(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0064834
(43) 공개일자 2015년06월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 1/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0149633
(22) 출원일자 2013년12월04일
심사청구일자 2013년12월04일

(71) 출원인
한발대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
이경재
대전광역시 유성구 학하로 33 리슈빌 학의뜰아파트 105동 1701호
(74) 대리인
특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템 및 방법**

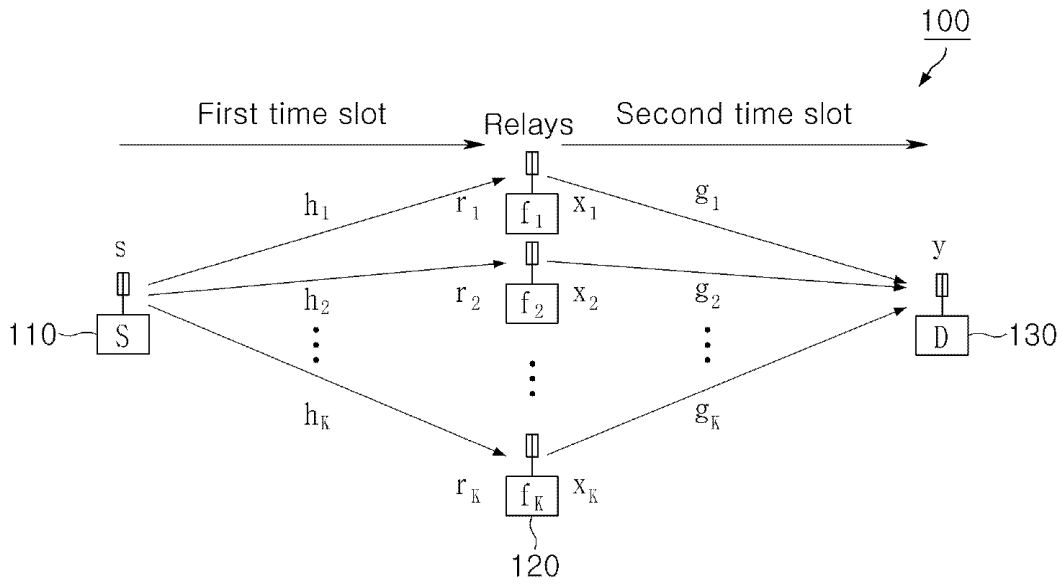
(57) 요 약

본 발명은 무선 릴레이 통신 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 구체적으로는 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템 및 방법에 관한 것이다.

본 발명은 무선 신호를 송출하는 송신기; 상기 송신기에서 송신된 무선 신호를 수신하여 미리 산정된 코드북의

(뒷면에 계속)

대 표 도



코드값을 순환적으로 적용하면서 상기 무선 신호를 프리코팅한 후 다시 송출하는 복수의 릴레이; 및 상기 복수의 릴레이로부터 송출된 무선 신호를 수신하는 수신기를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 무선 릴레이 통신 시스템을 개시하며, 본 발명에 의하여 미리 산정된 코드값을 순환적으로 사용하여 각 릴레이에서 수신한 신호를 프리코딩하여 재송신하여 줌으로써, 릴레이의 숫자가 3개 이상으로 늘어나더라도 수신단의 구조를 단순하게 구성하여 한번에 단위 심볼을 디코딩(single symbol decodability)할 수 있는 무선 릴레이 통신 시스템 및 방법을 개시하는 효과를 갖는다.

명 세 서

청구범위

청구항 1

무선 신호를 송출하는 송신기;

상기 송신기에서 송신된 무선 신호를 수신하여 미리 산정된 코드북의 코드값을 순환적으로 적용하면서 상기 무선 신호를 프리코팅한 후 다시 송출하는 복수의 릴레이; 및

상기 복수의 릴레이로부터 송출된 무선 신호를 수신하는 수신기를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 무선 릴레이 통신 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 릴레이가 K개 존재하는 경우(K≥2),

상기 코드북은 순환적으로 사용되는 복수개의 $w_k = [w_{k,1}\ w_{k,2}\ \ldots\ w_{k,K}]^T$값을 포함하여 이루어지고,

상기 복수의 릴레이는 상기 w_k의 각 원소값을 사용하여 프리코딩을 하는 것을 특징으로 하는 무선 릴레이 통신 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 릴레이가 2개 존재하는 경우에는,

