



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년03월16일

(11) 등록번호 10-1502724

(24) 등록일자 2015년03월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04L 27/26 (2006.01) H04L 1/06 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0033668

(22) 출원일자 2014년03월21일

심사청구일자 2014년03월21일

(56) 선행기술조사문헌

JP2013236127 A

KR1020110039576 A

EP2602943 A1

(73) 특허권자

인하대학교 산학협력단

인천광역시 남구 인화로 100, 인하대학교 (용현동)

(72) 발명자

김덕경

서울 강남구 선릉로 222, 109동 302호 (대치동, 대치아이파크)

권도일

전북 전주시 완산구 삼천천변3길 20, 106동 506호 (삼천동1가, 호반리젠시빌)

(74) 대리인

양성보

전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 남인호

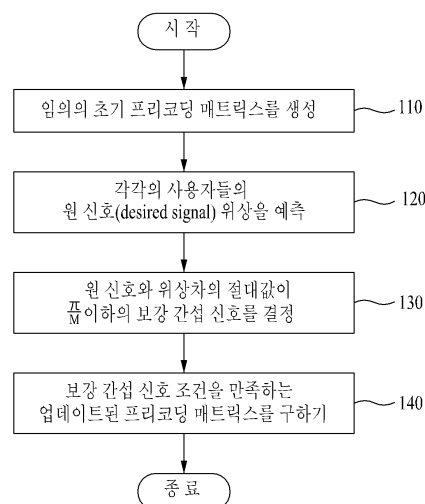
(54) 발명의 명칭 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법 및 시스템

(57) 요약

다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법 및 시스템이 개시된다.

다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법은 기지국에서 임의의 초기 프리코딩 매트릭스를 생성하는 단계; 상기 기지국과 사용자들 사이의 채널을 이용하여, 각각의 상기 사용자들의 원 신호(desired signal)를 예측하는 단계; 상기 원 신호와 위상차의 절대값이 $\frac{\pi}{M}$ 이하인 보강 간섭 신호를 결정하는 단계; 및 상기 보강 간섭 신호를 만족하는 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 구하는 단계를 포함하며, 여기에서, M은 2진 디지털 신호를 m개의 비트로 묶어 $M=2^m$ 개의 위상으로 분할시킨 위상 변조 방식으로, M진 PSK인 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도5



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 48179-1

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 산업융합원천기술개발사업

연구과제명 TDD망 진화에 대응한 IMT-Advanced TDD 무선전송 방식을 지원하는 소형셀 기지국 시스템 개발

기 여 율 1/1

주관기관 콘텔라(주)

연구기간 2013.05.01 ~ 2014.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

기지국에서 임의의 초기 프리코딩 매트릭스를 생성하는 단계;

상기 기지국과 사용자들 사이의 채널을 이용하여, 각각의 상기 사용자들의 원 신호(desired signal)를 예측하는 단계;

상기 원 신호와 위상차의 절대값이 $\frac{\pi}{M}$ 이하인 보강 간섭 신호를 결정하는 단계; 및

상기 보강 간섭 신호를 만족하는 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 구하는 단계

를 포함하며,

여기에서, M 은 2진 디지털 신호를 m 개의 비트로 묶어 $M=2^m$ 개의 위상으로 분할시킨 위상 변조 방식으로, M 진 PSK 인 것

을 특징으로 하는 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 보강 간섭 신호를 결정하는 단계는

각각의 상기 사용자들의 상기 원 신호의 위상을 계산하여 상기 보강 간섭 신호를 결정하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 구하는 단계는

특이값 분해(Singular Value Decomposition; SVD)를 하여 얻은 유니터리(unitary) 매트릭스의 열들의 선형 결합(linear combination)으로 계산하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 구하는 단계는

일정 계수를 구하기 위해, 실수부와 허수부로 나누어 벡터를 생성하여 매트릭스를 계산하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법.

청구항 5

기지국에서 임의의 초기 프리코딩 매트릭스를 생성하는 초기값 생성부;

상기 기지국과 사용자들 사이의 채널을 이용하여, 각각의 상기 사용자들의 원 신호(desired signal)를 예측하는 신호 예측부;

상기 원 신호와 위상차의 절대값이 $\frac{\pi}{M}$ 이하인 보강 간섭 신호를 결정하는 신호 결정부; 및
 상기 보강 간섭 신호를 만족하는 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 구하는 프리코딩 매트릭스 연산부
 를 포함하며,
 여기에서, M은 2진 디지털 신호를 m개의 비트로 묶어 $M=2^m$ 개의 위상으로 분할시킨 위상 변조 방식으로, M진 PSK
 인 것
 을 특징으로 하는 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 시스템.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법 및 시스템에 관한 것이다. 더욱 상세하게는 동일 채널 간섭을 이용하여 파워 이득을 얻음으로써, 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 다중 사용자 다중 입출력 시스템(Multiple User Multiple Input Multiple Output; MU-MIMO)은 하나 이상의 기지국과, 복수의 사용자 단말기들 간에 데이터를 송수신하는 시스템이다. 특히, 다중 입출력 통신 방식은 기지국 또는 사용자 단말기들 각각이 복수의 안테나를 가짐으로써 데이터 송수신 효율을 향상시키는 방법이다.

