norm=1.0001$$

$$\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 0.1 & 0\\ 0 & 0 & 0.01\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0.01\\ 0.1\\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.01\\ 0.01\\ 0.01\end{bmatrix} \Rightarrow norm=0.0173$$

$$\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 0.1 & 0\\ 0 & 0 & 0.01\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0.5802\\ 0.5802\\ 0.5802\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.5802\\ 0.05802\\ 0.005802\end{bmatrix} \Rightarrow norm=0.5831$$

[0065]

[0066] 상기한 예를 통해 알 수 있듯이, 신호항의 크기를 최대화시키기 위해서는 채널 행렬에서 채널값이 큰 원소에 큰 값을 갖는 레퍼런스 벡터의 원소가 곱해지도록 설정해야 한다. 그러나, 실제 시스템의 경우 채널의 상황이 계속 변하기 때문에 채널 행렬의 값을 고려하여 레퍼런스 벡터의 값을 최적화시키기는 사실상 불가능하다. 또한, 끊임없이 변화하는 채널 상황에서 벡터 원소들의 크기의 편차가 큰 벡터를 레퍼런스 벡터로 사용할 경우 수학식 14의 경우와 같이 상대적으로 결과값이 작아지는 경우가 많이 발생한다.

[0067] 따라서, 본 발명에서는 벡터 원소들의 크기의 분산이 작은 벡터를 레퍼런스 벡터로 사용하는 알고리즘을 제안한다. 레퍼런스 벡터 원소들의 크기가 비슷한 값을 갖는 경우 수학식 14의 경우에서 알 수 있듯이 평균적으로 높은 합용량을 보장 받을 수 있게 된다. 제안하고 있는 알고리즘의 절차는 도 10에 도시한 바와 같다.

[0068] 도 10에 따라, 먼저 정규화된 복소 벡터를 i개를 생성한 후, 생성된 i개의 벡터 원소들의 크기를 계산한다. 각각의 벡터들 마다 계산된 크기들의 분산을 계산한 후, 분산이 일정 범위(T_k) 이내로 작은 벡터들을 레퍼런스 벡터의 후보 벡터로 선정한다. 선정된 후보 벡터들은 각각의 원소들의 크기가 비슷하므로, 어느 채널 환경에서든 평균적으로 높은 합용량을 나타내게 된다. 그 후, 선정된 후보 벡터들 중 가장 높은 합용량을 나타내는 벡터를 레퍼런스 벡터로 선정하여 모든 사용자들이 동일하게 선정된 레퍼런스 벡터를 사용한다.

[0069] 상기한 절차를 통해 수많은 랜덤한 벡터들 중 어느 채널 환경에서든 높은 합용량을 나타내는 레퍼런스 벡터를 간단히 설정할 수 있게 된다.

[0070] 도 11과 도 12는 각각 제안된 알고리즘을 실제 이동통신 시스템의 하향링크와 상향링크에 적용할 경우의 플로우 차트(flow chart)이다. 도 11과 12에서 실선으로 표시된 부분은 기지국(BS)에서 수행하는 동작이며, 점선으로 표시된 부분은 단말기(UE)에서 수행되는 부분을 나타내고 있다. 레퍼런스 벡터 선정을 위한 과정들은 기지국에서 수행하게 된다.

[0071] 도 11에서 도시한 바와 같이, 하향링크의 경우, 각 사용자로부터 피드백 받은 채널 정보(CSI)를 바탕으로 낮은 분산을 갖는 레퍼런스 벡터를 위한 후보군들을 생성하고, 후보군들 중 가장 높은 합용량을 나타내는 벡터를 선정하여 선정된 벡터를 부분공간 간섭 정렬를 위한 레퍼런스 벡터로 사용한다.

[0072] 상향링크의 경우도, 도 12에 도시한 바와 같이 하향링크와 유사한 절차를 통해 레퍼런스 벡터를 선정할 수 있다. 다만, 상향링크의 경우 채널 정보에 대한 피드백 과정이 필요치 않으며, 기지국에서 선정된 레퍼런스 벡터를 각 사용자에게 전송하는 과정이 추가된다.

[0073] 3개의 셀에 3명의 사용자가 존재하는 셀룰러 시스템에서 본 발명의 레퍼런스 벡터 설정 알고리즘을 적용하는 경우 시뮬레이션을 통해 찾은 가장 높은 합용량을 나타내는 최적화된 레퍼런스 벡터는 표 1과 같다.

