



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년09월10일
(11) 등록번호 10-2301131
(24) 등록일자 2021년09월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 25/02 (2006.01) H04B 7/0456 (2017.01)
H04B 7/06 (2017.01) H04J 13/00 (2011.01)
H04L 25/03 (2006.01) H04L 27/26 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H04L 25/0204 (2013.01)
H04B 7/0456 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0056046

(22) 출원일자 2021년04월29일

심사청구일자 2021년04월29일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020160100806 A*

KR102072751 B1*

US20200373983 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

송형규

경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 320-303(서현동, 한양아파트)

이원석

서울특별시 광진구 동일로42길 10 106호

정지성

서울특별시 노원구 공릉로27길 110, 101-607(공릉동, 현대 성우아파트)

(74) 대리인

이강민, 안준형, 남승희

전체 청구항 수 : 총 20 항

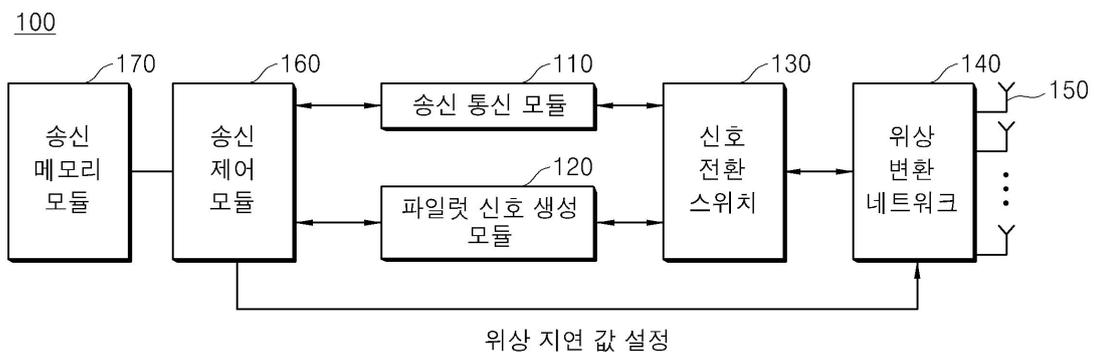
심사관 : 황철규

(54) 발명의 명칭 **빔포밍을 위한 다중 안테나 채널 추정 장치 및 그 방법**

(57) 요약

본 발명은 단일 채널 추정만이 가능한 통신 시스템에서 빔포밍을 수행하기 위한 다중 안테나 채널 추정 장치 및 방법에 관한 것으로서, 송신기에서 Zadoff-Chu 수열 기반의 파일럿 신호들을 생성하여 수신기로 송신하고, 수신기에서 상기 파일럿 신호를 기반으로 채널을 추정하여, 추정된 채널 정보를 바탕으로 빔포밍을 위한 정보를 송신기에 피드백 하며, 송신기에서 상기 피드백 받은 정보에 따라 각 안테나마다의 신호 위상을 변환 설정하여 빔포밍을 가능하게 하도록 구성된 빔포밍을 위한 채널 추정 장치 및 방법에 관한 것이다.

대표도



(52) CPC특허분류

- H04B 7/0617* (2013.01)
- H04J 13/0062* (2013.01)
- H04L 25/0224* (2013.01)
- H04L 25/03343* (2013.01)
- H04L 27/2646* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|-------------|-------------------------|
| 과제고유번호 | 1711075702 |
| 과제번호 | 2018-0-01423-001 |
| 부처명 | 과학기술정보통신부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 정보통신기술진흥센터 |
| 연구사업명 | 대학ICT연구센터육성지원사업 |
| 연구과제명 | 지능형 비행로봇 융합기술 연구 |
| 기 여 율 | 1/2 |
| 과제수행기관명 | 세종대학교산학협력단 |
| 연구기간 | 2021.01.01 ~ 2021.12.31 |

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|-------------|-------------------------|
| 과제고유번호 | 1345321135 |
| 과제번호 | 2020R1A6A1A03038540 |
| 부처명 | 교육부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단 |
| 연구사업명 | 이공학학술연구기반구축(R&D) |
| 연구과제명 | 자율지능무인비행체연구소 |
| 기 여 율 | 1/2 |
| 과제수행기관명 | 세종대학교 |
| 연구기간 | 2021.03.01 ~ 2022.02.28 |

명세서

청구범위

청구항 1

단일 안테나 기반의 표준을 이용한 통신 시스템에서 빔포밍을 수행하기 위한 채널 추정 장치에 있어서,
적어도 둘 이상의 송신 안테나를 구비하며, 상기 구비된 송신 안테나 수와 동일한 수의 소정의 송신 파일럿 신호를 생성하여 수신기로 송신하고, 그 파일럿 신호들에 대응하는 위상 변환 정보를 수신기로부터 피드백 받아, 상기 피드백 받은 상기 위상 변환 정보를 이용하여 각 송신 안테나마다의 신호 위상을 조절하는 송신기; 및

단일 수신 안테나를 구비하며, 송신기로부터 전송되는 송신 파일럿 신호들에 기반하여 빔포밍을 위한 채널을 추정하고, 추정된 채널 정보와 미리 저장된 코드북을 바탕으로 송신기에서 적용할 최적의 프리코딩 벡터를 검출하여 그에 해당하는 위상 변환 정보를 송신기로 피드백 하는 수신기;

를 포함하여 구성되며,

상기 송신기는,

소정의 빔포밍 정보를 포함하는 프레임을 생성하여, 생성된 프레임을 위상 변환 네트워크를 통해 다중 송신 안테나로 전달하는 송신 통신 모듈;

송신 제어 모듈로부터의 소정의 신호 생성 매개변수를 바탕으로 자도프추(zadoff-chu) 수열을 생성하고, 생성된 자도프추(zadoff-chu) 수열을 이용하여 상기 송신기에 구비된 송신 안테나 수와 동일한 수의 소정의 송신 파일럿 신호를 생성하는 파일럿 신호 생성 모듈;

상기 송신 통신 모듈 및 파일럿 신호 생성 모듈과 위상 변환 네트워크 사이에 구성되어, 송신 제어 모듈의 제어에 따라 위상 변환 네트워크에 상기 송신 통신 모듈 또는 상기 파일럿 신호 생성 모듈을 연결하는 신호 전환 스위치;

상기 송신 안테나들 각각에 대응하는 위상 변환기들을 포함하며, 상기 신호 전환 스위치를 통해 연결되는 상기 송신 통신 모듈 또는 상기 파일럿 신호 생성 모듈로부터의 출력 신호를 연결된 상기 다중 송신 안테나로 전달하는 위상 변환 네트워크;

상기 위상 변환 네트워크에 연결되어, 상기 위상 변환 네트워크로부터 전달되는 출력 신호를 수신기로 방사하는 다중 송신 안테나; 및

상기 송신 통신 모듈, 파일럿 신호 생성 모듈 및 신호 전환 스위치의 제어를 통해 상기 파일럿 신호 생성 모듈에서 생성된 송신 파일럿 신호들에 대응하는 위상 변환 정보를 상기 수신기로부터 획득하고, 획득한 위상 변환 정보를 이용하여 상기 위상 변환 네트워크의 각 신호의 위상 지연을 조절하는 송신 제어 모듈;

을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 파일럿 신호 생성 모듈은,

상기 송신 제어 모듈로부터 소정의 신호 생성 매개변수를 전달 받아, 이를 바탕으로 아래의 (수학식 1)에 의해 자도프추(zadoff-chu) 수열을 생성하는 자도프추 수열 생성 모듈;

상기 자도프추 수열 생성 모듈에서 생성된 자도프추(zadoff-chu) 수열을 기반으로, 아래의 (수학식 2)에 의해 상기 위상 변환 네트워크에 연결된 송신 안테나 수와 동일한 수의 송신 파일럿 신호들을 생성하는 송신 파일럿 신호 생성 모듈;

을 포함하여 구성되며,

상기 생성된 송신 파일럿 신호들을 상기 신호 전환 스위치를 통해 위상 변환 네트워크로 전달하는 것;
 을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

(수학식 1)

$$z_c(k) = e^{-j\pi q \frac{k(k+1)}{N_{zc}}} , k=0,1,2,\dots,N_{zc}-1$$

($z_c(k)$) : 신호 생성 매개변수를 바탕으로 생성된 z adoff-chu 수열, k : 수열의 샘플 순서, N_{zc} : 생성되는 수열의 길이, q : 수열의 특징을 결정하는 변수로 N_{zc} 보다 작은 소수(prime number)를 이용)

(수학식 2)

$$p_n(k) = z_c(\{k - n \lfloor N_{zc}/N_{tx} \rfloor\} \bmod N_{zc}), k=0,1,\dots,N_{zc}-1, n=0,1,\dots,N_{tx}-1$$

($p_n(k)$) : z adoff-chu 수열을 기반으로 생성한 n번째 송신 안테나의 송신 파일럿 신호, $\lfloor \cdot \rfloor$: 내림 연산, N_{tx} : 위상 변환 네트워크에 연결되어 있는 송신 안테나의 총 개수)

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 송신 제어 모듈은,

자도프추(zadoff-chu) 수열을 생성하기 위한 소정의 신호 생성 매개변수를 생성하여 상기 파일럿 신호 생성 모듈로 전달하는 신호 생성 매개변수 생성 모듈;

상기 신호 전환 스위치의 스위칭 동작을 제어하여, 상기 위상 변환 네트워크에 상기 파일럿 신호 생성 모듈을 연결시키거나 또는 상기 송신 통신 모듈을 연결시키는 신호 전환 스위치 제어 모듈;

상기 파일럿 신호 생성 모듈 및 상기 송신 통신 모듈에 의해 송신 파일럿 신호들 및 빔포밍 정보를 수신한 수신기로부터 그에 대응하는 위상 변환 정보를 전송 받아, 상기 위상 변환 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북으로부터 해당 프리코딩 벡터를 추출하는 프리코딩 벡터 추출 모듈; 및

상기 프리코딩 벡터 추출 모듈에서 추출된 프리코딩 벡터에 포함된 각 송신 안테나에 대응하는 위상 지연 값으로, 상기 위상 변환 네트워크의 위상 변환기들 각각의 위상 지연 값을 설정하는 위상 지연 값 설정 모듈;

을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 신호 전환 스위치 제어 모듈은,

통신 프로토콜이 개시되면, 상기 신호 전환 스위치로 파일럿 신호 생성 모듈 연결 신호를 출력하여 상기 위상 변환 네트워크에 상기 파일럿 신호 생성 모듈을 연결시키고,

상기 수신기로 송신 파일럿 신호들의 전송이 완료되면, 상기 신호 전환 스위치로 송신 통신 모듈 연결 신호를 출력하여 상기 위상 변환 네트워크에 상기 송신 통신 모듈을 연결시키는 것;

을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 송신기는,

아래의 (수학식 3)에 의해 계산되는 상기 위상 변환 네트워크에 연결되어 있는 각 송신 안테나마다의 위상 지연 값을 포함하는 프리코딩 벡터를 적어도 둘 이상 포함하는 코드북을 미리 저장하는 송신 메모리 모듈;

을 더 포함하여 구성되는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

(수학식 3)

$$w_i = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\theta_2(i)} \\ \vdots \\ e^{j\theta_{N_t}(i)} \end{bmatrix}$$

(w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 수신기는,

프레임의 동기화를 수행하여 상기 송신기에서 송신한 프레임에 포함된 소정의 빔포밍 정보를 획득하고, 획득한 빔포밍 정보를 이용하여 상기 송신기로부터의 송신 파일럿 신호들을 수신하는 수신 통신 모듈;

상기 수신 통신 모듈에서 획득한 상기 빔포밍 정보를 이용하여 상기 송신기의 빔포밍 사용이 확인된 경우, 상기 수신한 송신 파일럿 신호들을 바탕으로 수신 파일럿 신호들을 생성하여 상기 송신 파일럿 신호들과 상기 수신 파일럿 신호들을 이용하여 채널을 추정하는 채널 추정 모듈;

상기 채널 추정 모듈에서 추정된 채널 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 상기 송신기에서 적용할 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 최적 프리코딩 벡터 검출 모듈;

상기 수신 통신 모듈과 상기 단일 수신 안테나 사이에 구성되어, 상기 단일 수신 안테나에 대한 상기 수신 통신 모듈의 송수신 상태를 전환하는 송수신 전환 스위치;

상기 송수신 전환 스위치의 스위칭 동작을 제어하여 상기 수신 통신 모듈의 송수신 상태를 전환시키는 수신 제어 모듈;

아래의 (수학식 3)에 의해 계산되는 상기 송신기에 연결되어 있는 각 송신 각 송신 안테나마다의 위상 지연 값을 포함하는 프리코딩 벡터를 적어도 둘 이상 포함하는 코드북을 미리 저장하는 수신 메모리 모듈;

을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

(수학식 3)

$$w_i = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\theta_2(i)} \\ \vdots \\ e^{j\theta_{N_t}(i)} \end{bmatrix}$$

(w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 채널 추정 모듈은,

상기 수신 통신 모듈에서 획득한 상기 송신기로부터의 빔포밍 정보를 이용하여 수신 파일럿 신호들을 생성하는 수신 파일럿 신호 생성 모듈;

상기 수신 통신 모듈에서 수신한 상기 송신기로부터의 송신 파일럿 신호들과 상기 수신 파일럿 신호 생성 모듈에서 생성한 수신 파일럿 신호들을 이용하여, 아래의 (수학식 5)에 의한 채널 추정 연산을 수행하는 연산 모듈; 을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

(수학식 5)

$$\sum_{n=0}^{N-1} \frac{1}{\rho} y(n) p^H(n) = \tilde{h}_0^T$$

(\tilde{h}_0^T : 추정된 채널, ρ : 정규화를 위한 상수, $p^H(n)$: $p(n)$ 을 허미시안(Hermitian) 연산을 하여 얻은 값,

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l^T p(n-l), h_l \in \mathbb{C}^{N_s \times 1}, p(n) \in \mathbb{C}^{N_s \times 1}$$

: 단일 수신 안테나로부터 수신된 송신 파일럿 신호, $p(n)$.