[0003] 다중 사용자 다중 입출력 시스템은 기지국으로부터 복수의 사용자 단말기로 데이터를 동시에 전송할 수 있는 통신 시스템이며, 공간 분할 다중 접속(Spatial Division Multiple Access; SDMA)에 의하여 정보의 전송률을 향상시킬 수 있다.

[0004] 공간 분할 다중 접속 방식은 복수 개의 공간 빔(spatial beam)들을 복수 개의 사용자 단말기에 할당하여 공간 빔 각각을 통하여 사용자 단말기들 각각으로 데이터를 전송하는 방식이다. 복수 개의 사용자 단말기들 각각에 공간 빔들 각각을 할당하는 과정을 프리코딩(precoding) 또는 빔 형성(beam forming)이라 하며, 프리코딩 또는 빔 형성 과정은 매트릭스(matrix) 또는 벡터(vector)에 대한 연산을 통하여 구현될 수 있다.

[0005] 프리코딩 또는 빔 형성 과정에서는 사용자 단말기들 각각에 이르는 통신 채널에 관한 정보를 기지국이 미리 알고 있거나, 사용자 단말기들 각각이 채널에 관한 정보를 기지국으로 피드백하는 방법이 사용되는데, 채널에 관한 정보를 피드백하는 방법이 페루프 통신 제어 방식이다.

[0006] 일반적으로 다중 입출력(Multi Input Multi Output; MIMO) 시스템에서는 사용자에게 신호를 전달할 때 여러 사용자에게 중복적으로 자원이 할당되는 것을 방지함으로써, 간섭을 예방할 수 있다. 그러나, 다중 사용자 다중 입출력(MU-MIMO) 시스템에서는 동일 자원을 다수의 사용자에게 배당함으로써 sum-rate를 증가시키려 한다. 이 과정에서 적절한 프리코딩(precoding)이 이루어지지 않는 경우에는, 심각한 간섭이 발생되며 신호 대 간섭 및 잡음비(Signal-to-Interference plus Noise Ratio; SINR)가 매우 낮아지는 결과를 초래하고, 통신 장애를 야기시킨다. 따라서, 다중 사용자 다중 입출력(MU-MIMO) 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법은 매우 중요하다.

[0007] 그리고, 다중 사용자 다중 입출력(MU-MIMO) 시스템에서 간섭 효과를 억제하기 위하여 블록 대각화(Block Diagonalization; BD) 방법이 널리 사용되고 있다. 상기 블록 대각화 방법은 기지국에서 송신 신호를 만들 때, 각 해당 사용자가 아닌 다른 사용자들의 채널에 직교(orthogonal)한 프리코딩 매트릭스(precoding matrix)를 생성시켜서 자동적으로 다른 사용자들에게 간섭을 미칠 신호들이 널링(nulling) 되도록 할 수 있다. 여기에서는, 모든 간섭 신호들(interfering signals)이 원 신호(desired signal)에게 해로운 영향을 미친다고 가정한 상태에서 모든 간섭들을 제거한다. 그러나, 실제로는 모든 간섭들이 원 신호에 해로운 것만은 아니다. 어떤 간섭들은 원 신호에 이롭게 작용하여 원 신호의 파워 향상에 기여할 수도 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 동일 채널 간섭을 이용하여 파워 이득을 얻음으로써, 간섭이 제거되지 않고 보강 중첩을 이루어 신호를 강화시킬 수 있는 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법 및 시스템을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법은 기지국에서 임의의 초기 프리코딩 매트릭스를 생성하는 단계; 상기 기지국과 사용자들 사이의 채널을 이용하여, 각각의 상기 사용자들의 원 신호(desired signal)를 예측하는 단계; 상기 원 신호와 위상차의 절대값이 $\frac{\pi}{M}$ 이하인 보강 간섭 신호를 결정하는 단계; 및 상기 보강 간섭 신호를 만족하는 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 구하는 단계를 포함하며, 여기에서, M은 2진 디지털 신호를 m개의 비트로 묶어 $M=2^m$ 개의 위상으로 분할시킨 위상 변조 방식으로, M진 PSK인 것을 특징으로 한다.

[0010] 상기 보강 간섭 신호를 결정하는 단계는 각각의 상기 사용자들의 상기 원 신호의 위상을 계산하여 상기 보강 간섭 신호를 결정할 수 있다.

[0011] 상기 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 구하는 단계는 특이값 분해(Singular Value Decomposition; SVD)를 하여 얻은 유니터리(unitary) 매트릭스의 열들의 선형 결합(linear combination)으로 계산할 수 있다.

[0012] 상기 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 구하는 단계는 일정 계수를 구하기 위해, 실수부와 허수부로 나누어 벡터를 생성하여 매트릭스를 계산할 수 있다.