표 1

[0074]

Proposed Reference Vector
-0.50734 - 0.47464i
-0.41045 + 0.48503i
-0.33074 - 0.06487i
Variance = 0.03

[0075] 표 1에서 본 실시예에서 제안된 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우의 합용량 결과는 도 13과 같다. 도 13의 결과 그래프에서 알 수 있듯이 본 실시예에서 제안된 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우 임의의 동일한 레퍼런스 벡터를 사용하는 기존 알고리즘보다 평균적으로 약 50% 정도 높은 합용량을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 본 실시예에서 제안된 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우 다양한 채널 변화에 대하여 평균적으로 높은 합용량을 보장 받을 수 있게 된다.

[0076] 한편, 분산이 0인 레퍼런스 벡터와 비교한 결과 그래프를 도 14, 도 15, 도 16에 나타내었다. 도 14와 도 15는 랜덤하게 생성한 한 채널 샘플에서의 합용량을 나타내는 결과로써 두 결과 그래프를 비교하여 보면, 두 경우 모두 임의의 동일한 레퍼런스 벡터를 사용하는 기존의 알고리즘보다는 높은 합용량을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한, 도 14의 경우 본 실시예에서 제안된 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우의 합용량이 분산이 0인 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우의 합용량보다 높은 합용량을 나타내고 있지만, 도 15의 결과를 보면 분산이 0인 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우의 합용량이 더 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 도 14, 도 15, 도 16의 결과 그래프를 통해 채널 상황이 변할 때 마다 다른 결과를 나타냄을 알 수 있다.

[0077] 도 16는 앙상블(ensemble) 채널에서의 평균적인 합용량으로 본 실시예에서 제안된 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우 임의의 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우에 비하여 약 50% 정도, 분산이 0인 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우에 비해서는 약 30% 정도 높은 합용량을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 3개의 셀에 3명의 사용자가 존재하는 셀룰러 시스템에서 본 실시예에서 제안된 레퍼런스 벡터를 사용하는 경우, 다양한 채널 환경에서 평균적으로 높은 합용량을 보장 받을 수 있게 된다. 또한, 분산이 작을수록 합용량이 높아지는 경향이 있기는 하지만, 도 9의 결과에서 변이(fluctuation)가 나타나는 것처럼, 분산이 가장 작은 벡터가 언제나 가장 높은 합용량을 제공하지는 않음을 알 수 있다.

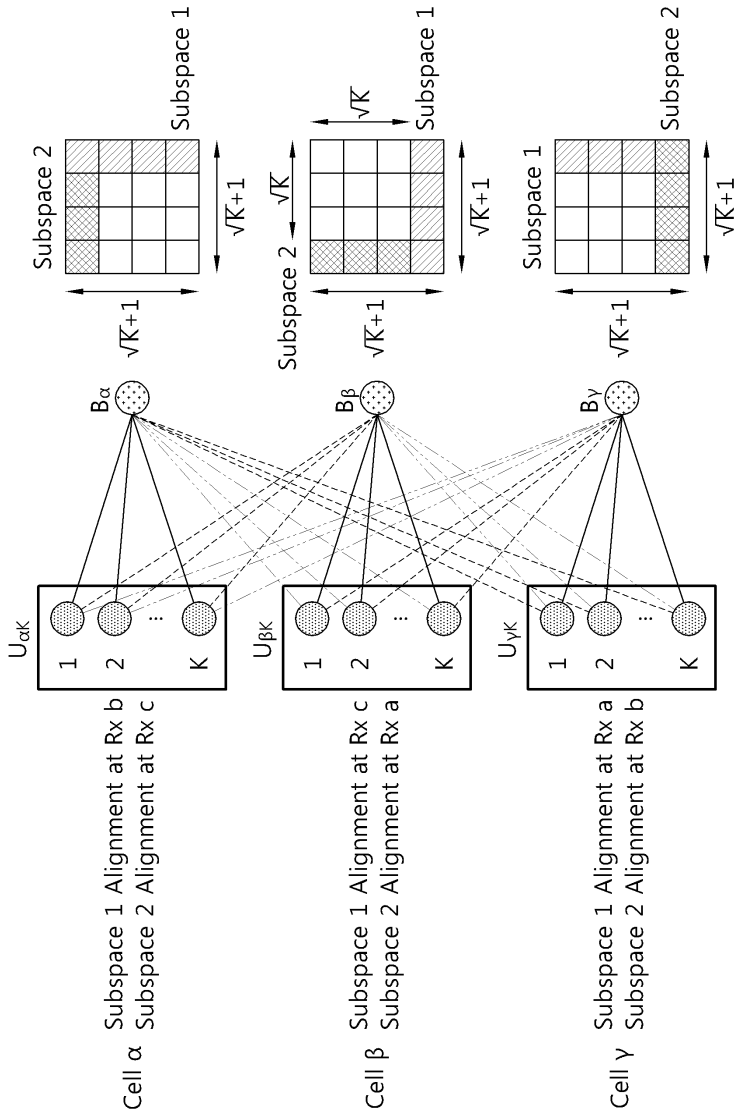
[0078] 본 발명에서는 다중 셀 환경에서 셀 간 간섭을 완화시키기 위한 방법으로 부분공간 간섭 정렬을 적용하는 경우, 높은 합용량을 제공하는 레퍼런스 벡터 설정 알고리즘을 제안한다. 본 발명의 일실시예는 벡터 원소들의 크기 분산을 고려하여 레퍼런스 벡터를 선정함으로써 다양한 채널 환경에서 평균적으로 높은 합용량을 제공할 수 있다. 다시 말해, 3개의 셀에 3명의 사용자가 존재하는 셀룰러 시스템에서 본 실시예에서 제안된 알고리즘에 의한 레퍼런스 벡터를 사용할 경우, 기존 알고리즘과 비교하여 평균적으로 약 50% 이상 향상된 합용량을 제공함을 확인할 수 있다.