상기 코드북은 4개의 $w_k \in \left\{\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\right\}$ 로 이루어지는 것을 특징으로 하는 무선 릴레이 통신 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 릴레이가 K개 존재하는 경우에는(K≥3),

상기 코드북은 4K개의 w_k 로 이루어지며,

상기 w_k 를 구성함에 있어서,

K×1의 영행렬의 1행, 2행에 $\left\{\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\right\}$ 의 각 행렬의 원소값을 대입하여 4개의 w_k 를 구성한 후,

이어서, K×1의 영행렬의 2행, 3행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성하며,

다시, 행을 하나씩 내려가면서 K행과 1행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성할 때까지 반복하여 상기 코드북을 구성하는 것을 특징으로 하는 무선 릴레이 통신 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 송신기와 수신기는 비트 인터리브 코드 변조(Bit Interleaved Coded Modulation) 구조를 가지는 것을 특징으로 하는 무선 릴레이 통신 시스템.

청구항 6

(a) 송신기가 무선 신호를 송출하는 단계;

(b) 릴레이가 상기 무선 신호를 수신하여, 미리 산정된 코드북의 코드값을 순환적으로 적용하면서 상기 무선 신호를 프리코팅한 후 다시 송출하는 단계; 및

(c) 수신기가 상기 복수의 릴레이로부터 송출된 무선 신호를 수신하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 릴레이 통신 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

(b) 단계에서,

상기 릴레이가 K개 존재하는 경우(K≥2),

상기 코드북은 순환적으로 사용되는 복수개의 $w_k = [w_{k,1}\ w_{k,2}\ \ldots\ w_{k,K}]^T$값을 포함하여 이루어지고,

상기 복수의 릴레이는 상기 w_k의 각 원소값을 사용하여 프리코딩을 하는 것을 특징으로 하는 무선 릴레이 통신 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 릴레이가 2개 존재하는 경우에는,

상기 코드북은 4개의 $w_k \in \left\{\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\right\}$ 로 이루어지는 것을 특징으로 하는 무선 릴레이 통신 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 릴레이가 K개 존재하는 경우에는(K≥3),

상기 코드북은 4K개의 w_k 로 이루어지며,

상기 w_k 를 구성함에 있어서,

K×1의 영행렬의 1행, 2행에 $\left\{\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\right\}$ 의 각 행렬의 원소값을 대입하여 4개의 w_k 를 구성한 후,

이어서, K×1의 영행렬의 2행, 3행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성하며,

다시, 행을 하나씩 내려가면서 K행과 1행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성할 때까지 반복하여 상기 코드북을 구성하는 것을 특징으로 하는 무선 릴레이 통신 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무선 릴레이 통신 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 구체적으로는 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근, 무선 멀티미디어 서비스 등 다양한 무선 통신 응용 서비스가 빠르게 확산되면서, 고속 데이터 통신에 대한 요구도 증대되고 있다. 데이터를 고속으로 전송하기 위해서는 넓은 주파수 대역폭을 사용하는 것이 바람직하지만, 주파수 자원은 한정되어 있고, 반면 이에 대한 수요는 폭발적으로 증가하고 있는 상황이다. 따라서, 한정된 주파수 대역폭을 이용하면서도 전송의 효율성을 증가시키는 방법을 고려할 필요가 있다.

[0003] 무선 통신 환경에서 송신 안테나를 통하여 방사된 신호는 전파해 나가면서 빌딩 등의 건물이나 지형적 장해물에 의해 신호의 감쇄를 겪게 되고, 또한 수신기에서는 여러 경로를 거쳐 서로 다른 정도로 반사되거나 회절된 신호를 검출하게 된다. 이에 따라, 상기와 같이 서로 다른 정도로 변형된 다중 신호들을 수신함에 따라 수신 신호의 진폭이 무작위적으로 변하는 현상이 유발되며, 이를 다중 경로 페이딩(multipath fading)이라고 한다. 상기와 같은 다중 경로 페이딩 현상은 무선 통신에서의 전송 효율을 저하시키는 중요한 요인 중 하나가 된다.

[0004] 이에 대한 한가지 대안으로서 다이버시티(diversity) 기법이 대두되고 있다. 상기 다이버시티 기법은 시간 영역 다이버시티, 주파수 영역 다이버시티, 또는 공간 영역 다이버시티 등으로 나누어 질 수 있는데, 신호를 시간 차를 두고 송수신하거나, 상이한 주파수를 사용하여 송수신하거나, 복수개의 안테나를 사용하여 송수신함으로써 전송 효율을 개선할 수 있게 된다.