[0013] 다른 측면에 있어서, 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 시스템은 기지국에서 임의의 초기 프리코딩 매트릭스를 생성하는 초기값 생성부; 상기 기지국과 사용자들 사이의 채널을 이용하여, 각각의 상기 사용자들의 원 신호(desired signal)를 예측하는 신호 예측부; 상기 원 신호와 위상차의 절대값이 $\frac{\pi}{M}$ 이하인 보강 간섭 신호를 결정하는 신호 결정부; 및 상기 보강 간섭 신호를 만족하는 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 구하는 프리코딩 매트릭스 연산부를 포함하며, 여기에서, M은 2진 디지털 신호를 m개의 비트로 묶어 $M=2^m$ 개의 위상으로 분할시킨 위상 변조 방식으로, M진 PSK인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0014] 본 발명의 실시예들에 따르면 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 동일 채널 간섭을 이용하여 파워 이득을 얻음으로써, 간섭이 제거되지 않고 보강 중첩을 이루어 신호를 강화시킬 수 있는 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 입출력 시스템이 설치된 기지국 및 다중 사용자들의 단말기를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 PSK 방식에서 간섭 신호들의 영향을 나타낸 도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템 모델을 나타낸 도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호들의 보강 중첩을 나타낸 도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 프리코딩 매트릭스를 이용하여 보강 간섭 신호를 생성하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 입출력 시스템이 설치된 기지국 및 다중 사용자들의 단말기를 도시한 도면이다.

- [0018] 도 1을 참조하면, 기지국에는 복수의 안테나가 설치되어 있으며, K 명의 사용자들에 대응하는 단말기가 포함될 수 있다.
- [0019] 기지국 또는 단말기들은 적어도 하나의 프리코딩 매트릭스를 저장할 수 있다. 이때, 프리코딩 매트릭스는 복수의 빔 포밍 벡터를 포함할 수 있고, 빔 포밍 벡터들은 프리코딩 매트릭스의 열(column) 또는 행(row) 벡터일 수 있다.
- [0020] 또한, 기지국에 설치된 복수의 안테나와 사용자들의 단말기들 사이에는 다수의 무선 채널들이 형성된다. 이때, 기지국은 파일럿 신호를 단말기들로 전송할 수 있고, 파일럿 신호를 수신한 단말기들은 무선 채널들과 관련된 정보를 기지국으로 피드백 할 수 있다.
- [0021] 다중 사용자 다중 입출력 시스템은 동일 자원을 이용하여 다중 사용자에게 정보를 전달한다.
- [0022] 송신 신호 $\mathbf{x}$ 는 $[s_i]$ 로 표현할 수 있다.

수학적 식 1

[0023]
$$\mathbf{x} = \sum_{i=1}^{\text{# of users}} \mathbf{w}_i s_i$$

- [0024] 여기서, $\mathbf{w}_i$ 는 i 번째 사용자(user)의 프리코딩 매트릭스이며, s_i 는 i 번째 사용자의 신호를 나타낸다.
- [0025] 이와 같이, 사용자는 자기 신호뿐만 아니라 남의 신호까지 함께 수신하므로, 동일 채널 간섭(Co-Channel Interference)이 발생할 수 있다.
- [0026] 따라서, 동일 채널 간섭을 제거하거나 원 신호를 강화하도록 할 수 있다.
- [0027] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 PSK 방식에서 간섭 신호들의 영향을 나타낸 도이다.
- [0028] 도 2를 참조하면, 녹색으로 표시된 부분은 간섭 신호들이 원 신호에 이로운 영향을 끼쳐 원 신호가 결정 경계(decision boundary)로부터 더 멀리 떨어지도록 할 수 있다.
- [0029] 예를 들면, 2진 위상 편이 방식(Binary Phase Shift Key; BPSK, 또는 2진 PSK라 표현) 환경에서 간섭이 없는 상황에 수신된 신호가 '1' 이었다고 가정했을 경우에는, 간섭이 원 신호에 이롭게 작용한다면 수신된 신호는 '1+ Δ ' 일 것이다. 반대로, 간섭을 완전히 제거했을 경우에는, 원 신호가 결국 수신신호이기 때문에 수신된 신호는 '1' 이다. 만일, 간섭을 완전히 제거하는 방법을 사용하여 수신된 신호가 '1+ Δ ' 가 되게 하려면 기지국에서 더욱 큰 파워로 신호를 송신해야 할 것이다.
- [0030] 여기서, PSK(Phase Shift Key)는 디지털 신호에 대응하여 반송파의 위상을 각각 다르게 하여 전송하는 변조 방식으로, 2진 디지털 신호를 m 개의 비트로 묶어 $M=2^m$ 개의 위상으로 분할시킨 위상 변조 방식을 M 진 PSK라고 하며, 2진, 4진, 8진 PSK 등이 사용될 수 있다.
- [0031] 이와 같이, 간섭 신호가 원 신호와 보강 중첩(constructive superposition)을 이루게 함으로써 기지국은 파워 이득을 얻을 수 있고, 통신은 더욱 로버스트(robust)해진다.
- [0032] 따라서, 종래의 BD 방법과 달리 간섭들이 모두 원 신호에 이롭게 작용하도록 유도하는 프리코딩 매트릭스(precoding matrix)를 구할 수 있다.