각 송신 안테나의 송신 파일럿 신호의 샘플들을 포함하는 파일럿 벡터, h_l : 다중 경로 채널 중 l 번째 경로의 채널 벡터)

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 최적 프리코딩 벡터 검출 모듈에서 상기 추정된 채널 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 것은, 아래의 (수학식 6)에 의해 수행되는 것; 을 특징으로 하며,

상기 검출된 최적의 프리코딩 벡터에 해당하는 위상 변환 정보를, 상기 수신 통신 모듈을 통해 송신기로 전송하는 것; 을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

(수학식 6)

$$i_{out} = \underset{i}{\operatorname{argmax}} \tilde{h}_0^T w_i$$

(i_{out} : 최적의 프리코딩 벡터를 나타내는 코드북 번호, \tilde{h}_0^T : 추정된 채널, w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

청구항 10

제1항, 제7항 또는 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 최적의 프리코딩 벡터는,

상기 수신기에서 상기 송신기로부터의 송신 신호를 가장 높은 전력으로 수신할 수 있는 프리코딩 벡터인 것; 을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

청구항 11

제1항, 제7항 또는 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 소정의 빔포밍 정보는,

송신기의 빔포밍 사용 여부, 송신 안테나 수, 자도프추(zadoff-chu) 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 포함하는 것을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

청구항 12

제4항에 있어서,

상기 송신 제어 모듈은,

통신 프로토콜이 개시되는 최초 상태에서는, 상기 위상 변환 네트워크의 모든 위상 변환기들의 위상 지연 값을 미리 정해진 초기 위상 지연 값으로 설정하는 것; 을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

청구항 13

제1항, 제4항 또는 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 위상 변환 정보는,

상기 최적의 프리코딩 벡터에 해당하는 코드북 번호인 것; 을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 장치.

청구항 14

단일 안테나 기반의 표준을 이용한 통신 시스템에서 빔포밍을 수행하기 위한 채널 추정 방법에 있어서,

통신 프로토콜이 개시되면, 다중 송신 안테나가 연결되어 있는 송신기에서 위상 변환 네트워크에 구성되어 있는 모든 위상 변환기들의 위상 지연 값을 미리 정해진 초기 위상 지연 값으로 설정하는 초기 위상 지연 값 설정 단계;

송신기에서, 소정의 신호 생성 매개변수를 바탕으로 자도프추(zadoff-chu) 수열을 생성하고, 상기 생성된 자도프추(zadoff-chu) 수열을 이용하여 상기 다중 송신 안테나의 수와 동일한 수의 소정의 송신 파일럿 신호를 생성하는 파일럿 신호 생성 단계;

송신기에서, 상기 파일럿 신호 생성 단계에서 생성된 송신 파일럿 신호들을 수신기로 송신하는 파일럿 신호 송신 단계;

송신기에서, 소정의 빔포밍 정보를 포함하는 프레임을 생성하여 상기 위상 변환 네트워크를 통해 다중 송신 안테나로 전달하는 프레임 생성 단계;

단일 수신 안테나가 연결되어 있는 수신기에서, 프레임의 동기화를 통해 상기 프레임 생성 단계에서 송신기가 발생시킨 프레임에 포함된 빔포밍 정보를 획득하고, 상기 획득한 빔포밍 정보를 이용하여 상기 송신 파일럿 신호들을 수신하는 프레임 및 파일럿 신호 수신 단계;

수신기에서, 상기 프레임 및 파일럿 신호 수신 단계에서 획득한 빔포밍 정보로부터 송신기의 빔포밍 사용이 확인된 경우, 상기 수신한 송신 파일럿 신호들을 바탕으로 수신 파일럿 신호들을 생성하고 상기 송신 및 수신 파일럿 신호들을 이용하여 채널을 추정하는 채널 추정 단계;

수신기에서, 상기 채널 추정 단계에서 추정된 채널 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 송신기에서 적용할 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 최적 프리코딩 벡터 검출 단계;

수신기에서, 상기 최적 프리코딩 벡터 검출 단계에서 검출된 최적의 프리코딩 벡터에 해당하는 코드북 번호를 단일 수신 안테나를 통해 상기 송신기로 피드백 하는 코드북 번호 피드백 단계;

송신기에서, 상기 코드북 번호 피드백 단계를 통해 수신기로부터 피드백 받은 코드북 번호를 이용하여 미리 저장된 코드북으로부터 해당 프리코딩 벡터를 추출하고, 상기 추출된 프리코딩 벡터에 포함된 각 송신 안테나에 대응하는 위상 지연 값으로 각 송신 안테나마다의 신호 위상을 변환 설정하는 위상 지연 값 변환 설정 단계;

를 포함하여 구성되는 빔포밍을 위한 채널 추정 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 파일럿 신호 생성 단계는,

송신 통신 모듈 및 파일럿 신호 생성 모듈과 위상 변환 네트워크 사이에 구성되어 있는 신호 전환 스위치를 제어하여, 상기 위상 변환 네트워크에 상기 파일럿 신호 생성 모듈을 연결하는 스위치 제어 단계;

상기 스위치 제어 단계에 의해 위상 변환 네트워크에 상기 파일럿 신호 생성 모듈이 연결된 후, 소정의 신호 생성 매개변수를 바탕으로 아래의 (수학식 1)에 의해 자도프추(zadoff-chu) 수열을 생성하는 자도프추 수열 생성 단계;

상기 자도프추(zadoff-chu) 수열 생성 단계에서 생성된 자도프추(zadoff-chu) 수열을 기반으로 아래의 (수학식 2)에 의해 상기 송신 안테나의 수와 동일한 수의 송신 파일럿 신호들을 생성하는 송신 파일럿 신호 생성 단계;
를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 방법.

(수학식 1)

$$z_c(k) = e^{-j\pi \frac{k(k+1)}{N_{zc}}} , k=0, 1, 2, \dots, N_{zc}-1$$

($z_c(k)$) : 신호 생성 매개변수를 바탕으로 생성된 zadoff-chu 수열, k : 수열의 샘플 순서, N_{zc} : 생성되는 수열의 길이, Q : 수열의 특성을 결정하는 변수로 N_{zc} 보다 작은 소수(prime number)를 이용

(수학식 2)

$$p_n(k) = z_c(\{k-n \lfloor N_{zc}/N_{tx} \rfloor\} \bmod N_{zc}), k=0, 1, \dots, N_{zc}-1, n=0, 1, \dots, N_{tx}-1$$

($p_n(k)$) : zadoff-chu 수열을 기반으로 생성한 n번째 송신 안테나의 송신 파일럿 신호, $\lfloor \cdot \rfloor$: 내림 연산, N_{tx} : 위상 변환 네트워크에 연결되어 있는 송신 안테나의 총 개수)

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 프레임 및 파일럿 신호 수신 단계는,

프레임의 동기화를 통해 송신기로부터의 프레임의 시작 부분을 추정하여 빔포밍 정보를 획득하는 빔포밍 정보 획득 단계;

상기 빔포밍 정보 획득 단계에서 획득한 빔포밍 정보를 이용하여 상기 파일럿 신호 송신 단계에서의 송신 파일럿 신호들을 수신하는 송신 파일럿 신호 수신 단계;

를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 방법.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 채널 추정 단계는,

상기 송신기의 프레임으로부터 획득한 빔포밍 정보에 포함된 자도프추(zadoff-chu) 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 이용하여 수신 파일럿 신호들을 생성하는 수신 파일럿 신호 생성 단계;

상기 수신 파일럿 신호들을 생성한 후, 상기 송신기로부터의 송신 파일럿 신호들과 상기 생성한 수신 파일럿 신호들을 이용하여, 아래의 (수학식 5)에 의해 채널을 추정하는 연산을 수행하는 연산 단계;

를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 방법.

(수학식 5)

$$\sum_{n=0}^{N-1} \frac{1}{\rho} y(n) p^H(n) = \hat{h}_0^T$$

(\tilde{h}_0 : 추정된 채널, β : 정규화를 위한 상수, $p^H(n)$: $p(n)$ 을 허미시안(Hermitian) 연산을 하여 얻은 값,
 $y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l^T p(n-l)$, $h_l \in \mathbb{C}^{N_a \times 1}$, $p(n) \in \mathbb{C}^{N_a \times 1}$: 단일 수신 안테나로부터 수신된 송신 파일럿 신호, $p(n)$:

각 송신 안테나의 송신 파일럿 신호의 샘플들을 포함하는 파일럿 벡터, h_l : 다중 경로 채널 중 l 번째 경로의 채널 벡터)

청구항 18

제14항에 있어서,

상기 최적 프리코딩 벡터 검출 단계에서,

상기 추정된 채널 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 것은, 아래의 (수학식 6)에 의해 수행하는 것; 을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 방법.

(수학식 6)

$$i_{out} = \underset{i}{\operatorname{argmax}} h_0^T w_i$$

(i_{out} : 최적의 프리코딩 벡터를 나타내는 코드북 번호, \tilde{h}_0 : 추정된 채널, w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

청구항 19

제14항 또는 제18항에 있어서,

상기 최적의 프리코딩 벡터는,

상기 수신기에서 상기 송신기로부터의 송신 신호를 가장 높은 전력으로 수신할 수 있는 프리코딩 벡터인 것; 을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 방법.

청구항 20

제14항, 제16항 또는 제17항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 소정의 빔포밍 정보는,

송신기의 빔포밍 사용 여부, 송신 안테나 수, 자도프추(zadoff-chu) 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 포함하는 것을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 방법.

청구항 21

제14항 또는 제18항에 있어서,

상기 코드북은,

아래의 (수학식 3)에 의해 계산되는 상기 송신기에 연결되어 있는 각 송신 안테나마다의 위상 지연 값을 포함하는 프리코딩 벡터를 적어도 둘 이상 포함하는 것; 을 특징으로 하는 빔포밍을 위한 채널 추정 방법.

(수학식 3)

$$w_i = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\theta_{N_2(i)}} \\ \vdots \\ e^{j\theta_{N_c(i)}} \end{bmatrix}$$

(w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 빔포밍을 위한 다중 안테나 채널 추정 장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 단일 수신 안테나 기반의 표준을 이용한 통신 시스템에서 빔포밍을 수행하기 위한 Zadoff-chu 수열 기반의 다중 안테나 채널 추정 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 현대의 무선 통신 기술은 다양한 응용에 사용되고 있으며 사용량 또한 꾸준히 증가하여 기존의 무선 통신에 사용되던 3 GHz이하의 주파수 대역은 포화 상태에 이르고 있다. 이에, 최근에는 주파수 대역의 포화상태로 인한 대역폭 부족 현상을 해결하기 위해 3 GHz보다 높은 밀리미터 대역의 주파수 영역을 이용하기 위한 기술들이 활발하게 연구되고 있다.

[0003] 밀리미터 대역의 신호에 발생하는 높은 경로 손실을 보완하기 위해 연구되는 기술 중 하나로서, 송신기의 송신 신호의 전력을 수신기에서 높게 수신할 수 있도록 송신 안테나의 빔을 특정한 각도/위치의 방향으로 집중시켜 주는 빔포밍 기술이 존재한다.

[0004] 이러한 빔포밍의 구현 방법은, 크게 기계적인 방법과 신호처리를 이용한 방법으로 나뉜다. 기계적인 빔포밍은 한 방향으로 강하게 전파를 방사하거나 수신하는 지향성 안테나를 이용하는 방법으로서, 안테나 중 지향성이 강한 안테나를 기계적으로 회전하여 원하는 방향으로 강한 전파가 방사되거나 수신되도록 한다. 신호처리를 이용한 빔포밍은, 지향성이 강하지 않은 다수의 안테나를 이용하여 다수의 안테나로 전파 또는 수신되는 신호들에 위상 차이를 발생시켜 전파를 증폭하는 방법이다. 보다 구체적으로, 다수의 안테나로부터 방사된 동일한 신호는 신호 간 위상 차이로 인해 특정한 방향에서 같은 위상으로 합해져 방사되고, 동일한 위상의 신호의 합으로 전파의 전력은 안테나 수에 비례하여 강해진다. 전파를 수신하는 측에서도 다수의 안테나로 수신되는 전파 간 위상 차이로 같은 현상이 발생하여 수신 측은 특정 각도/위치에서 높은 전력의 신호를 수신할 수 있다.

[0005] 이와 같이 송신 신호의 전력을 수신 측의 원하는 각도/위치로 전력을 집중 시켜주는 빔포밍을 하기 위해서는, 채널 추정을 이용하여야 한다. 채널 추정이란 시스템에서 신호가 전송되는 물리적인 채널로 인해 왜곡되는 현상을 측정하여 신호를 복원하기 위한 정보를 얻는 기술로서, 일반적으로 송신 측과 수신 측이 파일럿 신호를 전송하여 왜곡된 정보를 측정하는 방법을 이용한다. 파일럿 신호는 송신 측과 수신 측 간에 미리 약속된 신호를 말한다. 파일럿 신호로부터 측정된 채널 정보는 유사한 시간과 주파수 그리고 공간 영역으로 전송된 신호를 복원하는 데에 사용되며, 이는 송신 측에서 미리 보상하여 전송하는 방법과 수신 측에서 왜곡된 신호를 보상하는 방법으로 수행될 수 있다. 다수의 안테나를 사용하여 서로 다른 신호를 전송하는 통신 시스템은 모든 송수신 안테나 간 채널 정보를 알아야 한다. 이를 위해 각 송수신 안테나 쌍 간에는 서로 분리 가능한 방법으로 파일럿 신호를 전송한다. 4세대 이동통신 기술인 LTE에서는 다수의 안테나로 전송되는 파일럿 신호를 시간과 주파수 영역으로 분리하여 전송하는 방법을 이용하였으며, 최근 표준화가 완료된 5세대 이동통신 기술인 NR(New Radio)에서는 두 방법에 직교 코드를 이용한 방법을 더하여 파일럿 신호를 전송한다.