[0005] 특히 공간 영역 다이버시티 기법은 독립된 복수개의 안테나와 함께 채널 부호화를 이용하여 무선 통신 환경에서의 전송 효율을 효과적으로 개선할 수 있어 많은 관심을 받고 있다. 이에 대한 예로서 시공간 부호화 기법(Space-time coding, STC) 등을 들 수 있는데, 시공간 부호화 기법은 시,공간적 상관 관계를 각각 다른 안테나로부터 전송되는 신호에 부여함으로써 부호화가 안된 시스템과 비교하였을 때 대역폭의 희생없이 수신단에서 다이버시티 이득과 부호 이득을 동시에 얻을 수 있게 하는 기법이다.

[0006] 또한, 고속 통신 및 증대되는 통화량을 수용하기 위하여, 분산적으로 제어되고 구축되면서 새로운 기지국의 추가와 같은 환경 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 릴레이 통신 시스템이 연구되고 있다. 일반적으로 릴레이 통신 시스템은 셀 영역 내에서 발생하는 부분적인 음영 지역을 커버하여 셀 서비스 영역을 넓힐 수 있으며, 시스템 용량을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라, 서비스 요구가 적은 초기 상황에서 릴레이를 이용함으로써 초기 설치 비용에 대한 부담을 줄일 수도 있게 된다. 이때, 상기 릴레이 시스템은 다중 입출력 (Multiple Input Multiple Output: MIMO) 시스템과 유사한 성능 이득을 얻기 위해 다중 안테나들을 사용할 수도 있다.

[0007] 상기와 같은 릴레이 통신 시스템에서 다중 안테나를 이용하여 공간 영역 다이버시티 기법으로서 시공간 부호화 기법을 적용하여 다이버시티 이득과 부호 이득을 얻고 전송 효율을 개선하기 위한 연구가 진행되었다. 예를 들어, Y. Jing 과 H. Jafarkhani에 의한 "Using Orthogonal and Quasi-Orthogonal Designs in Wireless Relay Networks," (IEEE Transactions on Information Theory, Nov. 2007, pp. 4106-4118) 논문에서는 상기와 같은 구조에 대한 분산 시공간 부호화 기법(Distributed Space-Time Coding, DSTC)에 대하여 개시하고 있다. 그러나, 상기 구조에서의 분산 시공간 부호화 기법(DSTC)은, 각 전송 시간 단위(time slot)에 대하여 채널이 유사 정적(quasi-static)인 특성을 가져야 하고, 특히 릴레이 숫자가 3개 이상으로 늘어남에 따라 부호 행렬(codeword matrix)의 열이 늘어나면서 직교 설계(orthogonal design)이 어려워지고, 수신단의 복잡도가 늘어나며, 한번에 단위 심볼을 디코딩(single symbol decodability)하기 어려워지는 문제점을 가진다.

[0008] 따라서, 다중 입출력 안테나(MIMO)를 포함하는 릴레이 또는 단일 입출력 안테나(SISO)를 포함하는 복수의 릴레이를 이용하여 릴레이 통신 시스템을 구성하는 경우에 앞서 살핀 문제점들을 개선하고 다이버시티 기법을 이용하여 다이버시티 이득과 부호 이득을 얻을 수 있는 릴레이 통신 시스템 및 방법이 요구되고 있으나, 아직까지 이를 만족시킬 수 있는 적절한 무선 릴레이 통신 시스템 및 방법이 제시되지 못하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로, 종래 기술에 따른 무선 릴레이 통신 시스템의 경우 릴레이의 숫자가 늘어남에 따라 부호 행렬(codeword matrix)의 직교 설계(orthogonal design)가 어려워지고, 한번에 단위 심볼을 디코딩(single symbol decodability)하기 어려우며, 수신단의 복잡도가 늘어나는 문제점을 해결할 수 있는 무선 릴레이 통신 시스템 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 한 측면에 따른 무선 릴레이 통신 시스템은 무선 신호를 송출하는 송신기; 상기 송신기에서 송신된 무선 신호를 수신하여 미리 산정된 코드북의 코드값을 순환적으로 적용하면서 상기 무선 신호를 프리코딩한 후 다시 송출하는 복수의 릴레이; 및 상기 복수의 릴레이로부터 송출된 무선 신호를 수신하는 수신기를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0011] 여기서, 상기 릴레이가 K개 존재하는 경우(K≥2), 상기 코드북은 순환적으로 사용되는 복수개의 $w_k = [w_{k,1}\ w_{k,2}\ \dots\ w_{k,K}]^T$값을 포함하여 이루어지고, 상기 복수의 릴레이는 상기 w_k의 각 원소값을 사용하여 프리코딩을 할 수 있다.