[0079] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

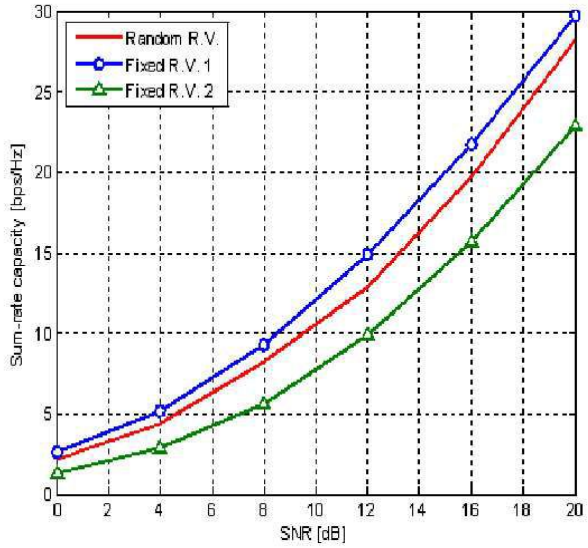
[0080] 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

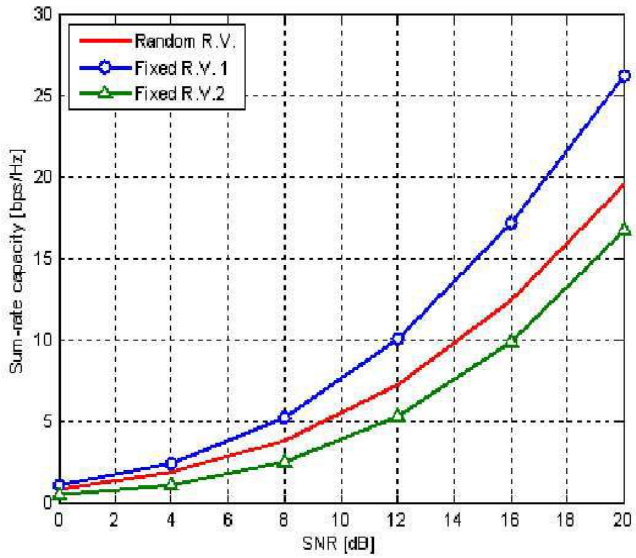
도면1


Subspace 1
Subspace 2
√K+1
√K
Bα
Bβ
Bγ
UαK
UβK
UγK
1
2
K
Cell α Subspace 1 Alignment at Rx b Subspace 2 Alignment at Rx c
Cell β Subspace 1 Alignment at Rx c Subspace 2 Alignment at Rx a
Cell γ Subspace 1 Alignment at Rx a Subspace 2 Alignment at Rx b