[0033] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템 모델을 나타낸 도이다.

[0034] 여기에서, 신호 변조는 PSK 방식을 이용하고, 기지국의 송신 안테나 개수는 N_t 개, 각 사용자들의 수신 안테나 개수는 N_r 개 (1개로 가정), 그리고 동시 스케줄을 이용하는(co-scheduled) 사용자의 수는 K 명으로 가정하기로 한다.

[0035] 도 3을 참조하면, 기지국은 송신하기 전에 각 사용자들에게 맞는 프리코딩 매트릭스($\mathbf{W}$)를 계산하고 그 후 데이터($\mathbf{s}$)와 프리코딩 매트릭스를 곱하여 얻은 송신 신호($\mathbf{X}$)를 전송한다. 각 사용자들은 각자 자신이 수신한 신호(y_k)로 최종적으로 본 데이터 신호를 디코딩(decoding)한다. 이를 매트릭스 식으로 표현하면 [수 2]와 같이 표현할 수 있다.

수학식 2

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{h}_K \end{bmatrix} \cdot [\mathbf{w}_1 \quad \dots \quad \mathbf{w}_K] \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_K \end{bmatrix}$$

[0037] 이때, 매트릭스 식에 사용된 변수에 대한 설명은 다음과 같이 정의할 수 있다.

N_t : 기지국의 송신 안테나 개수

N_r : 각 사용자들의 수신 안테나 개수 = 1 개로 가정

K : 동시 스케줄을 이용하는 사용자의 수

$\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{K \times N_t}$: 기지국(Base Station: BS)과 사용자들 사이의 채널 매트릭스

$\mathbf{h}_k \in \mathbb{C}^{N_t}$: k번째 사용자의 채널 벡터, i.i.d. complex Gaussian 랜덤 변수

$\sim \mathcal{C}(0, 1)$, $\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{h}_K \end{bmatrix}$

$\mathbf{W} \in \mathbb{C}^{N_t \times K}$: 프리코딩 매트릭스

$\mathbf{w}_k \in \mathbb{C}^{N_t}$: k번째 사용자의 프리코딩 벡터, $\mathbf{W} = [\mathbf{w}_1 \quad \dots \quad \mathbf{w}_K]$

$\mathbf{s} \in \mathbb{C}^K$: 원 신호 벡터들, k번째 사용자의 원 신호 벡터의 각 요소, $\mathbf{s} = \begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_K \end{bmatrix}$

$\mathbf{X} \in \mathbb{C}^{N_t \times 1} = \mathbf{W} \cdot \mathbf{s}$: 송신 신호 벡터(transmitted signal vector)

$\mathbf{y} \in \mathbb{C}^K$: 수신 신호 벡터(received signal vector)

y_k : k번째 사용자의 수신 신호

$\mathbf{n}$: 잡음 벡터(noise vector), 각 요소는 k번째 사용자의 i.i.d. complex Gaussian 랜

덤 잡음 $\sim \mathcal{C}(0, \sigma^2)$; $\mathbf{n} = \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_K \end{bmatrix}$

[0040] 여기서, 원 신호(desired signal)는 각 사용자가 기지국으로부터 받는 신호를 의미한다. 다시 말하면, k번째 사용자의 원 신호는 $\mathbf{h}_k \mathbf{w}_k s_k$ 가 될 수 있다.

[0041] 한편, k번째 사용자의 간섭 신호들(interfering signals)은 각 사용자가 기지국으로부터 수신하는 모든 신호들 중 원 신호를 제외한 신호들을 의미한다. 다시 말하면, k번째 사용자의 간섭 신호들은 $\mathbf{h}_k \mathbf{w}_j s_j$; 여기서, $j = 1, 2, \dots, K, j \neq k$ 를 의미할 수 있다.

[0042] [수 3]을 참조하면, 각 사용자의 원 신호를 매트릭스로 표현할 수 있다.

수학식 3

$$\begin{bmatrix} \mathbf{h}_1 \mathbf{w}_{1S_1} & \mathbf{h}_1 \mathbf{w}_{2S_2} & \dots & \mathbf{h}_K \mathbf{w}_{KS_K} \\ \mathbf{h}_2 \mathbf{w}_{1S_1} & \mathbf{h}_2 \mathbf{w}_{2S_2} & \dots & \mathbf{h}_2 \mathbf{w}_{KS_K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{h}_K \mathbf{w}_{1S_1} & \mathbf{h}_K \mathbf{w}_{2S_2} & \dots & \mathbf{h}_K \mathbf{w}_{KS_K} \end{bmatrix}$$

따라서, [수 4]와 같이, k번째 사용자의 수신 신호(y_k)는 위 매트릭스의 k번째 행(row)에 있는 신호들의 합이다.