[0006] 하지만, 현재 사용되는 무선 통신 표준들 중에는 빔포밍을 적용하는 것이 고려되지 않고 설계된 표준들이 존재한다. 대표적으로 방송 통신을 위한 표준인 ATSC(Advanced Television Systems Committee), DVB(Digital Video Broadcasting)와 차량 등의 이동체 간 통신을 위한 표준인 802.11p가 있다. 해당 표준들은 단일 수신 안테나 전송만을 고려하기 때문에 하나의 안테나를 통한 채널만을 추정하기 위해 파일럿 신호가 전송된다. 최근에는 많은 통신 시스템의 전송 채널이 대역폭의 부족 문제로 인해 3GHz 이상의 주파수 대역으로 이동하고 있기 때문에, 방

송과 차량 또는 무인 이동체 간의 통신 시스템 또한 넓은 대역폭의 확보를 위해 밀리미터 대역으로 이동할 가능성이 있다.

[0007] 그러나, 다중 안테나 채널을 위한 채널 추정 기술을 제공하지 않는 통신 표준의 경우, 채널 추정이 되지 않아 경로 손실 문제를 해결하기 위한 빔포밍 기술을 적용하기 어렵다는 문제점이 있다.

[0008] (특허문헌 1) KR10-1888162 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하고자 하는 것으로서, 단일 수신 안테나 채널 추정만이 가능한 통신 시스템에서 빔포밍을 수행하기 위한 다중 안테나 채널 추정 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명에 따른 단일 안테나 기반의 표준을 이용한 통신 시스템에서 빔포밍을 수행하기 위한 채널 추정 장치는, 적어도 둘 이상의 송신 안테나를 구비하며, 상기 구비된 송신 안테나 수와 동일한 수의 소정의 송신 파일럿 신호를 생성하여 수신기로 송신하고, 그 파일럿 신호들에 대응하는 위상 변환 정보를 수신기로부터 피드백 받아, 상기 피드백 받은 상기 위상 변환 정보를 이용하여 각 송신 안테나마다의 신호 위상을 조절하는 송신기; 및 단일 수신 안테나를 구비하며, 송신기로부터 전송되는 송신 파일럿 신호들에 기반하여 빔포밍을 위한 채널을 추정하고, 추정된 채널 정보와 미리 저장된 코드북을 바탕으로 송신기에서 적용할 최적의 프리코딩 벡터를 검출하여 그에 해당하는 위상 변환 정보를 송신기로 피드백 하는 수신기; 를 포함하여 구성된다.

[0011] 구체적으로, 상기 송신기는, 소정의 빔포밍 정보를 포함하는 프레임 생성하여, 생성된 프레임을 위상 변환 네트워크를 통해 다중 송신 안테나로 전달하는 송신 통신 모듈; 송신 제어 모듈로부터의 소정의 신호 생성 매개변수를 바탕으로 자도프추(zadoff-chu) 수열을 생성하고, 생성된 자도프추(zadoff-chu) 수열을 이용하여 상기 송신기에 구비된 송신 안테나 수와 동일한 수의 소정의 송신 파일럿 신호를 생성하는 파일럿 신호 생성 모듈; 상기 송신 통신 모듈 및 파일럿 신호 생성 모듈과 위상 변환 네트워크 사이에 구성되어, 송신 제어 모듈의 제어에 따라 위상 변환 네트워크에 상기 송신 통신 모듈 또는 상기 파일럿 신호 생성 모듈을 연결하는 신호 전환 스위치; 상기 송신 안테나들 각각에 대응하는 위상 변환기들을 포함하며, 상기 신호 전환 스위치를 통해 연결되는 상기 송신 통신 모듈 또는 상기 파일럿 신호 생성 모듈로부터의 출력 신호를 연결된 상기 다중 송신 안테나로 전달하는 위상 변환 네트워크; 상기 위상 변환 네트워크에 연결되어, 상기 위상 변환 네트워크로부터 전달되는 출력 신호를 수신기로 방사하는 다중 송신 안테나; 및 상기 송신 통신 모듈, 파일럿 신호 생성 모듈 및 신호 전환 스위치의 제어를 통해 상기 파일럿 신호 생성 모듈에서 생성된 송신 파일럿 신호들에 대응하는 위상 변환 정보를 상기 수신기로부터 획득하고, 획득한 위상 변환 정보를 이용하여 상기 위상 변환 네트워크의 각 신호의 위상 지연을 조절하는 송신 제어 모듈; 을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0012] 상기 파일럿 신호 생성 모듈은, 상기 송신 제어 모듈로부터 소정의 신호 생성 매개변수를 전달 받아, 이를 바탕으로 아래의 (수학식 1)에 의해 자도프추(zadoff-chu) 수열을 생성하는 자도프추 수열 생성 모듈; 상기 자도프추 생성 모듈에서 생성된 자도프추(zadoff-chu) 수열을 기반으로, 아래의 (수학식 2)에 의해 상기 위상 변환 네트워크에 연결된 송신 안테나 수와 동일한 수의 송신 파일럿 신호들을 생성하는 송신 파일럿 신호 생성 모듈; 을 포함하여 구성되며, 상기 생성된 송신 파일럿 신호들을 상기 신호 전환 스위치를 통해 위상 변환 네트워크로 전달하는 것; 을 특징으로 한다.

[0013] (수학식 1)

[0014]
$$z_q(k) = e^{-j\pi q \frac{k(k+1)}{N_{zc}}} , k=0, 1, 2, \dots, N_{zc}-1$$

[0015] ($z_q(k)$): 신호 생성 매개변수를 바탕으로 생성된 zadoff-chu 수열, k : 수열의 샘플 순서, N_{zc} : 생성되는 수열의 길이, q : 수열의 특징을 결정하는 변수로 보다 작은 소수(prime number)를 이용)

[0016] (수학식 2)

$$p_n(k) = z_n \left(\left\{ k - n \lfloor N_{sc} / N_{tx} \rfloor \right\} \bmod N_{sc} \right), \quad k=0,1,\dots,N_{sc}-1, \quad n=0,1,\dots,N_{tx}-1$$

[0017] $p_n(k)$: z-adoff-chu 수열을 기반으로 생성한 n번째 송신 안테나의 송신 파일럿 신호, $\lfloor \cdot \rfloor$: 내림 연산,
 [0018] N_{tx} : 위상 변환 네트워크에 연결되어 있는 송신 안테나의 총 개수)

[0019] 한편, 상기 송신 제어 모듈은, 자도프추(zadoff-chu) 수열을 생성하기 위한 소정의 신호 생성 매개변수를 생성하여 상기 파일럿 신호 생성 모듈로 전달하는 신호 생성 매개변수 생성 모듈; 상기 신호 전환 스위치의 스위칭 동작을 제어하여, 상기 위상 변환 네트워크에 상기 파일럿 신호 생성 모듈을 연결시키거나 또는 상기 송신 통신 모듈을 연결시키는 신호 전환 스위치 제어 모듈; 상기 파일럿 신호 생성 모듈 및 상기 송신 통신 모듈에 의해 송신 파일럿 신호들 및 빔포밍 정보를 수신한 수신기로부터 그에 대응하는 위상 변환 정보를 전송 받아, 상기 위상 변환 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북으로부터 해당 프리코딩 벡터를 추출하는 프리코딩 벡터 추출 모듈; 및 상기 프리코딩 벡터 추출 모듈에서 추출된 프리코딩 벡터에 포함된 각 송신 안테나에 대응하는 위상 지연 값으로, 상기 위상 변환 네트워크의 위상 변환기들 각각의 위상 지연 값을 설정하는 위상 지연 값 설정 모듈; 을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0020] 여기서, 상기 신호 전환 스위치 제어 모듈은, 통신 프로토콜이 개시되면, 상기 신호 전환 스위치로 파일럿 신호 생성 모듈 연결 신호를 출력하여 상기 위상 변환 네트워크에 상기 파일럿 신호 생성 모듈을 연결시키고, 상기 수신기로 송신 파일럿 신호들의 전송이 완료되면, 상기 신호 전환 스위치로 송신 통신 모듈 연결 신호를 출력하여 상기 위상 변환 네트워크에 상기 송신 통신 모듈을 연결시키는 것; 을 특징으로 한다.

[0021] 한편, 상기 수신기는, 아래의 (수학식 3)에 의해 계산되는 상기 위상 변환 네트워크에 연결되어 있는 각 송신 안테나마다의 위상 지연 값을 포함하는 프리코딩 벡터를 적어도 둘 이상 포함하는 코드북을 미리 저장하는 송신 메모리 모듈; 을 더 포함하여 구성된다.

[0022] (수학식 3)

$$w_i = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\beta_2(i)} \\ \vdots \\ e^{j\beta_{N_t}(i)} \end{bmatrix}$$

[0023] w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

[0024] 한편, 상기 수신기는, 프레임의 동기화를 수행하여 상기 송신기에서 송신한 프레임에 포함된 소정의 빔포밍 정보를 획득하고, 획득한 빔포밍 정보를 이용하여 상기 송신기로부터의 송신 파일럿 신호들을 수신하는 수신 통신 모듈; 상기 수신 통신 모듈에서 획득한 상기 빔포밍 정보를 이용하여 상기 송신기의 빔포밍 사용이 확인된 경우, 상기 수신한 송신 파일럿 신호들을 바탕으로 수신 파일럿 신호들을 생성하여 상기 송신 파일럿 신호들과 상기 수신 파일럿 신호들을 이용하여 채널을 추정하는 채널 추정 모듈; 상기 채널 추정 모듈에서 추정된 채널 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 상기 송신기에서 적용할 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 최적 프리코딩 벡터 검출 모듈; 상기 수신 통신 모듈과 상기 단일 수신 안테나 사이에 구성되어, 상기 단일 수신 안테나에 대한 상기 수신 통신 모듈의 송수신 상태를 전환하는 송수신 전환 스위치; 상기 송수신 전환 스위치의 스위칭 동작을 제어하여 상기 수신 통신 모듈의 송수신 상태를 전환시키는 수신 제어 모듈; 아래의 (수학식 3)에 의해 계산되는 상기 송신기에 연결되어 있는 각 송신 각 송신 안테나마다의 위상 지연 값을 포함하는 프리코딩 벡터를 적어도 둘 이상 포함하는 코드북을 미리 저장하는 수신 메모리 모듈; 을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0025] (수학식 3)

$$w_i = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\theta_{N_c(i)}} \\ \vdots \\ e^{j\theta_{N_c(i)}} \end{bmatrix}$$

[0027]

[0028] (w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

[0029] 구체적으로, 상기 채널 추정 모듈은, 상기 수신 통신 모듈에서 획득한 상기 송신기로부터의 빔포밍 정보를 이용하여 수신 파일럿 신호들을 생성하는 수신 파일럿 신호 생성 모듈; 상기 수신 통신 모듈에서 수신한 상기 송신기로부터의 송신 파일럿 신호들과 상기 수신 파일럿 신호 생성 모듈에서 생성한 수신 파일럿 신호들을 이용하여, 아래의 (수학식 5)에 의한 채널 추정 연산을 수행하는 연산 모듈; 을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0030] (수학식 5)

$$\sum_{n=0}^{N-1} \frac{1}{\rho} y(n) p^H(n) = \tilde{h}_0^T$$

[0031]

[0032] (\tilde{h}_0^T : 추정된 채널, ρ : 정규화를 위한 상수, $p^H(n)$: $p(n)$ 을 허미시안(Hermitian) 연산을 하여 얻은 값,

$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l^T p(n-l)$, $h_l \in \mathbb{C}^{N_a \times 1}$, $p(n) \in \mathbb{C}^{N_a \times 1}$: 단일 수신 안테나로부터 수신된 송신 파일럿 신호, $p(n)$: 각

송신 안테나의 송신 파일럿 신호의 샘플들을 포함하는 파일럿 벡터, h_l : 다중 경로 채널 중 l 번째 경로의 채널 벡터)

[0033] 한편, 상기 최적 프리코딩 벡터 검출 모듈에서 상기 추정된 채널 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 것은, 아래의 (수학식 6)에 의해 수행되는 것; 을 특징으로 하며, 상기 검출된 최적의 프리코딩 벡터에 해당하는 위상 변환 정보를, 상기 수신 통신 모듈을 통해 송신기로 전송하는 것; 을 특징으로 한다.

[0034] (수학식 6)

$$i_{out} = \underset{i}{\operatorname{argmax}} \tilde{h}_0^T w_i$$

[0035]

[0036] (i_{out} : 최적의 프리코딩 벡터를 나타내는 코드북 번호, \tilde{h}_0^T : 추정된 채널, w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

[0037] 여기서, 상기 최적의 프리코딩 벡터는, 상기 수신기에서 상기 송신기로부터의 송신 신호를 가장 높은 전력으로 수신할 수 있는 프리코딩 벡터인 것; 을 특징으로 한다.

[0038] 한편, 상기 소정의 빔포밍 정보는, 송신기의 빔포밍 사용 여부, 송신 안테나 수, 자도프추(zadoff-chu) 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0039] 한편, 상기 송신 제어 모듈은, 통신 프로토콜이 개시되는 최초 상태에서는, 상기 위상 변환 네트워크의 모든 위상 변환기들의 위상 지연 값을 미리 정해진 초기 위상 지연 값으로 설정하는 것; 을 특징으로 한다.

[0040] 한편, 상기 위상 변환 정보는, 상기 최적의 프리코딩 벡터에 해당하는 코드북 번호인 것; 을 특징으로 한다.