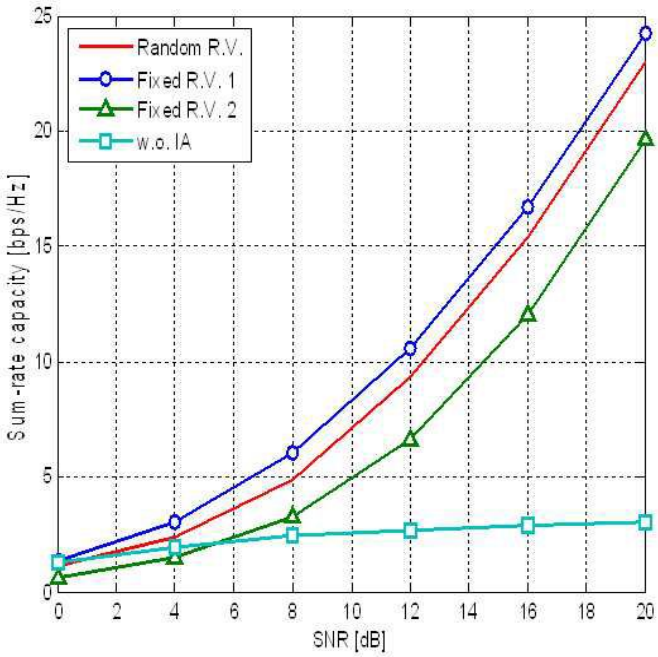
도면2


Random R.V.
Fixed R.V.1
Fixed R.V.2
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
5
10
15
20
25
30
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

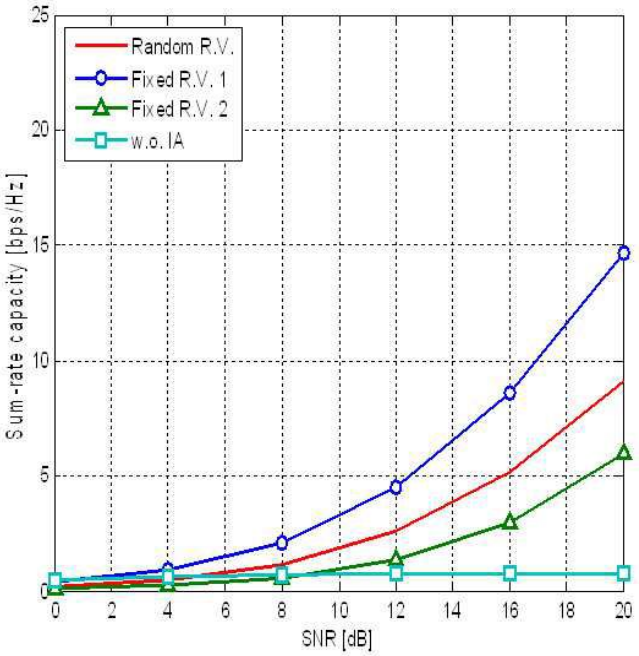
도면3


Random R.V.
Fixed R.V.1
Fixed R.V.2
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
5
10
15
20
25
30
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

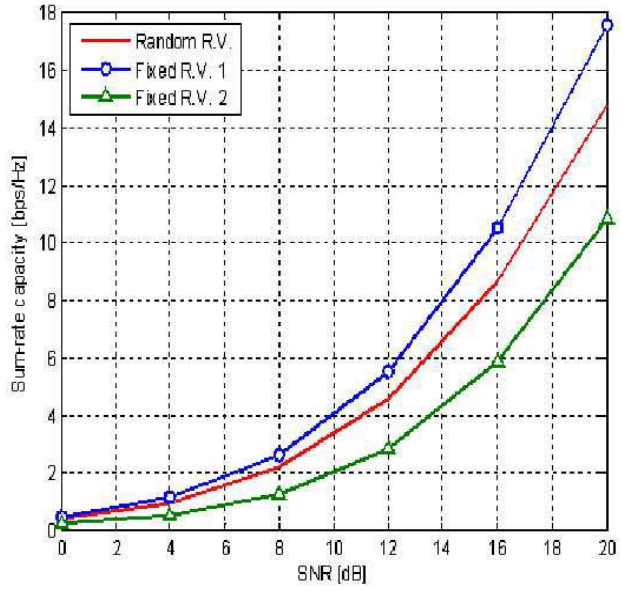
도면4


Random R.V.
Fixed R.V. 1
Fixed R.V. 2
w.o. IA
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
5
10
15
20
25
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