수학식 4

$$y_k = \sum_{i=1}^K \mathbf{h}_k \mathbf{w}_i s_i$$

그리고, 위 매트릭스에서 대각선 부분($\mathbf{h}_1 \mathbf{w}_{1S_1}, \mathbf{h}_2 \mathbf{w}_{2S_2}, \dots, \mathbf{h}_K \mathbf{w}_{KS_K}$)은 각 사용자들의 원 신호다. 즉, k번째 사용자의 원 신호는 위 매트릭스의 (k, k) 성분이다.

마지막으로, k번째 사용자의 간섭 신호들은 위 매트릭스의 k번째 행(row)에서 원 신호를 뺀 나머지 신호들이다. 따라서, k번째 사용자의 수신 신호는 (원 신호 + 모든 간섭 신호들)로 이루어진다. 여기서, k번째 사용자의 수신 신호(y_k)는 원 신호뿐만 아니라 간섭 신호들에 의해서도 영향을 받기 때문에 상기 간섭 신호들이 원 신호와 보강 중첩(constructive superposition)을 이루어 k번째 사용자가 y_k 로부터 원 신호를 더욱 잘 디코딩할 수 있도록 프리코딩 매트릭스를 설정하여야 한다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 신호들의 보강 중첩을 나타낸 도이다.

도 4를 참조하면, 원 신호와 간섭 신호들이 보강 중첩(constructive superposition)을 이룰 수 있다.

예를 들어, QPSK(4진 PSK)가 사용되는 상황에서 원 신호에 대한 서로 다른 두 개의 간섭 신호들이 존재할 수 있다. 여기서, 원 신호가 제1 간섭과 합성된 신호를 제1 수신 신호라 하고, 제2 간섭과 합성된 신호를 제2 수신 신호라 할 수 있다. 제1 수신 신호와 제2 수신 신호를 비교하면, 제1 수신 신호가 제2 수신 신호는 물론 원 신호보다도 결정 경계(decision boundary)로부터 멀리 떨어져 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 제1 간섭과 원 신호가 합쳐져 수신 신호의 생성 시, 제1 간섭이 원 신호를 강화시켰다는 것을 의미한다.

이와 같이, 프리코딩 매트릭스를 설계하여 제1 간섭이 원 신호에 보강적인 영향을 줌으로써, 시스템에서 원 신호를 강화시킬 수 있다.

여기에서, 보강 간섭 신호들(constructive interfering signals)의 조건은 원 신호(desired signal)의 위상과 간섭 신호(interfering signal)의 위상의 차이의 절대값이 $\frac{\pi}{M}$ 이하를 만족하는 모든 간섭 신호들이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 프리코딩 매트릭스를 이용하여 보강 간섭 신호를 생성하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 5를 참조하면, 단계(110)에서, 기지국은 임의의 초기(initial) 프리코딩 매트릭스, $\mathbf{W}^{ini}$ 를 생성할 수 있다. 이때, 상기 초기 프리코딩 매트릭스는 임의로 생성한 것이기 때문에 각 사용자들의 원 신호와 간섭 신호들의 위상차의 절대값이 $\frac{\pi}{M}$ 이하라고 보장할 수 없다. 여기에서, M은 M진 PSK를 사용하는 것을 의미한다.

단계(120)에서, 기지국과 사용자들 사이의 채널을 알고 있으므로 각 사용자들의 원 신호를 미리 예측할 수

있다. 즉, k번째 사용자의 원 신호는 [수 5]와 같이 표현할 수 있다.

수학식 5

$$\mathbf{h}_k \mathbf{w}_k s_k$$

단계(130)에서, 간섭 신호들이 원 신호에 대해 보강(constructive)하기 위해서, 각 간섭 신호의 위상과 원 신호의 위상의 절대값의 차이가 $\frac{\pi}{M}$ 임을 만족해야 한다는 조건을 이용하여 미리 보강 간섭 신호들을 정할 수 있다.

즉, $\mathbf{w}_k^{ini}$ 를 $\mathbf{w}_k^{update}$ 로 업데이트시켜 원 신호와 간섭 신호들의 위상차의 절대값이 $\frac{\pi}{M}$ 이하가 되도록 함으로써, 보강 중첩(constructive superposition)을 이루도록 하는 것이 바람직하다.

이에 따라, $\mathbf{w}_k^{ini}$ 의 모든 열(column)들($[\mathbf{w}_1^{ini} \dots \mathbf{w}_K^{ini}]$)에 대해서 업데이트가 이루어져야 한다.

그리고, 그 전에 첫 번째 사용자부터 k번째 사용자까지의 원 신호의 위상을 [수 6]과 같이 계산할 수 있다.

수학식 6

$$\varphi_{k,desired} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\text{imag}(\mathbf{h}_k \mathbf{w}_k^{ini} s_k)}{\text{real}(\mathbf{h}_k \mathbf{w}_k^{ini} s_k)} \right\}$$

이와 같이, 모든 사용자들의 원 신호의 위상이 정해진 후에는, 원 신호와 위상차의 절대값이 $\frac{\pi}{M}$ 이하인 간섭 신호들을 쉽게 찾을 수 있다.