[0041] 본 발명에 따른 단일 안테나 기반의 표준을 이용한 통신 시스템에서 빔포밍을 수행하기 위한 채널 추정 방법은, 통신 프로토콜이 개시되면, 다중 송신 안테나가 연결되어 있는 송신기에서 위상 변환 네트워크에 구성되어 있는 모든 위상 변환기들의 위상 지연 값을 미리 정해진 초기 위상 지연 값으로 설정하는 초기 위상 지연 값 설정 단계; 송신기에서, 소정의 신호 생성 매개변수를 바탕으로 자도프추(zadoff-chu) 수열을 생성하고, 상기 생성된

자도프추(zadoff-chu) 수열을 이용하여 상기 다중 송신 안테나의 수와 동일한 수의 소정의 송신 파일럿 신호를 생성하는 파일럿 신호 생성 단계; 송신기에서, 상기 파일럿 신호 생성 단계에서 생성된 송신 파일럿 신호들을 수신기로 송신하는 파일럿 신호 송신 단계; 송신기에서, 소정의 빔포밍 정보를 포함하는 프레임의 생성하여 상기 위상 변환 네트워크를 통해 다중 송신 안테나로 전달하는 프레임 생성 단계; 단일 수신 안테나가 연결되어 있는 수신기에서, 프레임의 동기화를 통해 상기 프레임 생성 단계에서 송신기가 발생시킨 프레임에 포함된 빔포밍 정보를 획득하고, 상기 획득한 빔포밍 정보를 이용하여 상기 송신 파일럿 신호들을 수신하는 프레임 및 파일럿 신호 수신 단계; 수신기에서, 상기 프레임 및 파일럿 신호 수신 단계에서 획득한 빔포밍 정보로부터 송신기의 빔포밍 사용이 확인된 경우, 상기 수신한 송신 파일럿 신호들을 바탕으로 수신 파일럿 신호들을 생성하고 상기 송신 및 수신 파일럿 신호들을 이용하여 채널을 추정하는 채널 추정 단계; 수신기에서, 상기 채널 추정 단계에서 추정된 채널 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 송신기에서 적용할 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 최적 프리코딩 벡터 검출 단계; 수신기에서, 상기 최적 프리코딩 벡터 검출 단계에서 검출된 최적의 프리코딩 벡터에 해당하는 코드북 번호를 단일 수신 안테나를 통해 상기 송신기로 피드백 하는 코드북 번호 피드백 단계; 송신기에서, 상기 코드북 번호 피드백 단계를 통해 수신기로부터 피드백 받은 코드북 번호를 이용하여 미리 저장된 코드북으로부터 해당 프리코딩 벡터를 추출하고, 상기 추출된 프리코딩 벡터에 포함된 각 송신 안테나에 대응하는 위상 지연 값으로 각 송신 안테나마다의 신호 위상을 변환 설정하는 위상 지연 값 변환 설정 단계; 를 포함하여 구성된다.

[0042] 구체적으로, 상기 파일럿 신호 생성 단계는, 송신 통신 모듈 및 파일럿 신호 생성 모듈과 위상 변환 네트워크 사이에 구성되어 있는 신호 전환 스위치를 제어하여, 상기 위상 변환 네트워크에 상기 파일럿 신호 생성 모듈을 연결하는 스위치 제어 단계; 상기 스위치 제어 단계에 의해 위상 변환 네트워크에 상기 파일럿 신호 생성 모듈이 연결된 후, 소정의 신호 생성 매개변수를 바탕으로 아래의 (수학식 1)에 의해 자도프추(zadoff-chu) 수열을 생성하는 자도프추 수열 생성 단계; 상기 자도프추(zadoff-chu) 수열 생성 단계에서 생성된 자도프추(zadoff-chu) 수열을 기반으로 아래의 (수학식 2)에 의해 상기 송신 안테나의 수와 동일한 수의 송신 파일럿 신호들을 생성하는 송신 파일럿 신호 생성 단계; 를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0043] (수학식 1)

[0044]
$$z_q(k) = e^{-j\pi q \frac{k(k+1)}{N_{zc}}} , k=0, 1, 2, \dots, N_{zc}-1$$

[0045] ($z_q(k)$): 신호 생성 매개변수를 바탕으로 생성된 zadoff-chu 수열, k : 수열의 샘플 순서, N_{zc} : 생성되는 수열의 길이, q : 수열의 특징을 결정하는 변수로 N_{zc} 보다 작은 소수(prime number)를 이용)

[0046] (수학식 2)

[0047]
$$p_n(k) = z_q(\{k - n \lfloor N_{zc}/N_{ta} \rfloor\} \bmod N_{zc}) , k=0, 1, \dots, N_{zc}-1, n=0, 1, \dots, N_{ta}-1$$

[0048] ($p_n(k)$): zadoff-chu 수열을 기반으로 생성한 n번째 송신 안테나의 송신 파일럿 신호, $\lfloor \cdot \rfloor$: 내림 연산, N_{ta} : 위상 변환 네트워크에 연결되어 있는 송신 안테나의 총 개수)

[0049] 한편, 상기 프레임 및 파일럿 신호 수신 단계는, 프레임의 동기화를 통해 송신기로부터의 프레임의 시작 부분을 추정하여 빔포밍 정보를 획득하는 빔포밍 정보 획득 단계; 상기 빔포밍 정보 획득 단계에서 획득한 빔포밍 정보를 이용하여 상기 파일럿 신호 송신 단계에서의 송신 파일럿 신호들을 수신하는 송신 파일럿 신호 수신 단계; 를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0050] 한편, 상기 채널 추정 단계는, 상기 송신기의 프레임으로부터 획득한 빔포밍 정보에 포함된 자도프추(zadoff-chu) 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 이용하여 수신 파일럿 신호들을 생성하는 수신 파일럿 신호 생성 단계; 상기 수신 파일럿 신호들을 생성한 후, 상기 송신기로부터의 송신 파일럿 신호들과 상기 생성한 수신 파일럿 신호들을 이용하여, 아래의 (수학식 5)에 의해 채널을 추정하는 연산을 수행하는 연산 단계; 를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0051] (수학식 5)

[0052]
$$\sum_{n=0}^{N-1} \frac{1}{\rho} y(n) p^H(n) = \hat{h}_0^T$$

[0053] (\hat{h}_0^T : 추정된 채널, ρ : 정규화를 위한 상수, $p^H(n)$: $p(n)$ 을 허미시안(Hermitian) 연산을 하여 얻은 값,
 $y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l^T p(n-l)$, $h_l \in \mathbb{C}^{N_a \times 1}$, $p(n) \in \mathbb{C}^{N_a \times 1}$: 단일 수신 안테나로부터 수신된 송신 파일럿 신호, $p(n)$: 각 송신 안테나의 송신 파일럿 신호의 샘플들을 포함하는 파일럿 벡터, h_l : 다중 경로 채널 중 l 번째 경로의 채널 벡터)

[0054] 한편, 상기 최적 프리코딩 벡터 검출 단계에서, 상기 추정된 채널 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 것은, 아래의 (수학식 6)에 의해 수행하는 것; 을 특징으로 한다.

[0055] (수학식 6)

[0056]
$$i_{out} = \underset{i}{\operatorname{argmax}} \hat{h}_0^T w_i$$

[0057] (i_{out} : 최적의 프리코딩 벡터를 나타내는 코드북 번호, \hat{h}_0^T : 추정된 채널, w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

[0058] 여기서, 상기 최적의 프리코딩 벡터는, 상기 수신기에서 상기 송신기로부터의 송신 신호를 가장 높은 전력으로 수신할 수 있는 프리코딩 벡터인 것; 을 특징으로 한다.

[0059] 한편, 상기 소정의 빔포밍 정보는, 송신기의 빔포밍 사용 여부, 송신 안테나 수, 자도프추(zadoff-chu) 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0060] 한편, 상기 코드북은, 아래의 (수학식 3)에 의해 계산되는 상기 송신기에 연결되어 있는 각 송신 안테나마다의 위상 지연 값을 포함하는 프리코딩 벡터를 적어도 둘 이상 포함하는 것; 을 특징으로 한다.

[0061] (수학식 3)

[0062]
$$w_i = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\theta_{M_1}(i)} \\ \vdots \\ e^{j\theta_{M_N}(i)} \end{bmatrix}$$

[0063] (w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

발명의 효과

[0064] 본 발명은 기존 통신 시스템에 구성되는 통신 장치를 그대로 이용할 수 있으며, 빔포밍을 위한 장치들의 연결과 통신 프로토콜 동작을 위한 소프트웨어의 변경만으로 구현이 가능하기 때문에, 시스템 향상을 위한 비용 최적화에 유리하다.

[0065] 또한, 본 발명은 송신기에서 더 많은 안테나를 통해 빔포밍을 수행할수록 통신 시스템의 전력 효율이 향상되는 효과가 있다.

[0066] 또한, 본 발명에서 빔포밍을 위해 사용되는 코드북은 더 많은 프리코딩 벡터를 포함할수록 향상된 정확성으로 빔포밍을 가능하게 하여, 통신 시스템의 전력 효율성을 향상시키는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0067] 도 1은 본 발명에 따른 송신기의 전체적인 구성을 도시한 도면이다.
- 도 2는 각 구성의 세부 구성을 도시한 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 송신기에서 생성하는 송신 파일럿 신호 간 상관 연산의 결과를 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 발명에 따른 수신기의 전체적인 구성을 도시한 도면이다.
- 도 5는 채널 추정 모듈의 세부 구성을 도시한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 통신 시스템에서 시간에 따라 전송되는 신호의 구분 및 순서를 나타낸 도면이다.
- 도 7은 본 발명에 따른 빔포밍을 위한 채널 추정 장치를 이용하여 달성 가능한 최대 주파수 효율을 신호 대 잡음비(SNR)에 따라 측정하여 나타낸 도면이다.
- 도 8은 본 발명에 따른 빔포밍을 위한 채널 추정 장치를 이용하여 달성 가능한 비트 오류 성능을 신호 대 잡음비(SNR)에 따라 측정하여 나타낸 도면이다.
- 도 9는 본 발명에 따른 빔포밍을 위한 채널 추정 방법의 전체적인 흐름도를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0068] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시 예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면부호를 붙였다.
- [0069] 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예컨대, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0070] 이하, 도면을 참조하여 본 발명에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0071] 1. 본 발명에 따른 빔포밍을 수행하기 위한 채널 추정 장치
- [0072] 본 발명에 따른 채널 추정 장치는 빔포밍이 고려되지 않은 단일 수신 안테나 기반의 표준을 이용한 통신 시스템에서 빔포밍을 적용하기 위한 장치로서, 송신기와 수신기를 포함하여 구성된다.
- [0073] 도 1은 본 발명에 따른 송신기의 전체적인 구성을 도시한 도면이고, 도 2는 각 구성의 세부 구성을 도시한 도면이다. 이들 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 송신기에 대하여 설명한다.
- [0074] 1.1. 송신기(100)
- [0075] 본 발명의 송신기(100)는, 적어도 둘 이상의 송신 안테나를 구비하며, 상기 구비된 송신 안테나 수와 동일한 수의 소정의 송신 파일럿 신호를 생성하여 수신기로 송신하고, 그 파일럿 신호들에 대응하는 위상 변환 정보를 수신기로부터 피드백 받아, 상기 피드백 받은 상기 위상 변환 정보를 이용하여 각 송신 안테나마다의 위상을 조절하도록 구성된다.
- [0076] 여기서, 상기 위상 변환 정보는, 최적의 프리코딩 벡터에 대응하는 코드북 번호를 의미한다.
- [0077] 이러한 송신기(100)는, 아래와 같은 구성을 포함하여 구성될 수 있다.
- [0078] 1.1.1. 송신 통신 모듈(110)
- [0079] 송신 통신 모듈(110)은, 소정의 빔포밍 정보를 포함하는 프레임을 생성하여, 생성한 프레임을 수신기(200)로 송신한다. 보다 구체적으로, 소정의 빔포밍 정보를 포함하는 프레임을 생성하도록 구성된다. 이 때, 소정의 빔포밍 정보를 프레임의 시작 부분에 담는다.

[0080] 여기서, 소정의 빔포밍 정보는, 송신기의 빔포밍 사용 여부, 빔포밍을 위해 사용되는 안테나 수(즉, 송신 안테나의 수), z adoff-chu 수열을 발생시키기 위한 매개 변수(이하, 신호 생성 매개변수라 함)를 포함할 수 있다.

[0081] 이와 같은 빔포밍 정보를 포함하는 프레임 생성 → 수신기(100)로 송신하는 동작은, 후술하는 송신 제어 모듈(160)로부터 위상 변환 네트워크(140)에 송신 통신 모듈(110)을 연결하기 위한 송신 통신 모듈 연결 신호가 출력된 경우 수행할 수 있다.

[0082] 이러한 송신 통신 모듈(110)은, 생성한 빔포밍 정보를 포함하는 후술하는 위상 변환 네트워크(140)로 전달하여, 위상 변환 네트워크(140)에 연결된 다중 송신 안테나(150)를 통해 수신기(200)로 송신할 수 있도록 한다.

[0083] 한편, 상기 프레임이란 데이터 통신망에서 하나의 블록 또는 패킷으로 전송되는 정보의 단위로서, 통상의 데이터 프레임을 말한다.

[0084] 1.1.2. 파일럿 신호 생성 모듈(120)

[0085] 파일럿 신호 생성 모듈(120)은, 후술하는 송신 제어 모듈(160)로부터의 소정의 신호 생성 매개변수를 바탕으로 z adoff-chu 수열을 생성하고, 생성된 z adoff-chu 수열을 이용하여 송신기(100)에 구비된 송신 안테나 수와 동일한 수의 소정의 송신 파일럿 신호를 생성하도록 구성된다.

[0086] 이러한 파일럿 신호 생성 모듈(120)은, 하기의 세부 구성을 포함하여 구성될 수 있다.

[0087] 가. 자도프추 수열 생성 모듈(122)

[0088] 자도프추 수열 생성 모듈(122)은, 송신 제어 모듈(160)로부터 소정의 신호 생성 매개변수를 전달 받아, 이를 바탕으로 수신기(200)로 송신할 송신 파일럿 신호 생성의 기반이 되는 z adoff-chu 수열을 생성할 수 있다.

[0089] z adoff-chu 수열을 생성하는 것은, 아래의 (수학식 1)에 의해 생성할 수 있다.