[0012] 또한, 상기 릴레이가 2개 존재하는 경우에는, 상기 코드북은 4개의 $w_k \in \left\{\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\right\}$ 로 이루어질 수 있다.

[0013] 또한, 상기 릴레이가 K개 존재하는 경우에는(K≥3), 상기 코드북은 4K개의 w_k 로 이루어지며, 상기 w_k 를 구성함에 있어서, K×1의 영행렬의 1행, 2행에 $\left\{\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\right\}$ 의 각 행렬의 원소값을 대입하여 4개의 w_k 를 구성한 후, 이어서, K×1의 영행렬의 2행, 3행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성하며, 다시, 행을 하나씩 내려가면서 K행과 1행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성할 때까지 반복하여 상기 코드북을 구성할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 송신기와 수신기는 비트 인터리브 코드 변조(Bit Interleaved Coded Modulation) 구조를 가질 수 있다.

[0015] 본 발명의 다른 측면에 따른 무선 릴레이 통신 방법은 (a) 송신기가 무선 신호를 송출하는 단계; (b) 릴레이가 상기 무선 신호를 수신하여, 미리 산정된 코드북의 코드값을 순환적으로 적용하면서 상기 무선 신호를 프리코팅한 후 다시 송출하는 단계; 및 (c) 수신기가 상기 복수의 릴레이로부터 송출된 무선 신호를 수신하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 여기서, (b) 단계에서, 상기 릴레이가 K개 존재하는 경우(K≥2), 상기 코드북은 순환적으로 사용되는 복수개의 $w_k = [w_{k,1}\ w_{k,2}\ \dots\ w_{k,K}]^T$값을 포함하여 이루어지고, 상기 복수의 릴레이는 상기 w_k의 각 원소값을 사용하여 프리코딩을 할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 릴레이가 2개 존재하는 경우에는, 상기 코드북은 4개의 $w_k \in \left\{\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\right\}$ 로 이루어질 수 있다.

[0018] 또한, 상기 릴레이가 K개 존재하는 경우에는(K≥3), 상기 코드북은 4K개의 w_k 로 이루어지며, 상기 w_k 를 구성함

에 있어서, K×1의 영행렬의 1행, 2행에 $\left\{\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix},\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix},\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix},\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\right\}$ 의 각 행렬의 원소값을 대입하여 4개의 w_k 를 구성한 후, 이어서, K×1의 영행렬의 2행, 3행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성하며, 다시, 행을 하나씩 내려가면서 K행과 1행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성할 때까지 반복하여 상기 코드북을 구성할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 본 발명에 따르면, 미리 산정된 코드값을 순환적으로 사용하여 각 릴레이에서 수신한 신호를 프리코딩하여 재송신하여 줌으로써, 릴레이의 숫자가 3개 이상으로 늘어나더라도 수신단의 구조를 단순하게 구성하여 한번에 단위 심볼을 디코딩(single symbol decodability)할 수 있는 무선 릴레이 통신 시스템 및 방법을 개시하는 효과를 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0020] 본 발명에 관한 이해를 돕기 위해 상세한 설명의 일부로 포함되는, 첨부도면은 본 발명에 대한 실시예를 제공하고, 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 설명한다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템의 개념도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 방법의 순서도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템과 종래 시스템의 FER 특성 비교 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템의 릴레이 숫자에 따른 BER 특성 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 이하에서는 특정 실시예들을 첨부된 도면을 기초로 상세히 설명하고자 한다.