예를 들어, 어떤 임의의 신호 $a+jb$ 가 있을 경우, $\left| \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right) - \varphi_{k,desired} \right| \leq \frac{\pi}{M}$ 를 만족하는 모든 a (실수부), b (허수부)는 k번째 원 신호와 보강 중첩(constructive superposition)을 이루는 보강 간섭 신호(constructive interfering signal)이다. 이와 같이, a , b 를 정한 다음, a , b 를 유도해내는 프리코딩 매트릭스를 찾을 수 있다.

단계(140)에서, 단계(130)에서 미리 정한 상기 보강 간섭 신호들을 생성하는 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 찾고, 상기 업데이트된 프리코딩 매트릭스로 교체할 수 있다. 여기에서, 프리코딩 매트릭스는 각각의 열이 독립적으로 차례대로 업데이트 될 수 있다.

예를 들어, $\mathbf{W}^{ini}$ 에서 첫 번째 열에 대해 업데이트를 해야 한다면, 첫 번째 열과 각 사용자들의 채널이 미치는 신호들은 $\mathbf{h}_i \mathbf{w}_1^{ini} s_1$; 여기서, $i = 1, \dots, K$ 이다. 이때, $\mathbf{h}_1 \mathbf{w}_1^{ini} s_1$ 은 원 신호이고, 나머지 $\mathbf{h}_j \mathbf{w}_1^{ini} s_1$ $j = 2, \dots, K$ 는 모두 2 번째 사용자부터 K번째 사용자까지의 원 신호에 영향을 미치는 간섭 신호들이다. 따라서, 기지국은 1번째 열을 다음과 같은 조건을 만족시키는 방향으로 업데이트할 수 있다.

수학식 7

$$\text{조건 1. } \tan^{-1} \left\{ \frac{\text{imag}(\mathbf{h}_1 \mathbf{w}_1^{update} s_1)}{\text{real}(\mathbf{h}_1 \mathbf{w}_1^{update} s_1)} \right\} = \varphi_{1,desired}$$

$$\text{조건 2. } \varphi_{j,desired} - \frac{\pi}{M} \leq \tan^{-1} \left\{ \frac{\text{imag}(\mathbf{h}_j \mathbf{w}_1^{update} s_1)}{\text{real}(\mathbf{h}_j \mathbf{w}_1^{update} s_1)} \right\} \leq \varphi_{j,desired} + \frac{\pi}{M}$$

;여기서, $j = 2, \dots, K$ 이고, M 은 M 진 PSK 를 사용한다.

조건 1은 첫 번째 열이 업데이트 될 때 기존의 원 신호의 위상을 바꾸지 않도록 하기 위한 조건이다.

또한, 조건 2는 첫 번째 열이 만들어 내는 간섭 신호들이 j 번째 사용자들의 원 신호와의 위상차의 절대값을 $\frac{\pi}{M}$ 이하가 되도록 하기 위한 조건이다.

상기 조건 1 및 조건 2를 간단한 치환을 통해서 재정의하면, [수 8]과 같이 표현할 수 있다.

수학식 8

원 신호: $\mathbf{h}_1 \mathbf{w}_1^{update} s_1 = a_{1,1} + j b_{1,1}; \Rightarrow \text{조건 1. } \tan^{-1} \left(\frac{b_{1,1}}{a_{1,1}} \right) = \varphi_{1,desired}$

간섭 신호: $\mathbf{h}_j \mathbf{w}_1^{update} s_1 = a_{j,1} + j b_{j,1}; \Rightarrow \text{조건 2. } \tan^{-1} \left(\frac{b_{j,1}}{a_{j,1}} \right) \in \varphi_{j,interf}$

여기서, $j = 1, \dots, K, j \neq 1, \varphi_{j,desired} - \frac{\pi}{M} \leq \varphi_{j,interf} \leq \varphi_{j,desired} + \frac{\pi}{M}$

따라서, 기지국은 상기 조건에 따라 $(a_{i,1}, j b_{i,1})^{[i = 1, \dots, k]}$ 를 정하고, 이를 생성하는 $\mathbf{w}_1^{update}$ 를 구할 수 있다.

[수 9]는 $(a_{i,1}, j b_{i,1})$ 를 야기하는 $\mathbf{w}_1^{update}$ 를 구하는 방법을 나타낸 것이다.

수학식 9

$[u_1 \Sigma_1 V_1^H] = \text{SVD}((\mathbf{w}_1^{ini})^H); u_1 = 1, \Sigma_1 \in \mathbb{C}^{1 \times N_t}, V_1 \in \mathbb{C}^{N_t \times N_t}$

$V_1 = [v_{1,1} \dots v_{N_t,1}]; v_{1,1} = \mathbf{w}_1^{ini}, v_{j,1} \perp \mathbf{w}_1^{ini}, j = 2, \dots, N_t$

$\mathbf{w}_1^{update}$ 를 구하는 방법은 먼저 $\mathbf{w}_1^{ini}$ 를 특이값 분해(Singular Value Decomposition; SVD)를 할 수 있다.

또한, [수 10]에 나타난 바와 같이, $\mathbf{w}_1^{update}$ 는 $\mathbf{w}_1^{ini}$ 를 분해한 후에 얻은 유니터리(unitary) 매트릭스의 열들의 선형 결합(linear combination)으로 계산할 수 있다.