[0090] (수학식 1)

[0091]
$$z_c(k) = e^{-j\pi \frac{k(k+1)}{N_{zc}a}}, k=0,1,2,\dots,N_{zc}-1$$

[0092] ($z_c(k)$: 신호 생성 매개변수를 바탕으로 생성된 z adoff-chu 수열, k : 수열의 샘플 순서, N_{zc} : 생성되는 수열(신호)의 길이, a : 수열의 특징을 결정하는 변수로 N_{zc} 보다 작은 소수(prime number)를 이용)

[0093] 여기서, 송신 제어 모듈(160)로부터 전달 받은 소정의 신호 매개변수, 즉 z adoff-chu 수열을 생성하기 위한 신호 생성 매개변수는, 생성되는 수열(신호)의 길이(N_{zc}), 수열의 특징을 결정하는 변수(a)를 포함한다.

[0094] 본 발명의 실시 예에서는 a 값을 설정하기 위해 N_{zc} 의 소인수 중 가장 큰 값에 1을 더한 값을 이용한다.

[0095] 나. 송신 파일럿 신호 생성 모듈(124)

[0096] 송신 파일럿 신호 생성 모듈(124)는, 상기 자도프추 수열 생성 모듈(122)에서 생성된 z adoff-chu 수열을 기반으로, 아래의 (수학식 2)에 의해 위상 변환 네트워크(140)에 연결된 송신 안테나 수와 동일한 수의 송신 파일럿 신호들을 생성할 수 있다.

[0097] (수학식 2)

[0098]
$$p_n(k) = z_c(\{k-n \lfloor N_{zc}/N_{tx} \rfloor\} \bmod N_{zc}), k=0,1,\dots,N_{zc}-1, n=0,1,\dots,N_{tx}-1$$

[0099] ($p_n(k)$: z adoff-chu 수열을 기반으로 생성한 n번째 송신 안테나의 송신 파일럿 신호, $\lfloor \cdot \rfloor$: 내림 연산, N_{tx} : 위상 변환 네트워크에 연결되어 있는 송신 안테나의 총 개수)

[0100] 이와 같은 파일럿 신호 생성 모듈(120)의 동작은, 송신 제어 모듈(160)로부터 위상 변환 네트워크(140)에 파일럿 신호 생성 모듈(120)을 연결하는 파일럿 신호 생성 모듈 연결 신호가 출력된 경우, 수행할 수 있다.

- [0101] 도 3은 본 발명의 송신기에서 생성하는 송신 파일럿 신호 간 상관 연산의 결과를 나타낸 도면이다.
- [0102] 일반적으로 Zadoff-Chu 수열은 일정한 진폭의 신호를 생성할 수 있으며, 수열의 샘플을 하나 이상 지연하여 상관도를 측정하면 0에 매우 가까운 상관 값을 출력하는 특성을 가진다.
- [0103] 도 3은 이러한 Zadoff-Chu 수열의 특성을 활용하여 본 발명에 따른 채널 추정 장치를 이용하여 신호(수열)의 길이(N_{ZC})가 80 샘플인 4개의 송신 파일럿 신호들을 생성하고, 두 송신 파일럿 신호 간 상관 연산을 수행하여 얻는 출력이다.
- [0104] 도 3에 보이는 결과를 통해 신호의 길이(N_{ZC})를 안테나 수로 나눈 값만큼 지연했을 때 가장 높은 값이 출력되는 것을 확인할 수 있다.
- [0105] 1.1.3. 신호 전환 스위치(130)
- [0106] 신호 전환 스위치(130)는, 도 2에 보이는 것과 같이 송신 통신 모듈(110) 및 파일럿 신호 생성 모듈(120)과 위상 변환 네트워크(140) 사이에 구성되어, 송신 제어 모듈(160)의 제어에 따라 위상 변환 네트워크에 대한 송신 통신 모듈(110)과 파일럿 신호 생성 모듈(120)의 연결을 전환한다.
- [0107] 보다 구체적으로, 예를 들어 일단은 위상 변환 네트워크(140)에 연결되고, 타단은 송신 통신 모듈(110)과 파일럿 신호 생성 모듈(120) 사이에 위치하여, 송신 제어 모듈(160)의 제어에 따라 상기 타단이 송신 통신 모듈(110)과 파일럿 신호 생성 모듈(120) 중 어느 하나에 연결되는 형태로 구현될 수 있다.
- [0108] 즉, 신호 전환 스위치(130)는 위상 변환 네트워크(140)에 송신 통신 모듈(110)을 연결하거나 또는 파일럿 신호 생성 모듈(120)을 연결하는 것이다.
- [0109] 1.1.4. 위상 변환 네트워크(140)
- [0110] 위상 변환 네트워크(140)는, 상기 신호 전환 스위치(130)를 통해 연결되는 송신 통신 모듈(110) 또는 파일럿 신호 생성 모듈(120)로부터의 출력 신호를 연결된 다중 송신 안테나(150)로 전달하는 구성이다.
- [0111] 이러한 위상 변환 네트워크(140)는, 연결된 각 송신 안테나(150)에 대응하는 위상 변환기들(미도시)을 포함하여 구성된다.
- [0112] 위상 변환기는, 위상 변환 네트워크(140)에서 각 송신 안테나(150)에 대응하여 구비되어, 송신 제어 모듈(160)에 의해 설정되는 각각의 송신 안테나(150)마다의 위상 지연 값에 따라 해당 송신 안테나(150)로 연결되는 신호의 위상을 변환하는 구성이다.
- [0113] 즉, 위상 변환기들은, 송신 통신 모듈(110) 또는 파일럿 신호 생성 모듈(120)로부터의 동일한 위상의 신호를 송신 제어 모듈(160)에 의해 설정되는 각 위상 지연 값에 따라 위상 지연을 발생시키는 것이다.
- [0114] 여기서, 송신기(100)와 수신기(200) 간에 통신 프로토콜이 개시되면, 송신 제어 모듈(160)의 제어에 의해 모든 위상 변환기(미도시)는 소정의 초기의 위상 지연 값으로 설정된다.
- [0115] 1.1.5. 송신 안테나(150)
- [0116] 본 발명의 송신기(100)은, 다수의 송신 안테나(150)를 구비한다. 다중 송신 안테나(150)는 도 1에 보이는 것과 같이 상기 위상 변환 네트워크(140)에 연결되어, 상기 위상 변환 네트워크(140)로부터 전달되는 출력 신호를 수신기(200)를 향하여 방사하거나 수신기(200)의 단일 수신 안테나(260)에서 방사하는 신호를 수신한다.
- [0117] 기존의 단일 안테나 기반의 통신 표준을 이용하는 종래의 송신기와 달리, 단일 안테나 기반의 통신 표준 시스템에서 빔포밍을 가능하게 하는 본 발명의 송신기는 다수의 송신 안테나(150)를 구성한다.
- [0118] 1.1.6. 송신 제어 모듈(160)
- [0119] 송신 제어 모듈(160)은, 상기 송신 통신 모듈(110), 상기 파일럿 신호 생성 모듈(120) 및 신호 전환 스위치(130)의 제어를 통해 상기 파일럿 신호 생성 모듈(120)에서 생성된 송신 파일럿 신호들에 대응하는 위상 변환 정보를 수신기(200)로부터 획득하고, 획득한 위상 변환 정보를 이용하여 위상 변환 네트워크(140)의 각 신호의 위상 지연을 조절하도록 구성된다.
- [0120] 이러한 송신 제어 모듈(160)은, 아래와 같은 세부 구성을 포함하여 구성될 수 있다.

- [0121] 가. 신호 생성 매개변수 생성 모듈(162)
- [0122] 신호 생성 매개변수 생성 모듈(162)은, Zadoff-Chu 수열을 생성하기 위한 소정의 신호 생성 매개변수를 생성하여 파일럿 신호 생성 모듈(120)의 자도프추 수열 생성 모듈(122)로 전달할 수 있다.
- [0123] 여기서, Zadoff-Chu 수열을 생성하기 위한 소정의 신호 생성 매개변수는, 생성되는 수열의 길이(N_{zc}), 수열의 특징을 결정하는 변수(Q)를 포함한다.
- [0124] 나. 신호 전환 스위치 제어 모듈(164)
- [0125] 신호 전환 스위치 제어 모듈(164)은, 신호 전환 스위치(130)로 위상 변환 네트워크(140)에 대한 송신 통신 모듈(110)과 파일럿 신호 생성 모듈(120)의 연결을 전환하는 신호를 출력하여 스위치(130)의 스위칭 동작을 제어한다.
- [0126] 보다 구체적으로, 통신 프로토콜이 개시되면 수신기(200)로의 송신 파일럿 신호 전송을 위하여, 신호 전환 스위치(130)로 예를 들어 파일럿 신호 생성 모듈 연결 신호를 출력하여 위상 변환 네트워크(140)에 파일럿 신호 생성 모듈(120)을 연결시킬 수 있다.
- [0127] 이후, 파일럿 신호 생성 모듈(120)에서 수신기(200)로 송신 파일럿 신호들의 전송이 완료되면, 수신기(200)로의 빔포밍 정보를 포함하는 프레임 전송을 위하여 신호 전환 스위치(130)로 예를 들어 송신 통신 모듈 연결 신호를 출력하여 위상 변환 네트워크(140)에 송신 통신 모듈(110)을 연결시킬 수 있다.
- [0128] 다. 프리코딩 벡터 추출 모듈(166)
- [0129] 프리코딩 벡터 추출 모듈(166)은, 상기 파일럿 신호 생성 모듈(120)과 송신 통신 모듈(110)에 의해 송신 파일럿 신호들 및 빔포밍 정보를 수신한 수신기(200)로부터 그에 대응하는 위상 변환 정보를 전송 받아, 상기 위상 변환 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북으로부터 해당 프리코딩 벡터를 추출한다.
- [0130] 여기서, 상기 위상 변환 정보는, 수신기(200)에서 검출한 최적의 프리코딩 벡터에 해당하는 코드북 번호를 의미한다.
- [0131] 라. 위상 지연 값 설정 모듈(168)
- [0132] 위상 지연 값 설정 모듈(168)은, 상기 프리코딩 벡터 추출 모듈(166)에서 추출된 프리코딩 벡터에 포함된 각 송신 안테나(150)에 대응하는 위상 지연 값으로 앞서 설명한 상기 위상 변환 네트워크(140)에 구성된 위상 변환기들(미도시) 각각의 위상 지연 값을 설정한다.
- [0133] 여기서, 위상 지연 값 설정 모듈(168)은, 송신기(100)와 수신기(200) 간에 통신 프로토콜이 개시되는 최초 상태에서는, 위상 변환 네트워크(140)의 모든 위상 변환기(미도시)의 위상 지연 값을 미리 정해진 초기의 위상 지연 값으로 설정할 수 있다.
- [0134] 즉, 통신 프로토콜이 개시되면 위상 변환 네트워크(140)의 모든 위상 변환기(미도시)를 소정의 초기 위상 지연 값으로 설정한 후, 이후에 송신 파일럿 신호들 및 빔포밍 정보를 포함하는 프레임 생성을 통해 수신기(200)로부터 피드백 받은 위상 변환 정보를 이용하여 각 위상 변환기(미도시)의 위상 지연 값을 서로 다르게 설정하는 것이다.
- [0135] 여기서, 위상 변환기들의 위상 지연 값들을 설정한다는 것은, 각각의 송신 안테나에서 위상 변환을 어떻게 시켜야 할지를 설정하는 것을 의미한다.
- [0136] 이와 같이 수신기(200)로부터의 코드북 번호에 대한 피드백에 따라 위상 변환 네트워크의 신호 위상 지연 값이 설정된 후, 그 이후의 통신은 송신기(100)와 수신기(200)는 통신 모듈(110, 210)을 이용하여 수행할 수 있다.
- [0137] 1.1.7. 송신 메모리 모듈(170)
- [0138] 송신 메모리 모듈(170)은, 복수의 프리코딩 벡터 정보를 포함하는 코드북이 미리 저장하는 구성이다.
- [0139] 본 발명의 코드북은 위상 변환 네트워크(140)의 위상 변환기들(미도시)의 위상 지연 값 정보를 포함하는 것으로서, 보다 구체적으로 위상 변환 네트워크(140)에 연결되는 각 송신 안테나(150)마다의 위상 지연 값을 포함하며 해당 코드북 번호가 할당된 다수의 프리코딩 벡터 정보를 포함하고 있다.

[0140] 상기 프리코딩 벡터는 아래의 (수학식 3)에 의해 계산된다.

[0141] (수학식 3)

$$w_i = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\theta_2(i)} \\ \vdots \\ e^{j\theta_{N_c}(i)} \end{bmatrix}$$

[0142]

[0143] (w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

[0144] 여기서, 위와 같은 프리코딩 벡터를 구성하는 각 요소는, 신호를 지연시키기 위한 각 안테나마다의 위상 지연 값을 나타낸다.

[0145] 여기서, 프리코딩 벡터를 구성하는 각 요소인 위상 지연 값들은 소정의 실험을 통해 실제 물리적인 각도에 기반하여 설계되는 값일 수 있다.

[0146] 도 4는 본 발명에 따른 수신기의 전체적인 구성을 도시한 도면이다. 도 4를 참조하여, 본 발명의 수신기에 대하여 설명한다.

[0147] 1.2. 수신기(200)

[0148] 본 발명에 따른 수신기(200)는, 도 4에 보이는 것과 같이 단일 수신 안테나(170)를 구비하며, 송신기(100)로부터 전송되는 송신 파일럿 신호들에 기반하여 빔포밍을 위한 채널을 추정하고, 추정된 채널 정보와 미리 저장된 코드북을 바탕으로 송신기(100)에서 적용할 최적의 프리코딩 벡터를 도출하여 그에 해당하는 위상 변환 정보를 송신기(100)로 피드백 하도록 구성된다.

[0149] 여기서, 최적의 프리코딩 벡터라 함은, 수신기(200)에서 송신기(100)로부터의 송신 신호를 가장 높은 전력으로 수신할 수 있는 프리코딩 벡터를 의미한다.