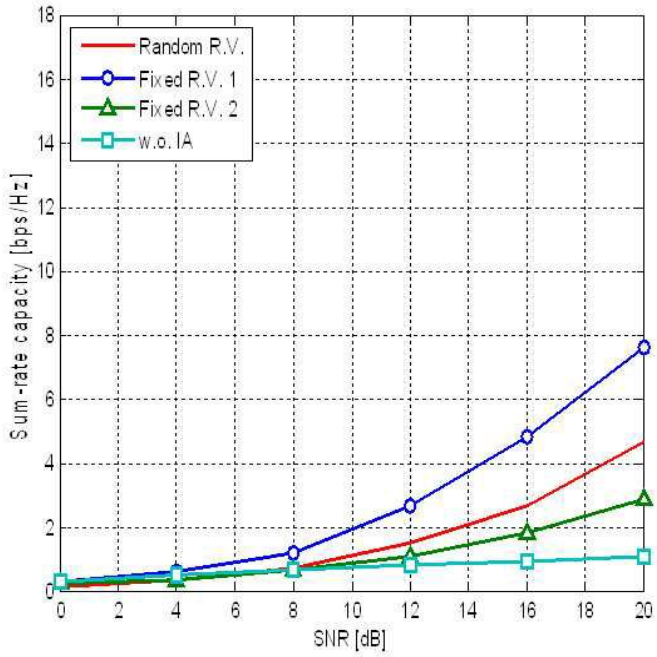
도면5


Random R.V.
Fixed R.V. 1
Fixed R.V. 2
w.o. IA
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
5
10
15
20
25
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

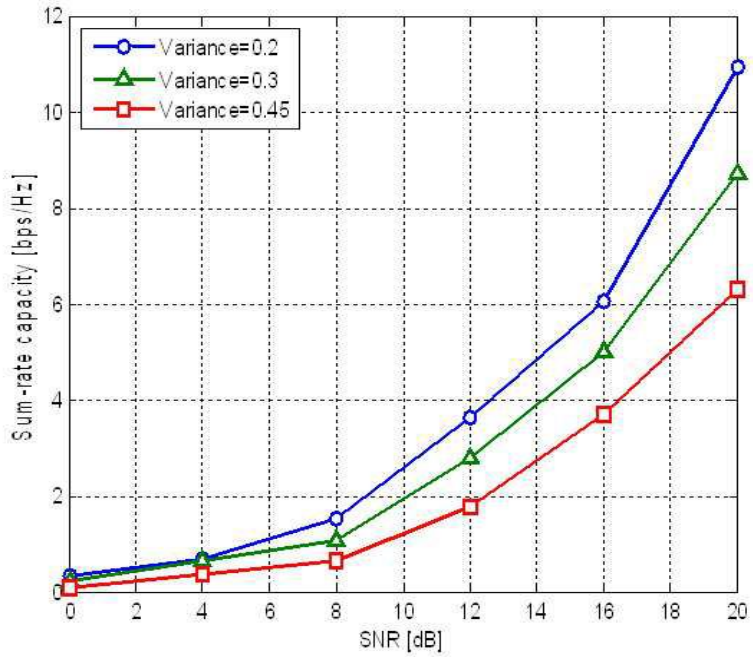
도면6


Random R.V.
Fixed R.V. 1
Fixed R.V. 2
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

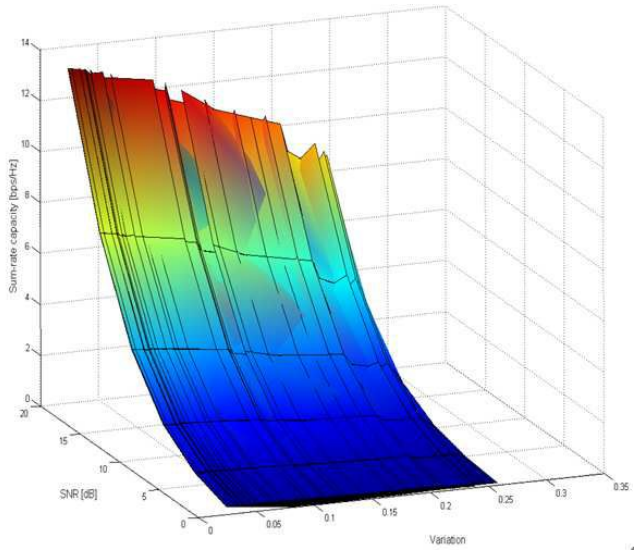
도면7


Random R.V.
Fixed R.V. 1
Fixed R.V. 2
w.o. IA
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

도면8


Variance=0.2
Variance=0.3
Variance=0.45
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

도면9


Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
Variation

도면10

1. i개의 Normalization된 Complex 벡터 생성

$$\mathbf{V}_1=\begin{bmatrix}a_1 & a_2 & \cdots & a_k\end{bmatrix}^T$$
$$\mathbf{V}_2=\begin{bmatrix}b_1 & b_2 & \cdots & b_k\end{bmatrix}^T$$
$$\vdots$$
$$\mathbf{V}_i=\begin{bmatrix}z_1 & z_2 & \cdots & z_k\end{bmatrix}^T$$
where $a_k, b_k, z_k = k-th$ element of each vector