[0022] 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0023] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되는 것은 아니며, 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0024] 본 발명은, 종래 기술에 따라 분산 시공간 부호화 기법(DSTC)을 이용하여 무선 릴레이 통신 시스템을 구성하는 경우, 릴레이의 숫자가 3개 이상으로 늘어남에 따라 부호 행렬(codeword matrix)의 직교 설계(orthogonal design)가 어려워지고, 수신단의 복잡도가 늘어나며, 한번에 단위 심볼을 디코딩(single symbol decodability)하기 어려워지는 문제점을 가진다는 점에 착안하여, 상기 무선 통신 릴레이 시스템을 구성함에 있어, 각 릴레이에서 미리 산정된 코드값을 순환적으로 사용하여 각 릴레이에서 수신한 신호를 프리코딩하여 재송신하여 줌으로써, 릴레이의 숫자가 늘어나더라도 수신단의 구조를 단순하게 구성하여 한번에 단위 심볼을 디코딩(single symbol decodability)할 수 있는 무선 릴레이 통신 시스템 및 방법을 개시하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 도 1에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템(100)의 개념도를 보여주고 있다. 도 1에서 볼 수 있는 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따르는 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템(100)은 무선 신호를 송출하는 송신기(110), 상기 송신기(110)에서 송신된 무선 신호를 수신하여 미리 산정된 코드북의 코드값을 순환적으로 적용하면서 상기 무선 신호를 채널 코딩한 후 다시 송출하는 복수의 릴레이(120) 및 상기 복수의 릴레이(120)로부터 송출된 무선 신호를 수신하는 수신기(130)를 포함하여 구성될 수 있다.

[0026] 도 1을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템(100)을 보다

구체적으로 살핀다면, 송신기(110)에서 송출된 신호(s)는 독립된 전달 함수(h_k)을 가지는 각 경로를 따라 전파되어 각 릴레이(120)에 도달한다. 각 릴레이(120)는 도달된 신호(r_k)를 수신하여 여기에 미리 정하여진 코드북을 순환적으로 사용하여 프리코딩(f_k)을 한 후 다시 송신하게 된다. 복수의 릴레이(120)에서 송신된 신호(x_k)는 다시 독립된 전달 함수(g_k)를 가지는 각 경로를 따라서 전파되어 수신기(130)에서 각 신호의 합(y)을 수신하게 된다.

[0027] 이에 따라, 상기 수신기(130)가 수신하게 되는 신호(y)는 아래의 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

$$
\begin{aligned}
y &= \sum_{k=1}^{K} g_k x_k + w \\
&= \sqrt{\frac{P_R}{P_T+1}} \sum_{k=1}^{K} g_k f_k \left(\sqrt{P_T} h_k s + n_i \right) + w \\
&= \sqrt{\frac{P_T P_R}{P_T+1}} \left[h_1 g_1 \;\; h_2 g_2 \;\; \cdots \;\; h_K g_K \right] \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_K \end{bmatrix} s + z \\
&= \sqrt{\frac{P_T P_R}{P_T+1}} \mathbf{h}^T \mathbf{f}\, s + z
\end{aligned}
$$

[0028]

[0029] 여기서, $\mathbf{h} = [h_1 g_1 \;\; h_2 g_2 \;\; \cdots h_K g_K]^T$, $z = \sqrt{\frac{P_R}{P_T+1}} \sum_{k=1}^{K} g_k f_k n_i + w$

[0030] 상기 수학식 1에서 알 수 있는 바와 같이, 수신 신호(y)는 송신 신호(s)에 대한 각 채널의 전달 함수 h_k와 g_k 및 각 릴레이(120)에서의 프리코딩을 위한 코딩값 f_k에 의한 선형 함수들의 합으로서 표현될 수 있다. 이때, 상기 코딩값 f_k로서 미리 정하여진 코드북의 코드값들을 순환적으로 사용함으로써 코딩 구조가 간단해지고, 이에 따른 수신 신호(y)의 구성도 단순해 질 수 있게 되어, 안테나 숫자가 3개 이상으로 늘어나더라도 부호 행렬(codeword matrix)의 직교 설계(orthogonal design)가 어려워지거나, 수신단의 복잡도가 늘어나는 문제를 해결할 수 있고, 더 나아가, 복수의 전송 시간 단위(time slot)이 아닌 한번의 전송 단위 시간에 걸쳐 단위 심볼을 주고 받게 되므로, 채널이 각 전송 시간 단위(time slot)에 대하여 유사 정적(quasi-static)인 특성을 가질 필요가 없으며, 한번에 단위 심볼을 디코딩(single symbol decodability)할 수 있게 되는 등의 장점을 가질 수 있다.

[0031] 상기한 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 릴레이 통신 시스템(100)은 릴레이(120)가 무선 신호를 수신하여 재전송함에 있어, 채널 정보와 상관없이 각 릴레이(120)가 미리 정하여진 코드북을 순환적으로 사용하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있도록 하게 되며, 이에 따라 공간적인 다이버시티 이득이 시간적인 다이버시티 이득으로 전환되고, 종래의 비트 인터리브 코드 변조(Bit Interleaved Coded Modulation, BICM)에 의한 채널 코딩과 인터리버 구조를 이용하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있게 된다.