[0150] 이러한 수신기(200)는, 아래와 같은 구성을 포함하여 구성될 수 있다.

[0151] 1.2.1. 수신 통신 모듈(210)

[0152] 수신 통신 모듈(210)은, 프레임의 동기화를 통해 앞서 설명한 송신기(100)에서 생성하여 송신한 프레임에 포함된 빔포밍 정보를 획득하고, 획득한 빔포밍 정보를 이용하여 송신 파일럿 신호들을 수신할 수 있다.

[0153] 프레임의 동기화를 수행하는 것은, 통상의 동기화 기술을 사용하여 상기 프레임 길이의 최대 길이와 상기 송신 파일럿 신호의 최대 길이의 합보다 긴 구간을 샘플링하며 동기화를 수행할 수 있다.

[0154] 이와 같이 수신 통신 모듈(210)에서 송신기(100)의 송신 통신 모듈(110)에서 전송하는 프레임의 동기화를 수행하는 것은, 상기 프레임의 시작 부분에 포함된 빔포밍 정보를 찾기 위한 것으로 설명할 수 있다.

[0155] 도 6은 본 발명의 통신 시스템에서 시간에 따라 전송되는 신호의 구분 및 순서를 나타낸 도면이다. 도 6에 보이는 것과 같이, 송신기(100)와 수신기(200) 간에 통신 모듈을 이용한 통신이 진행되기 전에 먼저 빔포밍을 위한 파일럿 신호들이 전송된다.

[0156] 파일럿 신호의 전송 후 송신기는 통신 모듈의 첫 번째 프레임을 통해 수신기로 빔포밍을 위한 정보를 전송하고, 수신기는 상기 첫 번째 프레임에 포함된 빔포밍 정보를 바탕으로 채널 추정 및 최적의 프리코딩 벡터의 추정을 수행한다.

[0157] 동기화를 통해 획득되는 빔포밍 정보는, 앞서 설명한 것과 같이 송신기의 빔포밍 사용 여부, 빔포밍을 위해 사용되는 안테나의 수(송신 안테나 수), zadoff-chu 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 포함할 수 있다.

[0158] 한편, 이러한 빔포밍 정보를 이용하여 송신기(100)로부터의 송신 파일럿 신호들을 수신하는 것은, 상기 빔포밍 정보에 포함된 zadoff-chu 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 통해 송신 파일럿 신호들의 수와 길이를 파악하여 송신 파일럿 신호들을 수집/수신할 수 있다.

[0159] 여기서, 상기 수집/수신한 송신 파일럿 신호들의 정보를 수신 메모리 모듈(270)에 별도로 저장할 수 있다.

[0160] 한편, 수신 통신 모듈(110)은 수신 회로(미도시)와 송신 회로(미도시)를 포함하여 구성되며, 후술하는 송수신 전환 스위치(240)를 통해 단일 수신 안테나(260)로 신호를 전달하거나 신호를 전달 받을 수 있다.

[0161] 보다 구체적으로, 송수신 전환 스위치(240)가 수신 회로(미도시)에 연결된 상태에서 송신기(100)로부터의 프레임 및 송신 파일럿 신호들을 수신할 수 있고, 송수신 전환 스위치(240)가 송신 회로(미도시)에 연결된 상태에서 후술하는 피적 프리코딩 벡터 검출 모듈(230)에서 검출된 최적의 프리코딩 벡터를 단일 수신 안테나(260)로 전달하여 송신기(100)로 전송할 수 있다.

[0162] 1.2.2. 채널 추정 모듈(220)

[0163] 채널 추정 모듈(220)은, 상기 수신 통신 모듈(210)에서 획득한 송신기(100)로부터의 빔포밍 정보를 이용하여 송신기의 빔포밍 사용이 확인된 경우, 상기 수신한 송신 파일럿 신호들을 바탕으로 수신 파일럿 신호들을 생성하여 상기 송신 파일럿 신호들과 상기 수신 파일럿 신호들을 이용하여 채널을 추정할 수 있다.

[0164] 여기서, 상술한 것과 같이 송신기(100)로부터의 빔포밍 정보는 송신기의 빔포밍 사용 여부를 포함하고 있으므로, 이로부터 송신기의 빔포밍 사용을 확인하는 것이 가능하다.

[0165] 이러한 채널 추정 모듈(220)은, 도 5에 보이는 것과 같이 하기의 세부 구성을 포함하여 구성될 수 있다.

[0166] 가. 수신 파일럿 신호 생성 모듈(222)

[0167] 수신 파일럿 신호 생성 모듈(222)은, 상기 수신 통신 모듈(210)에서 획득한 송신기(100)로부터의 빔포밍 정보를 이용하여 수신 파일럿 신호들을 생성한다.

[0168] 보다 구체적으로, 상기 획득한 빔포밍 정보에 포함된 zadoff-chu 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 이용하여 수신 파일럿 신호들을 생성할 수 있다.

[0169] 나. 연산 모듈(224)

[0170] 연산 모듈(224)은, 상기 수신 통신 모듈(210)에서 수신한 송신기(100)로부터의 송신 파일럿 신호들과 상기 수신 파일럿 신호 생성 모듈(222)에서 생성한 수신 파일럿 신호들을 이용하여, 아래의 (수학식 5)에 의한 채널 추정 연산을 할 수 있다.

[0171] 먼저, 상기 수신한 송신기(100)로부터의 송신 파일럿 신호를 수식으로 표현하면 아래의 (수학식 4)와 같다.

[0172] (수학식 4)

[0173]
$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l^T p(n-l), \quad h_l \in \mathbb{C}^{N_\alpha \times 1}, \quad p(n) \in \mathbb{C}^{N_\alpha \times 1}$$

[0174] ($p(n)$: 각 송신 안테나의 송신 파일럿 신호의 샘플들을 포함하는 파일럿 벡터, h_l : 다중 경로 채널 중 l 번째 경로의 채널 벡터)

[0175] 이와 같이 표현되는 (수학식 4)를 이용하여 채널 추정을 위한 연산을 할 수 있다. 채널 추정을 위한 연산은, 아래의 (수학식 5)와 같이 (수학식 4)의 $y(n)$ 와 $p^H(n)$ 의 곱 연산 후 전체 샘플에 대한 합 연산으로 수행된다.

[0176] (수학식 5)

[0177]
$$\sum_{n=0}^{N-1} \frac{1}{\rho} y(n) p^H(n) = \tilde{h}_0^T$$

[0178] (\tilde{h}_0^T : 추정된 채널, ρ : 정규화를 위한 상수, $p^H(n)$: $p(n)$ 을 허미시안(Hermitian) 연산을 하여 얻은 값)

[0179] 여기서, 추정된 채널(\tilde{h}_0^T)이라 하면, 각 송신 안테나마다의 진폭/위상 왜곡 정보를 포함하고 있는 벡터를 의미한다.

[0180] z adoff-chu 수열의 특성을 고려하면, \tilde{h}_0^2 는 다중 경로 채널 중 첫번째 채널에 해당하는 벡터로 근사화할 수 있다.

[0181] 일반적으로 다중 경로 채널에서 가장 높은 전력으로 수신되는 경로는 가장 먼저 도착하는 채널일 확률이 높기 때문에 \tilde{h}_0^2 를 이용한 빔포밍은 다른 경로를 향해 빔포밍을 수행하는 것보다 더 효율적이다. 따라서, 추정된 채널을 나타내는 \tilde{h}_0^2 는 다중 경로 채널 중 첫번째 채널에 해당하는 벡터로 근사화할 수 있다.

[0182] 1.2.3. 최적 프리코딩 벡터 검출 모듈(230)

[0183] 최적 프리코딩 벡터 검출 모듈(230)은, 상기 채널 추정 모듈(220)에서 추정된 채널 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 송신기(100)에서 적용할 최적의 프리코딩 벡터를 검출한다.

[0184] 상기 추정된 채널 정보를 이용하여 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 것은, 아래의 (수학식 6)에 의해 수행한다.

[0185] (수학식 6)

$$i_{out} = \operatorname{argmax}_i \tilde{h}_0^T w_i$$

[0186]

[0187] (i_{out} : 최적의 프리코딩 벡터를 나타내는 코드북 번호, \tilde{h}_0^2 : 추정된 채널, w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

[0188] 여기서, 상기 최적의 프리코딩 벡터라 함은, 앞서 설명한 것처럼 수신기(200)에서 송신기(100)로부터의 송신 신호를 가장 높은 전력으로 수신할 수 있는 프리코딩 벡터를 의미한다.

[0189] 여기서, 상기 최적의 프리코딩 벡터라 함은, 앞서 설명한 것처럼 수신기(200)에서 송신기(100)로부터의 송신 신호를 가장 높은 전력으로 수신할 수 있는 프리코딩 벡터를 의미한다.

[0190] 이와 같이 최적의 프리코딩 벡터가 검출되면, 이를 나타내는 코드북 번호(i_{out})를 수신 통신 모듈(210)로 전달하여 송신기(100)가 피드백 받을 수 있도록 한다.

[0191] 1.2.4. 송수신 전환 스위치(240)

[0192] 송수신 전환 스위치(240)는, 상기 수신 통신 모듈(210)과 단일 수신 안테나(260) 사이에 구성되어, 단일 수신 안테나(260)에 대한 수신 통신 모듈(210)의 송수신 상태를 전환하는 구성이다.

[0193] 보다 구체적으로, 일단은 단일 수신 안테나(260)에 연결되고, 타단은 수신 통신 모듈(210)의 수신 회로(미도시)와 송신 회로(미도시) 사이에 위치하는 형태로 구성되어, 후술하는 수신 제어 모듈(250)의 제어에 의해 수신 회로(미도시)와 단일 수신 안테나(260)를 연결하거나 또는 송신 회로(미도시)와 단일 수신 안테나(260)를 연결할 수 있다.

[0194] 예를 들어, 수신 제어 모듈(250)로부터 수신 신호가 출력되면, 그 타단을 수신 회로(미도시)에 연결하여 단일 수신 안테나(260)와 수신 통신 모듈(210)의 수신 회로(미도시)를 연결할 수 있다. 또한, 수신 제어 모듈(250)로부터 송신 신호가 출력되면, 그 타단을 송신 회로(미도시)로 전환 연결하여 단일 수신 안테나(260)와 송신 회로(미도시)를 연결하는 형태로 구현될 수 있다.

[0195] 1.2.5. 수신 제어 모듈(250)

[0196] 수신 제어 모듈(250)은, 상기 송수신 전환 스위치(240)의 스위칭 동작을 제어하여 수신 통신 모듈(210)의 송수신 상태를 전환시킬 수 있다.

[0197] 먼저, 상기 수신 통신 모듈(210)에서 송신기(100)로부터의 빔포밍 정보 및 송신 파일럿 신호들을 수신할 수 있도록 예를 들어 송수신 전환 스위치(240)로 수신 신호를 출력하여 송수신 전환 스위치(240)의 타단을 수신 통신

모듈(210)의 수신 회로(미도시)에 위치시킬 수 있다.

- [0198] 이후, 상기 수신 통신 모듈(210)이 상기 최적의 프리코딩 벡터 검출 모듈(230)에서 검출된 최적의 프로코딩 벡터의 코드북 번호를 송신기(100)로 송신할 수 있도록 예를 들어 송수신 전환 스위치(240)로 송신 신호를 출력하여 송수신 전환 스위치(240)의 타단을 수신 통신 모듈(210)의 송신 회로(미도시)에 위치시킬 수 있다.
- [0199] 한편, 도면에는 채널 추정 모듈(220)과 최적 프리코딩 벡터 모듈(230)을 별도의 하드웨어 구성으로 도시하였지만, 이에 한정하는 것은 아니며 수신 제어 모듈(250)에서 소프트웨어로 구현될 수도 있다.
- [0200] 1.2.6. 수신 안테나(260)
- [0201] 수신기(200)는, 단일 수신 안테나(260)를 구비하는 것으로서, 도 4에 보이는 것과 같이 상기 송수신 전환 스위치(240)에 연결되어, 상기 송수신 전환 스위치(240)를 통해 수신 통신 모듈(210)로부터 전달되는 출력 신호를 송신기(100)를 향하여 방사하거나 송신기(100)의 다중 송신 안테나(150)에서 방사하는 신호를 수신한다.
- [0202] 1.2.7. 수신 메모리 모듈(270)
- [0203] 수신 메모리 모듈(270)은, 송신기(100)의 송신 메모리 모듈(170)에 저장되어 있는 복수의 프리코딩 벡터 정보를 포함하는 코드북과 동일한 코드북이 미리 저장된다.
- [0204] 또한, 상기 수신 통신 모듈(210)에서 수신한 송신기(100)의 송신 파일럿 신호들의 정보를 추가로 저장할 수 있다.
- [0205] 도 7은 본 발명에 따른 빔포밍을 위한 채널 추정 장치를 이용하여 달성 가능한 최대 주파수 효율을 신호 대 잡음비(SNR: signal to noise ratio)에 따라 측정하여 나타낸 도면이다.
- [0206] 도 7에서의 범례에서 송신 안테나의 숫자와 빔포밍을 위한 코드북의 크기를 확인할 수 있다. 도 7의 세로축은 단일 주파수에서 이론상 오류 없이 달성 가능한 한계 전송률을 나타내며, 가로축은 수신 신호의 신호 대 잡음비(SNR)를 나타낸다.
- [0207] 도 7에 보이는 결과를 통해 더 많은 안테나를 이용하고 더 많은 비트를 할당하여 코드북을 설계할수록 주파수 효율이 향상되는 것을 확인할 수 있다.
- [0208] 도 8은 본 발명에 따른 빔포밍을 위한 채널 추정 장치를 이용하여 달성 가능한 비트 오류 성능을 신호 대 잡음비(SNR)에 따라 측정하여 나타낸 도면이다.
- [0209] 도 8의 세로축은 비트 오류 비율을 나타내며, 가로축은 수신 신호의 신호 대 잡음비(SNR)를 나타낸다.
- [0210] 도 7에서와 마찬가지로, 도 8의 결과 역시 송신 안테나의 수와 코드북 설계를 위해 할당된 비트의 수가 증가할수록 더 적은 비트 오류가 발생하는 것을 확인할 수 있다.
- [0211] 2. 본 발명에 따른 빔포밍을 수행하기 위한 채널 추정 방법
- [0212] 도 9는 본 발명에 따른 빔포밍을 위한 채널 추정 방법의 흐름도를 도시한 도면이다. 도 9를 참조하면, 하기와 같은 단계를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0213] 2.1. 초기 위상 지연 값 설정 단계(S100)
- [0214] 먼저, 송신기(100)와 수신기(200) 간에 통신 프로토콜이 개시되면, 송신기(100)에서 위상 변환 네트워크(140)에 구성되어 있는 모든 위상 변환기들(미도시)의 위상 지연 값을 미리 정해진 초기의 위상 지연 값으로 설정한다.
- [0215] 여기서, 위상 변환기들(미도시)는, 위상 변환 네트워크(140)에 연결되어 있는 각 송신 안테나(150)에 대응하여 구성되어 있다.
- [0216] 2.2. 파일럿 신호 생성 단계(S200)
- [0217] 다중 송신 안테나(150)가 구비되어 있는 송신기(100)에서, 소정의 신호 생성 매개변수를 바탕으로 z-adoff-chu 수열을 생성하고, 상기 생성된 z-adoff-chu 수열을 이용하여 상기 다중 송신 안테나(150)의 수와 동일한 수의 소정의 송신 파일럿 신호를 생성하는 단계이다.
- [0218] 2.2.1. 스위치 제어 단계(S210)
- [0219] 먼저, 송신 통신 모듈(110) 및 파일럿 신호 생성 모듈(120)과 위상 변환 네트워크(140) 사이에 구성되어 있는