2. 생성된 각 벡터 원소들의 크기 계산

$$\mathbf{V}_1=\begin{bmatrix}|a_1| & |a_2| & \cdots & |a_k|\end{bmatrix}^T$$
$$\mathbf{V}_2=\begin{bmatrix}|b_1| & |b_2| & \cdots & |b_k|\end{bmatrix}^T$$
$$\vdots$$
$$\mathbf{V}_i=\begin{bmatrix}|z_1| & |z_2| & \cdots & |z_k|\end{bmatrix}^T$$

3. 원소들의 크기의 분산이 작은 벡터들을 후보 레퍼런스 벡터로 선정

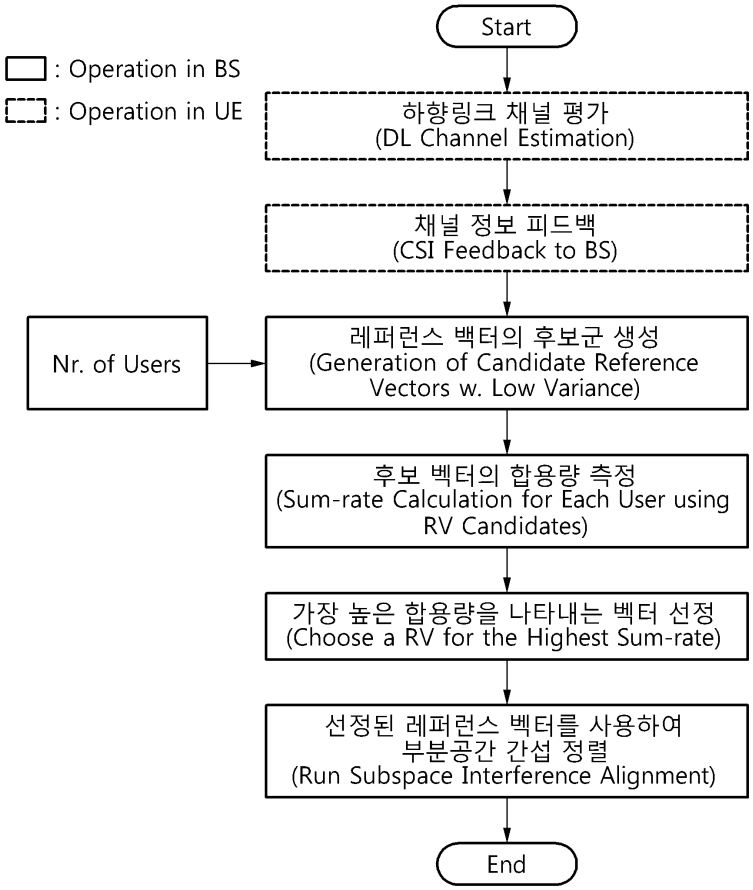
$$\mathrm{var}[\mathbf{V}_i]<T_k$$
where $\mathrm{var}[\mathbf{V}_i]$: Magnitude Variance of Each Vector Elements
T_k : Threshold

4. 후보 레퍼런스 벡터들 중 높은 합용량을 나타내는 레퍼런스 벡터 선정

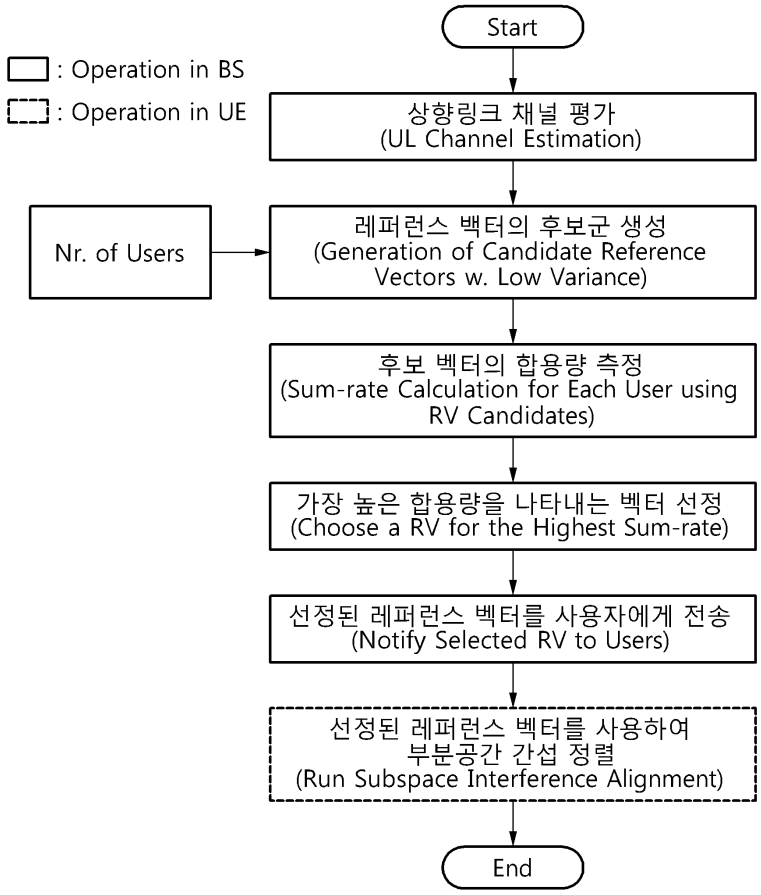
$$\max\left(\sum_{i=1}^{N}\left(\sum_{j=1}^{G}\sum_{k=1}^{K}\log_2\left(1+\frac{\left\|\mathbf{u}^H\mathbf{H}_{ijk}^{\beta_j}\mathbf{v}_i\right\|^2}{Interference+N_0}\right)\right)\right)$$
$$=\max\left(\sum_{i=1}^{N}C_i\right)$$
where C_i : Total sum-rate using reference vector $\mathbf{V}_i$