[0032] 더 나아가, 상기 릴레이(120)가 K개 존재하는 경우(K≥2), 상기 코드북은 순환적으로 사용되는 복수개의 $W_k = [W_{k,1} \;\; W_{k,2} \;\; \ldots \;\; W_{k,K}]^T$값을 포함하여 이루어질 수 있고, 이때 상기 복수의 릴레이(120)에서 프리코딩을 수행함에 있어,상기 W_k의 각 원소값을 상기 무선 신호의 복소 신호에 곱하여 주는 방식으로 수행할 수 있다.

[0033] 보다 구체적으로는, 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템(100)이 2개

$$w_k \in \left\{ \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{i}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-i}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \right\}$$

의 릴레이(120)를 포함하여 구성되는 경우, 상기 코드북은 4개의 로 이루어질 수 있다. 따라서, 첫번째 심볼에 대한 전송시에 제1 릴레이(120)에서는 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 의 코드값을 사용하여 프리코딩을 행하게 되고, 제2릴레이(120)에서는 의 $\frac{-1}{\sqrt{2}}$ 코드값을 사용하여 프리코딩을 행하게 된다. 이어서, 두번째 심볼에 대한 전송시에는 제1 릴레이(120)에서 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 의 코드값을 사용하여 프리코딩을 행하게 되고, 제2릴레이(120)에서 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 의 코드값을 사용하여 프리코딩을 행하게 된다. 이처럼 미리 정하여진 코드북의 w_k값을 순환적으로 사용하여 각 릴레이(120)에서 프리코딩을 실시하게 된다.

[0034] 더 나아가, 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템(100)이 K개의 릴레이(120)를 포함하여 구성되는 경우에는, 상기 코드북은 4K개의 w_k 로 이루어지며, 상기 w_k 를 구성함에 있어서, K×1의 영행렬의 1행, 2행에 $\left\{ \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{i}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-i}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \right\}$ 의 각 행렬의 원소값을 대입하여 4개의 w_k 를 구성한 후, 이어서, K×1의 영행렬의 2행, 3행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성하며, 다시, 행을 하나씩 내려가면서 K행과 1행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성할 때까지 반복하여 상기 코드북을 구성할 수 있다.

[0035] 예를 들어, 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템(100)이 4개의 릴레이(120)를 포함하여 구성되는 경우, 상기 코드북은 16개의

$$w_k \in \left\{ \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{j}{\sqrt{2}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-j}{\sqrt{2}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{j}{\sqrt{2}} \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-j}{\sqrt{2}} \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{j}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-j}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{-1}{\sqrt{2}} \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{j}{\sqrt{2}} \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{-j}{\sqrt{2}} \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \right\}$$

[0036] 로 이루어질 수 있다. 이에 따라, 상기와 같은 16개의 w_k 를 순환적으로 사용하면서 각 릴레이(120)에서 프리코딩을 시행할 수 있다.

[0037] 본 발명의 다른 측면에 따른 무선 릴레이 통신 방법은 (a) 송신기(110)가 무선 신호를 송출하는 단계(S210) (b) 릴레이(120)가 상기 무선 신호를 수신하여, 미리 산정된 코드북의 코드값을 순환적으로 적용하면서 상기 무선 신호를 프리코팅한 후 다시 송출하는 단계(S220) 및 (c) 수신기(130)가 상기 복수의 릴레이(120)로부터 송출된 무선 신호를 수신하는 단계(S230)를 포함하여 구성될 수 있다.

[0038] 여기서, 상기 (b) 단계에서 상기 릴레이(120)가 K개 존재하는 경우(K≥2), 상기 코드북은 순환적으로 사용되는 복수개의 $w_k = [w_{k,1}\ w_{k,2}\ \ldots\ w_{k,K}]^T$값을 포함하여 이루어지고, 또한 상기 복수의 릴레이(120)는 상기 w_k의 각 원소값을 사용하여 프리코딩을 하게 된다.