수학식 10

$$\mathbf{w}_1^{update} = V_1 \cdot \mathbf{x} = \sum_{i=1}^{N_t} v_{i,1} \cdot x_i$$

$\mathbf{w}_1^{update}$ 을 계산하기 위해서는 적절한 계수인 $\mathbf{x}$ 를 도출해야 한다. 따라서, $\mathbf{x}$ 를 구하기 위해서 $\mathbf{x}$ 를 실수부와 허수부로 나누어 정의한 새로운 벡터(vector)를 만든 후에 [수 11]의 매트릭스 연산을 이용하면 간단히 구할 수 있다.

수학식 11

$$\begin{bmatrix} \text{real}(x_1) \\ \text{imag}(x_1) \\ \vdots \\ \text{real}(x_K) \\ \text{imag}(x_K) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{R,1}^{1,1} & c_{I,1}^{1,1} & \cdots & c_{R,K}^{1,1} & c_{I,K}^{1,1} \\ d_{R,1}^{1,1} & d_{I,1}^{1,1} & \cdots & d_{R,K}^{1,1} & d_{I,K}^{1,1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ c_{R,1}^{K,1} & c_{I,1}^{K,1} & \cdots & c_{R,K}^{K,1} & c_{I,K}^{K,1} \\ d_{R,1}^{K,1} & d_{I,1}^{K,1} & \cdots & d_{R,K}^{K,1} & d_{I,K}^{K,1} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} a_{1,1} \\ b_{1,1} \\ \vdots \\ a_{K,1} \\ b_{K,1} \end{bmatrix}$$

이때, 상기 매트릭스를 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$c_{R,i}^{j,1} = \text{real}(s_1) \cdot \text{real}(z_i^{j,1}) - \text{imag}(s_1) \cdot \text{imag}(z_i^{j,1})$$

$$c_{I,i}^{j,1} = -\{\text{real}(s_1) \cdot \text{imag}(z_i^{j,1}) + \text{imag}(s_1) \cdot \text{real}(z_i^{j,1})\}$$

$$d_{R,i}^{j,1} = \text{real}(s_1) \cdot \text{imag}(z_i^{j,1}) + \text{imag}(s_1) \cdot \text{real}(z_i^{j,1})$$

$$d_{I,i}^{j,1} = \{\text{real}(s_1) \cdot \text{real}(z_i^{j,1}) - \text{imag}(s_1) \cdot \text{imag}(z_i^{j,1})\}$$

$$z_i^{j,1} = \text{it } h \text{ component of } \mathbf{h}_j \mathbf{V}_1 \text{ 여기서, } j = 1, \dots, K$$

마지막으로, 파워 제약조건(constraint)을 고려해야 하기 때문에, [수 12]와 같이 최종적으로 정규화(normalization)를 시켜주면 된다.

수학식 12

$$\mathbf{w}_1^{\text{update}} = \frac{\mathbf{w}_1^{\text{update}}}{\|\mathbf{x}\|}$$

정규화(Normalization)의 효과는 $(a_{i,1}, jb_{i,1})$ 의 크기를 낮추지만, $(a_{i,1}, jb_{i,1})$ 의 위상($\tan^{-1}\left(\frac{b_{i,1}}{a_{i,1}}\right)$)은 변하지 않기 때문에 constructiveness 역시 보존된다. 이와 같은 방법으로, $\mathbf{W}^{\text{ini}}$ 에서 2번째 열부터 K번째 열까지 반복적으로 진행하면 전체적으로 $\mathbf{W}^{\text{ini}}$ 를 $\mathbf{W}^{\text{update}}$ 로 변환시킬 수 있으며, $\mathbf{W}^{\text{update}}$ 는 기지국이 원하는 각도에 신호를 위치시킬 수 있다.

그러므로, 보강 중첩(constructive superposition)이 되도록 신호의 변형을 유도할 수 있다.

그리고, 다중 사용자 다중 입출력 시스템에서 간섭 효과를 처리할 수 있는 프리코딩 시스템은 초기값 생성부, 신호 예측부, 신호 결정부, 및 프리코딩 매트릭스 연산부를 포함할 수 있다.

초기값 생성부는 기지국에서 임의의 초기 프리코딩 매트릭스를 생성할 수 있다.

그리고, 신호 예측부는 상기 기지국과 사용자들 사이의 채널을 이용하여, 각각의 상기 사용자들의 원 신호(desired signal)를 예측할 수 있다.