5. 모든 사용자는 선정된 레퍼런스 벡터 사용

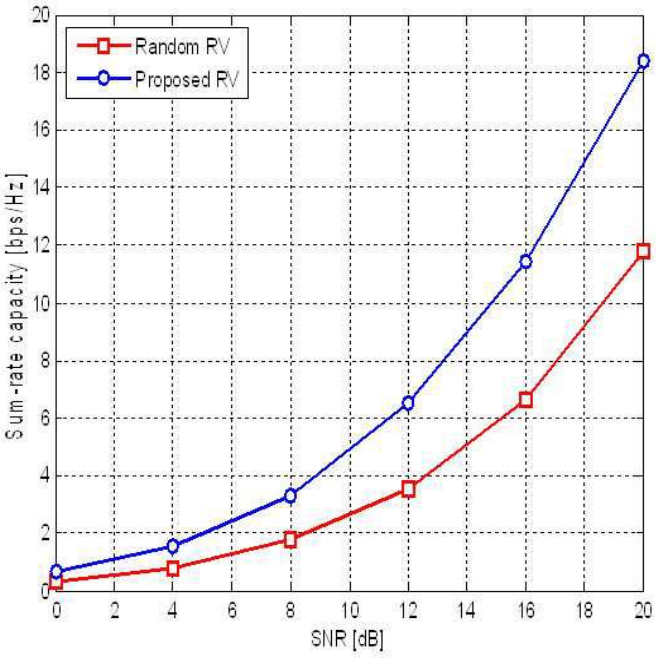
도면11


Start
: Operation in BS
: Operation in UE
하향링크 채널 평가
(DL Channel Estimation)
채널 정보 피드백
(CSI Feedback to BS)
Nr. of Users
레퍼런스 백터의 후보군 생성
(Generation of Candidate Reference Vectors w. Low Variance)
후보 벡터의 합용량 측정
(Sum-rate Calculation for Each User using RV Candidates)
가장 높은 합용량을 나타내는 벡터 선정
(Choose a RV for the Highest Sum-rate)
선정된 레퍼런스 벡터를 사용하여
부분공간 간섭 정렬
(Run Subspace Interference Alignment)
End