[0039] 또한, 이때, 상기 릴레이(120)가 2개 존재하는 경우에는, 상기 코드북은 4개의

$$w_k \in \left\{ \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{i}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{-i}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \right\}$$

로 이루어질 수 있고, 더 나아가, 상기 릴레이(120)가 K개 존재하는 경우에는

(K≥3), 앞서 살핀 경우와 같이 상기 코드북은 4K개의 w_k 로 이루어지며, 상기 w_k 를 구성함에 있어서, K×1의 영행렬의 1행, 2행에 $\left\{\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix},\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{1}{\sqrt{2}}\end{bmatrix},\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix},\begin{bmatrix}\frac{1}{\sqrt{2}}\\ \frac{-i}{\sqrt{2}}\end{bmatrix}\right\}$ 의 각 행렬의 원소값을 대입하여 4개의 w_k 를 구성한 후, 이어서, K×1의 영행렬의 2행, 3행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성하며, 다시, 행을 하나씩 내려가면서 K행과 1행에 대입하여 4개의 w_k 를 구성할 때까지 반복하여 상기 코드북을 구성할 수 있게 된다.

[0040] 도 3에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템(100)과 종래 시스템의 FER 특성 비교 그래프를 보여주고 있다. 도 3에서 볼 수 있듯이, 종래의 Alamouti 에 의한 시공간 블록 코드(Space-time block code)의 경우(K=2)를 본 발명에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템(100)(K=2)과 비교해 볼 때, 프레임 오류 비율(Frame Error Rate, FER)이 유사한 추세를 보여 주고 있고, 릴레이(120) 숫자가 4개인 경우의 분산 시공간 부호화 기법(DSTC)에 의한 경우와 본 발명에 의한 경우를 비교하는 경우는 거의 유사한 성능 특성을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

[0041] 또한, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템(100)의 릴레이(120) 숫자에 따른 BER 특성 그래프이다. 릴레이(120) 숫자가 늘어남에 따라 다이버시티 이득이 개선되면서 비트 에러 비율(Bit Error Rate, BER) 특성이 점차 좋아지다가 릴레이(120) 숫자가 8개를 넘어서면서 특성 개선이 포화되는 것을 알 수 있다.

[0042] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서 본 발명에 기재된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의해서 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0043] 100 : 순환 프리코딩을 이용한 무선 릴레이 통신 시스템