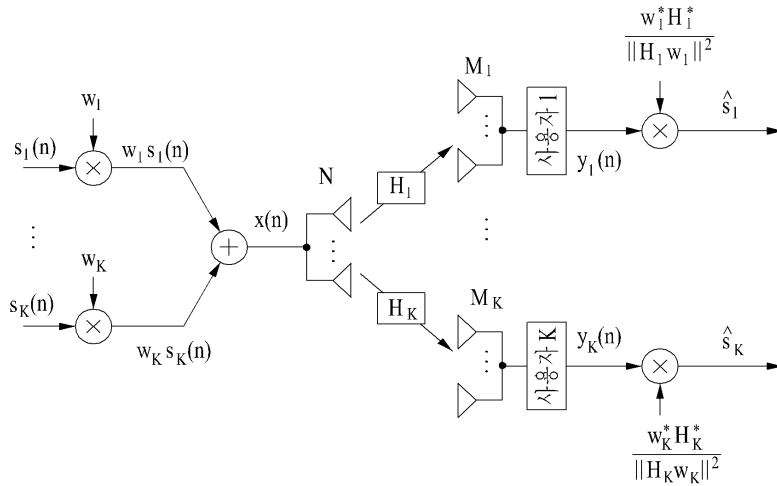
또한, 신호 결정부는 상기 원 신호와 위상차의 절대값이 $\frac{\pi}{M}$ 이하인 보강 간섭 신호를 결정할 수 있다. 여기에서, M은 2진 디지털 신호를 m개의 비트로 묶어 $M=2^m$ 개의 위상으로 분할시킨 위상 변조 방식으로, M진 PSK인 것

마지막으로, 프리코딩 매트릭스 연산부는 상기 보강 간섭 신호를 만족하는 업데이트된 프리코딩 매트릭스를 구할 수 있다.

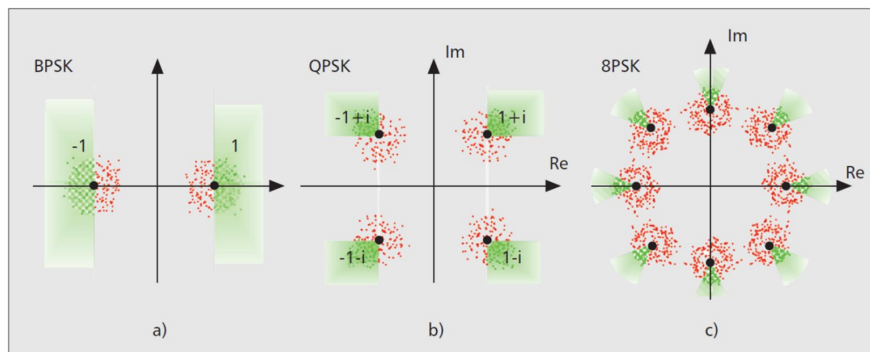
- [0096] 그러므로, 본 발명의 다중 사용자 다중 입출력 시스템의 프리코딩 방법 및 시스템을 따르면 간섭이 제거되지 않고, 오히려 보강하도록 변하여, 원 신호의 크기의 향상에 영향을 미친다. 이에 따라, 신호의 로버스트가 향상될 수 있다.
- [0097] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0098] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0099] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0100] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0101] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

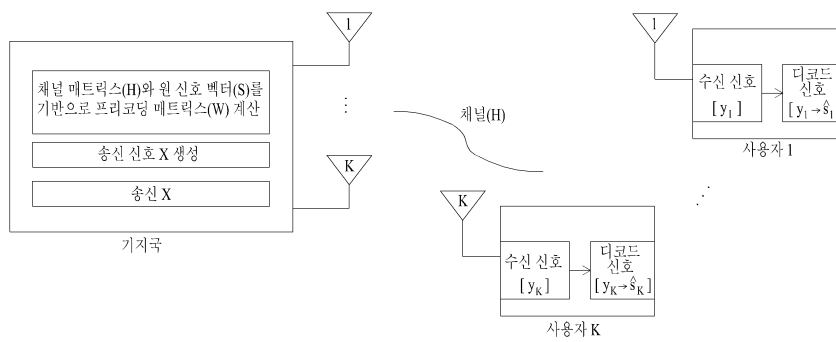
도면1



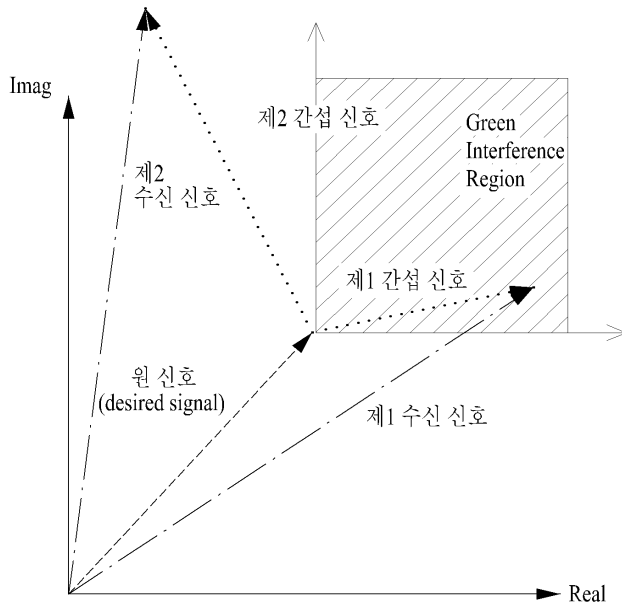
도면2



도면3



도면4



도면5