신호 전환 스위치(130)를 제어하여, 상기 위상 변환 네트워크(140)에 파일럿 신호 생성 모듈(120)을 연결하는 단계를 수행한다. 이러한 동작은 송신기(100)의 송신 제어 모듈(160)에 의해 이루어진다.

[0220] 2.2.2. 자도프추 수열 생성 단계(S220)

[0221] 스위치 제어 단계(S210)를 통해 위상 변환 네트워크(140)에 파일럿 신호 생성 모듈(120)이 연결되면, 소정의 신호 생성 매개변수를 바탕으로 하기의 (수학식 1)에 의해 z adoff-chu 수열을 생성하는 자도프추 수열 생성 단계(S120)를 수행한다.

[0222] (수학식 1)

[0223]
$$z_c(k) = e^{-j\pi q \frac{k(k+1)}{N_{zc}}} , k=0, 1, 2, \dots, N_{zc}-1$$

[0224] ($z_c(k)$: 신호 생성 매개변수를 바탕으로 생성된 z adoff-chu 수열, k : 수열의 샘플 순서, N_{zc} : 생성되는 수열의 길이, q : 수열의 특징을 결정하는 변수로 N_{zc} 보다 작은 소수(prime number)를 이용)

[0225] 여기서, 소정의 신호 매개변수, 즉 z adoff-chu 수열을 생성하기 위한 신호 생성 매개변수는, 위 (수학식 1)에서 생성되는 수열의 길이(N_{zc}), 수열의 특징을 결정하는 변수(q)를 포함한다. 이러한 신호 생성 매개변수는 송신기(100)의 송신 제어 모듈(160)로부터 제공 받을 수 있다.

[0226] 본 발명의 실시 예에서는 q 값을 설정하기 위해 N_{zc} 의 소인수 중 가장 큰 값에 1을 더한 값을 이용한다.

[0227] 2.2.3. 송신 파일럿 신호 생성 단계(S230)

[0228] 송신 파일럿 신호 생성 단계(S230)는, 상기 자도프추 수열 생성 단계(S220)에서 z adoff-chu 수열이 생성되면, 상기 생성된 z adoff-chu 수열을 기반으로 하기의 (수학식 2)에 의해 송신기(100)에 구비되어 있는 다중 송신 안테나(150) 수와 동일한 수의 송신 파일럿 신호들을 생성하는 단계이다.

[0229] (수학식 2)

[0230]
$$p_n(k) = z_c(\lfloor (k-n \lfloor N_{zc}/N_{tx} \rfloor) \bmod N_{zc} \rfloor) , k=0, 1, \dots, N_{zc}-1, n=0, 1, \dots, N_{tx}-1$$

[0231] ($p_n(k)$: z adoff-chu 수열을 기반으로 생성한 n번째 송신 안테나의 송신 파일럿 신호, $\lfloor \cdot \rfloor$: 내림 연산, N_{tx} : 위상 변환 네트워크에 연결되어 있는 송신 안테나의 총 개수)

[0232] 여기서, 소정의 신호 생성 매개변수는 z adoff-chu 수열을 발생시키기 위한 매개변수를 말한다.

[0233] 2.3. 파일럿 신호 송신 단계(S300)

[0234] 송신기(100)에서, 상기 파일럿 신호 생성 단계(S100)에서 생성된 송신 파일럿 신호들을 수신기(200)로 송신한다.

[0235] 보다 구체적으로, 송신기(100)의 파일럿 신호 생성 모듈(120)에서, 다중 안테나 수(150)만큼 생성한 송신 파일럿 신호들을 위상 변환 네트워크(140)를 통해 각 송신 안테나(150)로 전송하고, 각 송신 안테나(150)는 상기 전송 받은 신호를 방사하여 수신기(200)로 상기 송신 파일럿 신호들을 송신하는 것으로 이루어질 수 있다.

[0236] 2.4. 프레임 생성 단계(S400)

[0237] 송신기(100)에서, 소정의 빔포밍 정보를 포함하는 프레임을 생성하여 위상 변환 네트워크(140)를 통해 다중 송신 안테나(150)로 전달하는 프레임 생성 단계(S400)를 수행한다.

[0238] 여기서, 프레임 생성 단계(S400)는 상기 파일럿 신호 생성 단계(S200)를 통해 위상 변환 네트워크(140)와 파일럿 신호 생성 모듈(120)을 연결하는 신호 전환 스위치(130)의 상태를 위상 변환 네트워크(140)에 송신 통신 모듈(110)을 연결하는 상태로 전환하는 스위치 제어 단계(S410)를 포함하여 구성될 수 있다.

- [0239] 즉, 신호 전환 스위치(130)의 스위칭 동작을 제어하여 위상 변환 네트워크(140)에 송신 통신 모듈(110)을 연결한 상태에서 소정의 빔포밍 정보를 포함하는 프레임을 생성하여 위상 변환 네트워크(140)를 통해 다중 송신 안테나(150)로 송신하는 것이다.
- [0240] 이 때, 프레임의 시작 부분에 빔포밍 정보를 담아 다중 송신 안테나(150)를 통해 수신기(200)로 송신할 수 있도록 구성된다.
- [0241] 또한, 소정의 빔포밍 정보는, 송신기의 빔포밍 사용 여부, 송신 안테나 수, zadowf-chu 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 포함할 수 있다.
- [0242] 2.5. 프레임 및 파일럿 신호 수신 단계(S500)
- [0243] 프레임 및 파일럿 신호 수신 단계(S500)는, 단일 수신 안테나(260)가 구비되어 있는 수신기(200)에서, 프레임의 동기화를 통해 상기 프레임 생성 단계(S400)에서 송신기(100)가 발생시킨 프레임에 포함된 빔포밍 정보를 획득하고, 획득한 빔포밍 정보를 이용하여 상기 송신 파일럿 신호들을 수신하는 단계이다.
- [0244] 여기서, 수신기(200)의 수신 제어 모듈(250)은 수신 통신 모듈(210)과 단일 수신 안테나(260) 사이에 구성되어 있는 송수신 전환 스위치(240)의 제어를 통해 단일 수신 안테나(260)에 수신 통신 모듈(210)의 수신 회로(미도시)를 연결하여 수신 상태로 만든 상태에서 이루어진다.
- [0245] 이와 같은 프레임 및 파일럿 신호 수신 단계(S500)는, 아래의 세부 단계를 포함하여 구성될 수 있다.
- [0246] 2.5.1. 빔포밍 정보 획득 단계(S510)
- [0247] 수신기(200)에서, 프레임의 동기화를 수행하여 송신기(100)로부터의 프레임의 시작 부분을 추정하여 해당 부분에 포함된 빔포밍 정보를 획득할 수 있다.
- [0248] 이와 같은 동작은, 상술한 수신기(200)의 수신 통신 모듈(210)에 의해 수행된다.
- [0249] 2.5.2. 송신 파일럿 신호 수신 단계(S520)
- [0250] 수신기(200)에서, 상기 빔포밍 정보 획득 단계(S510)에서 빔포밍 정보를 획득한 후, 상기 획득한 빔포밍 정보를 이용하여 상기 파일럿 신호 송신 단계(S300)에서 송신한 송신 파일럿 신호들을 수신한다.
- [0251] 송신 파일럿 신호들을 수신하는 것은, 상기 빔포밍 정보 획득 단계(S510)에서 획득한 빔포밍 정보에 포함된 zadowf-chu 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 통해 송신 파일럿 신호들의 수와 길이를 파악하여 수신할 수 있다.
- [0252] 2.6. 채널 추정 단계(S600)
- [0253] 수신기(200)에서, 상기 프레임 및 파일럿 신호 수신 단계(S500)에서 획득한 빔포밍 정보를 이용하여 송신기(100)의 빔포밍 사용이 확인된 경우, 상기 수신한 송신 파일럿 신호들을 바탕으로 수신 파일럿 신호들을 생성하여 상기 송신 및 수신 파일럿 신호들을 이용하여 채널을 추정한다.
- [0254] 2.6.1. 수신 파일럿 신호 생성 단계(S610)
- [0255] 먼저, 상기 송신기(100)의 프레임으로부터 획득한 빔포밍 정보에 포함된 zadowf-chu 수열을 발생시키기 위한 신호 생성 매개변수를 이용하여 수신 파일럿 신호들을 생성할 수 있다.
- [0256] 2.6.2. 연산 단계(S620)
- [0257] 상기 수신 파일럿 신호들을 생성한 후, 상기 수신한 송신 파일럿 신호들과 상기 생성한 수신 파일럿 신호들을 이용하여, 아래의 (수학식 5)에 의해 채널 추정 연산을 하여 채널을 추정할 수 있다.
- [0258] 상기 송신기(100)로부터 수신한 송신 파일럿 신호를 수식으로 나타내면 아래의 (수학식 4)와 같이 표현되며, 이를 이용하여 아래의 (수학식 5)에 의해 채널을 추정하는 연산을 할 수 있다.
- [0259] (수학식 4)

[0260]
$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l^T p(n-l), \quad h_l \in \mathbb{C}^{N_a \times 1}, \quad p(n) \in \mathbb{C}^{N_a \times 1}$$

[0261] ($\mathbf{p}(n)$: 각 송신 안테나의 송신 파일럿 신호의 샘플들을 포함하는 파일럿 벡터, \mathbf{h}_l : 다중 경로 채널 중 l 번째 경로의 채널 벡터)

[0262] 이와 같이 표현되는 (수학식 4)를 이용하여 채널 추정을 위한 연산을 할 수 있다. 채널 추정을 위한 연산은, 아래의 (수학식 5)와 같이 (수학식 4)의 $y(n)$ 와 $\mathbf{p}^H(n)$ 의 곱 연산 후 전체 샘플에 대한 합 연산으로 수행된다.

[0263] (수학식 5)

[0264]
$$\sum_{n=0}^{N-1} \frac{1}{\rho} y(n) \mathbf{p}^H(n) = \tilde{\mathbf{h}}_0^T$$

[0265] ($\tilde{\mathbf{h}}_0^T$: 추정된 채널, ρ : 정규화를 위한 상수, $\mathbf{p}^H(n)$: $\mathbf{p}(n)$ 을 허미시안(Hermitian) 연산을 하여 얻은 값)

[0266] 여기서, 추정된 채널($\tilde{\mathbf{h}}_0^T$)이라 하면, 각 송신 안테나마다의 진폭/위상 왜곡 정보를 포함하고 있는 벡터를 의미한다.

[0267] 여기서, zadowf-chu 수열의 특성을 고려하면 $\tilde{\mathbf{h}}_0^T$ 는 다중 경로 채널 중 첫번째 채널에 해당하는 벡터로 근사화할 수 있다.

[0268] 일반적으로 다중 경로 채널에서 가장 높은 전력으로 수신되는 경로는 가장 먼저 도착하는 채널일 확률이 높기 때문에 $\tilde{\mathbf{h}}_0^T$ 를 이용한 빔포밍은 다른 경로를 향해 빔포밍을 수행하는 것보다 더 효율적이다. 따라서, 추정된 채널을 나타내는 $\tilde{\mathbf{h}}_0^T$ 는 다중 경로 채널 중 첫번째 채널에 해당하는 벡터로 근사화하는 것이다.

[0269] 2.7. 최적 프리코딩 벡터 검출 단계(S700)

[0270] 수신기(200)에서, 상기 채널 추정 단계(S600)에서 추정된 채널 정보를 이용하여 미리 저장된 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 송신기(100)에서 적용할 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 최적 프리코딩 벡터 검출 단계(S700)를 수행한다.

[0271] 상기 추정된 채널 정보를 이용하여 코드북에 포함된 프리코딩 벡터들 중 최적의 프리코딩 벡터를 검출하는 것은, 아래의 (수학식 6)에 의해 수행한다.

[0272] (수학식 6)

[0273]
$$i_{out} = \underset{i}{\operatorname{argmax}} \tilde{\mathbf{h}}_0^T \mathbf{w}_i$$

[0274] (i_{out} : 최적의 프리코딩 벡터를 나타내는 코드북 번호, $\tilde{\mathbf{h}}_0^T$: 추정된 채널, \mathbf{w}_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

[0275] 여기서, 위에서 설명한 것처럼, 상기 최적의 프리코딩 벡터는 수신기(200)에서 송신기(100)로부터의 송신 신호를 가장 높은 전력으로 수신할 수 있는 프리코딩 벡터를 의미한다.