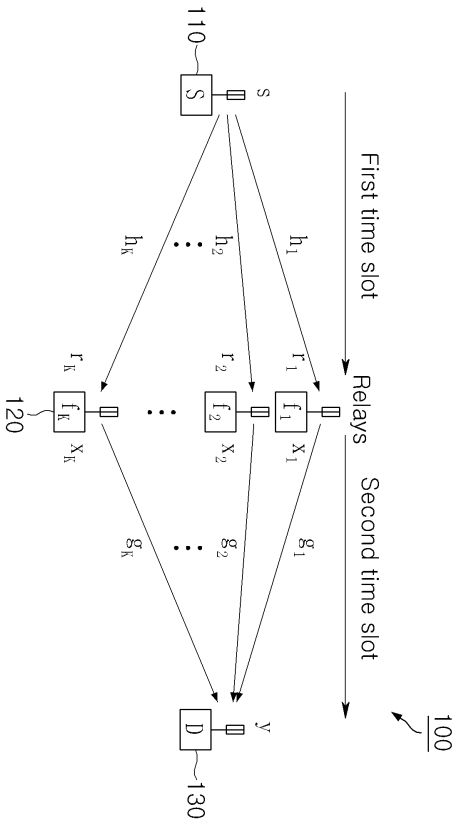
110 : 송신기

120 : 릴레이

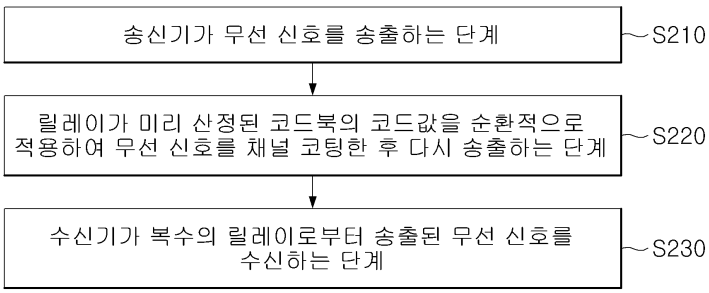
130 : 수신기

도면

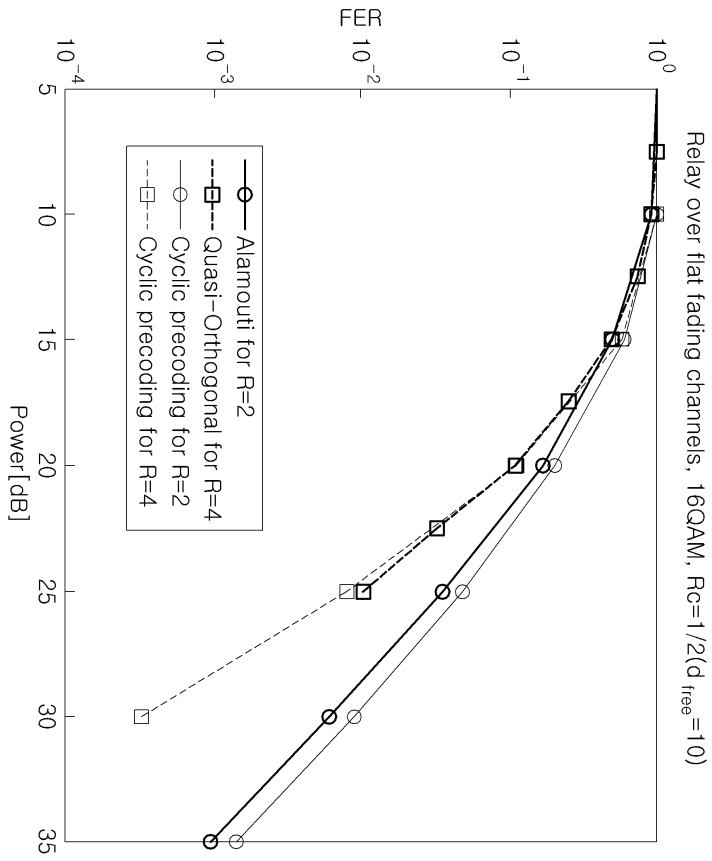
도면1


110
S
s
First time slot
Relays
Second time slot
120
100
130
D
y

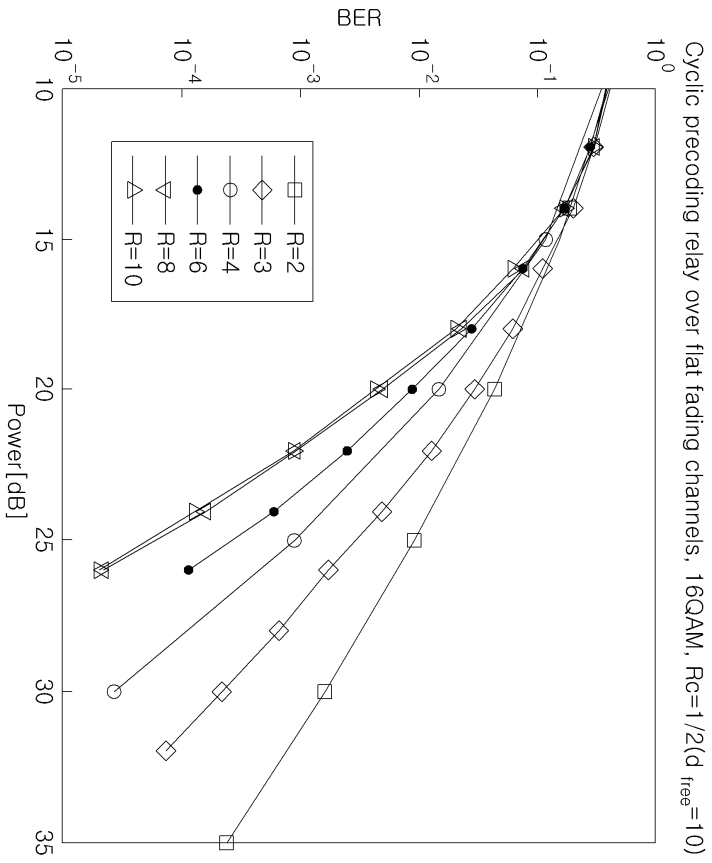
도면2


송신기가 무선 신호를 송출하는 단계
S210
릴레이가 미리 산정된 코드북의 코드값을 순환적으로 적용하여 무선 신호를 채널 코팅한 후 다시 송출하는 단계
S220
수신기가 복수의 릴레이로부터 송출된 무선 신호를 수신하는 단계
S230

도면3


FER
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
5
10
15
20
25
30
35
Power[dB]
Relay over flat fading channels, 16QAM, Rc=1/2(d_{free}=10)
Alamouti for R=2
Quasi-Orthogonal for R=4
Cyclic precoding for R=2
Cyclic precoding for R=4

도면4


Cyclic precoding relay over flat fading channels, 16QAM, Rc=1/2(d free=10)
BER
Power[dB]
R=2
R=3
R=4
R=6
R=8
R=10