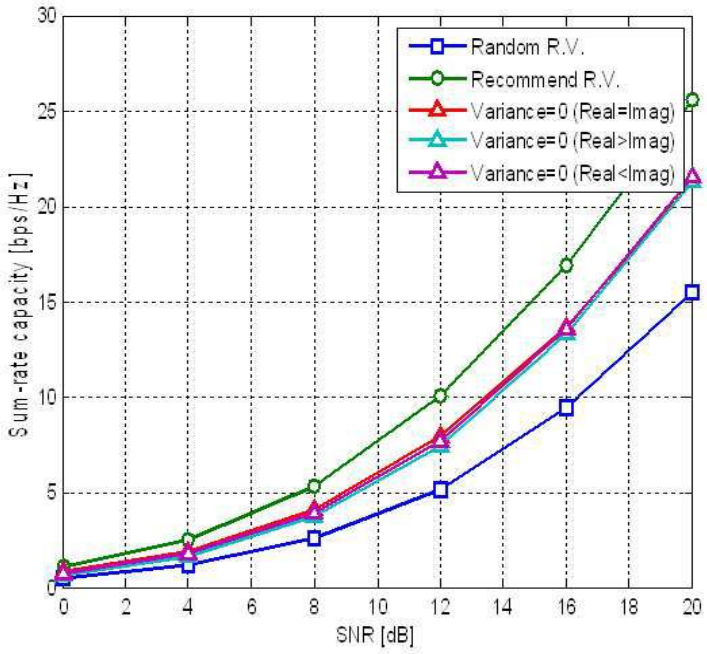
도면12


Start
: Operation in BS
: Operation in UE
상향링크 채널 평가
(UL Channel Estimation)
Nr. of Users
레퍼런스 백터의 후보군 생성
(Generation of Candidate Reference Vectors w. Low Variance)
후보 벡터의 합용량 측정
(Sum-rate Calculation for Each User using RV Candidates)
가장 높은 합용량을 나타내는 벡터 선정
(Choose a RV for the Highest Sum-rate)
선정된 레퍼런스 벡터를 사용자에게 전송
(Notify Selected RV to Users)
선정된 레퍼런스 벡터를 사용하여
부분공간 간섭 정렬
(Run Subspace Interference Alignment)
End

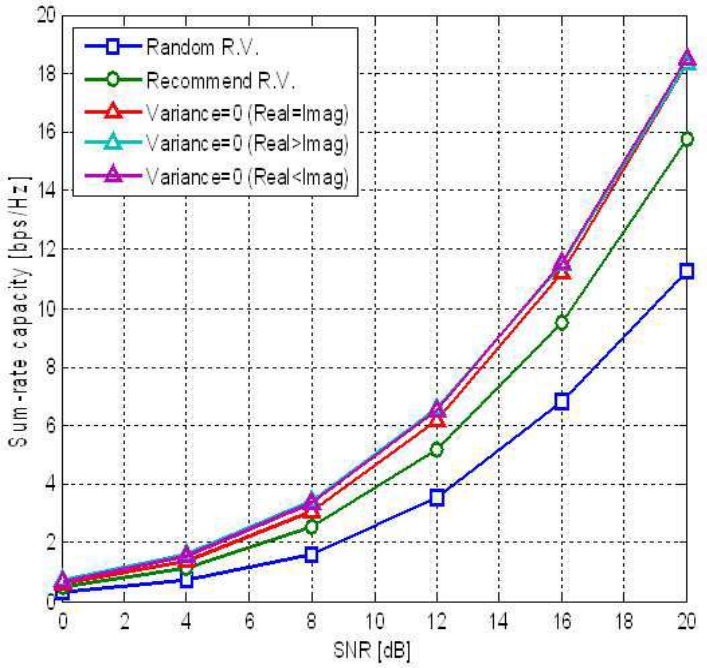
도면13


Random RV
Proposed RV
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

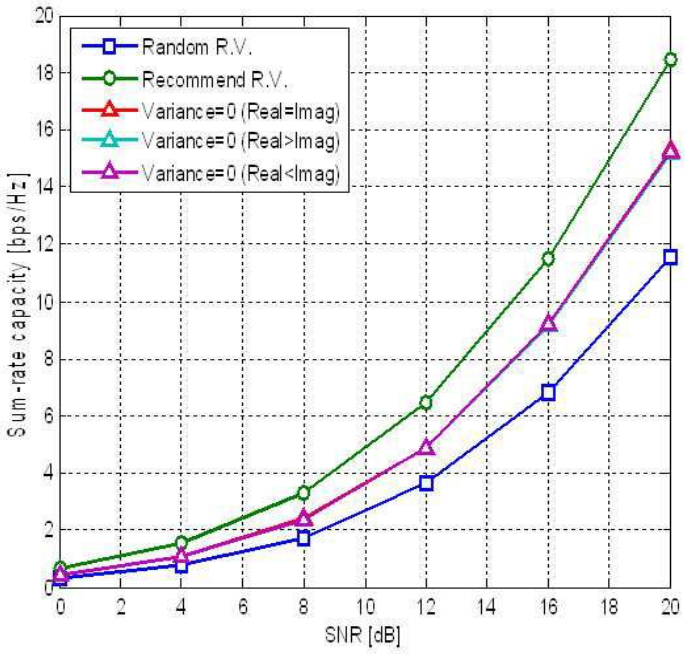
도면14


Random R.V.
Recommend R.V.
Variance=0 (Real=Imag)
Variance=0 (Real>Imag)
Variance=0 (Real<Imag)
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
5
10
15
20
25
30
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

도면15


Random R.V.
Recommend R.V.
Variance=0 (Real=Imag)
Variance=0 (Real>Imag)
Variance=0 (Real<Imag)
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

도면16


Random R.V.
Recommend R.V.
Variance=0 (Real=Imag)
Variance=0 (Real>Imag)
Variance=0 (Real<Imag)
Sum-rate capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20