[0276] 한편, 상기 코드북은 위상 변환 네트워크(140)에 연결되는 각 송신 안테나(150)마다의 소정의 위상 지연 값을 포함하며 해당 코드북 번호가 할당된 다수의 프리코딩 벡터 정보를 포함하고 있다. 이러한 코드북에 포함되는 프리코딩 벡터는, 아래의 (수학식 3)에 의해 계산된다.

[0277] (수학식 3)

$$w_i = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\theta_2(i)} \\ \vdots \\ e^{j\theta_{N_r}(i)} \end{bmatrix}$$

[0278]

[0279] (w_i : 프리코딩 벡터, i : 코드북 번호)

[0280] 여기서, 위와 같은 프리코딩 벡터를 구성하는 각 요소는, 신호를 지연시키기 위한 각 안테나마다의 위상 지연 값을 나타낸다.

[0281] 2.8. 코드북 번호 피드백 단계(S800)

[0282] 수신기(200)는, 상기 최적 프리코딩 벡터 검출 단계(S700)에서 검출된 최적의 프리코딩 벡터에 해당하는 코드북 번호를 단일 수신 안테나(260)를 통해 송신기(100)로 피드백 하는 단계를 수행한다.

[0283] 여기서, 수신기(200)의 수신 제어 모듈(250)은 수신 통신 모듈(210)과 단일 수신 안테나(260) 사이에 구성되어 있는 송수신 전환 스위치(240)의 제어를 통해 단일 수신 안테나(260)에 수신 통신 모듈(210)의 송신 회로(미도시)를 연결하여 송신 상태로 전환시킨 상태에서 이루어진다.

[0284] 2.9. 위상 지연 값 변환 설정 단계(S900)

[0285] 송신기(100)에서, 상기 코드북 번호 피드백 단계(S800)를 통해 수신기(200)로부터 피드백 받은 코드북 번호를 이용하여 미리 저장된 코드북으로부터 해당 프리코딩 벡터를 추출하고, 상기 추출된 프리코딩 벡터에 포함된 각 송신 안테나(150)에 대응하는 위상 지연 값으로 각 송신 안테나(150)마다의 신호 위상을 변환 설정한다.

[0286] 보다 구체적으로, 상기 추출된 프리코딩 벡터에 포함된 각 송신 안테나(150)에 대응하는 위상 지연 값을 위상 변환 네트워크(140)의 위상 변환기들(미도시) 각각의 위상 지연 값으로 변환하여 설정하는 것일 수 있다.

[0287] 이와 같이 수신기(200)로부터의 코드북 번호에 대한 피드백에 따라 위상 변환 네트워크의 신호 위상 지연 값이 설정된 후, 그 이후의 통신은 송신기(100)와 수신기(200)는 통신 모듈(110, 210)을 이용하여 수행할 수 있다.

[0288] 한편, 수신기의 수신 통신 모듈에서 특정 기준 이하로 낮은 전력의 신호가 수신되면, 위상 변환 네트워크의 채널 설정을 위한 채널 및 최적의 프리코딩 벡터의 추정을 위하여 상술한 S100 내지 S900을 반복 수행하여 위상 변환 네트워크(140)의 위상을 다시 조절한다.

[0289] 한편, 본 발명의 기술적 사상은 상기 실시 예에 따라 구체적으로 기술되었으나, 상기 실시 예는 그 설명을 위한 것이며, 그 제한을 위한 것이 아님을 주의해야 한다. 또한, 본 발명의 기술분야에서 당업자는 본 발명의 기술 사상의 범위 내에서 다양한 실시 예가 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

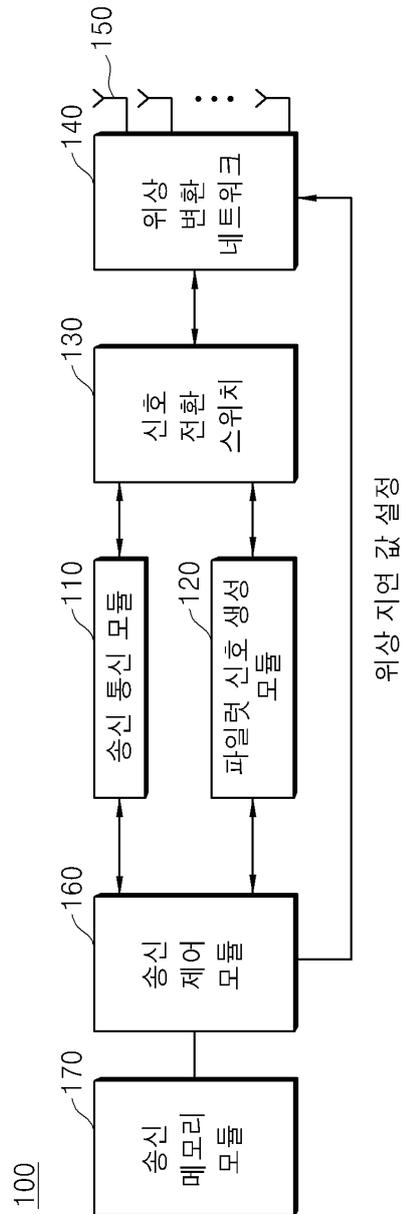
[0290]

- 100: 송신기
- 110: 송신 통신 모듈
- 120: 파일럿 신호 생성 모듈
- 122: 자도프추 수열 생성 모듈
- 124: 송신 파일럿 신호 생성 모듈
- 130: 신호 전환 스위치
- 140: 위상 변환 네트워크
- 150: 송신 안테나
- 160: 송신 제어 모듈
- 162: 신호 생성 매개변수 생성 모듈

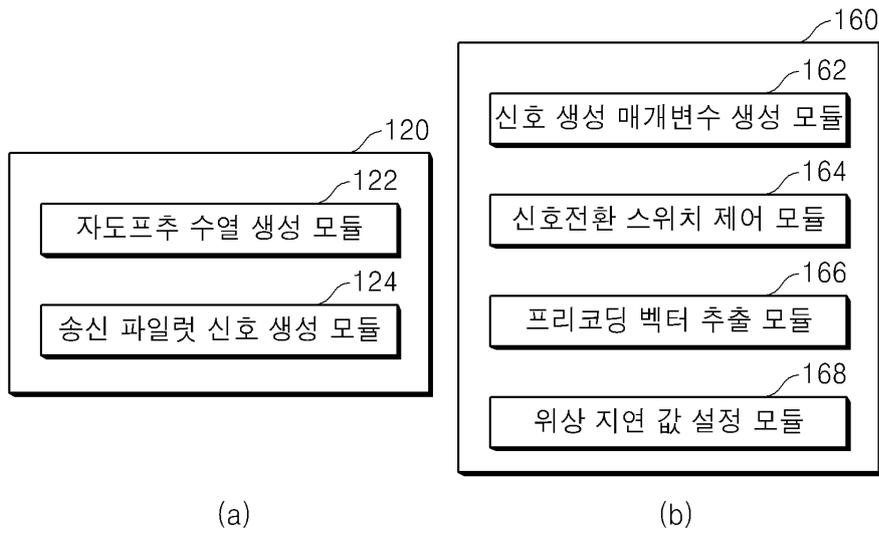
- 164: 신호 전환 스위치 제어 모듈
- 166: 프리코딩 벡터 추출 모듈
- 168: 위상 지연 값 설정 모듈
- 170: 송신 메모리 모듈
- 200: 수신기
- 210: 수신 통신 모듈
- 220: 채널 추정 모듈
- 222: 수신 파일럿 신호 생성 모듈
- 224: 연산 모듈
- 230: 최적 프리코딩 벡터 검출 모듈
- 240: 송수신 전환 스위치
- 250: 수신 제어 모듈
- 260: 수신 안테나
- 270: 수신 메모리 모듈

도면

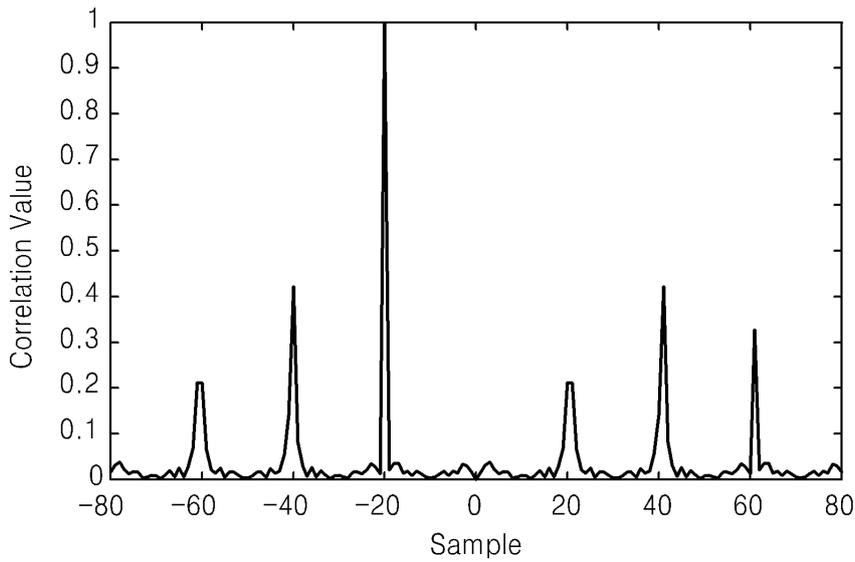
도면1



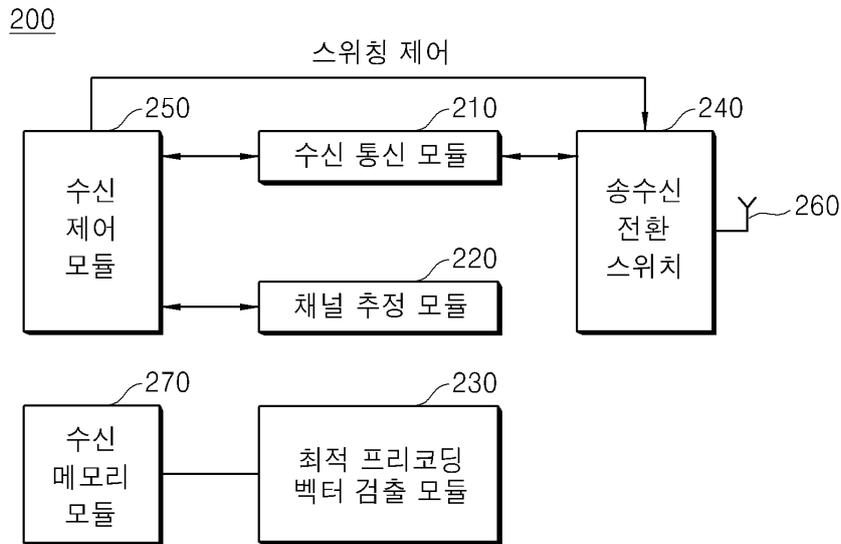
도면2



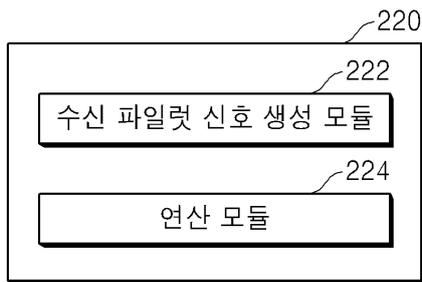
도면3



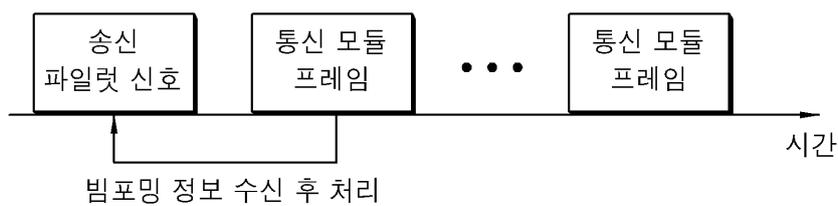
도면4



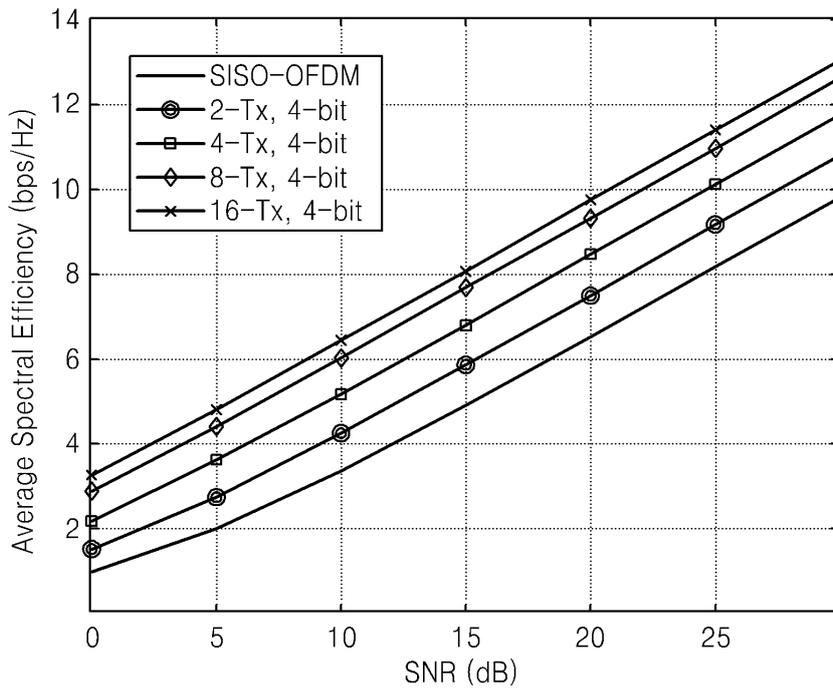
도면5



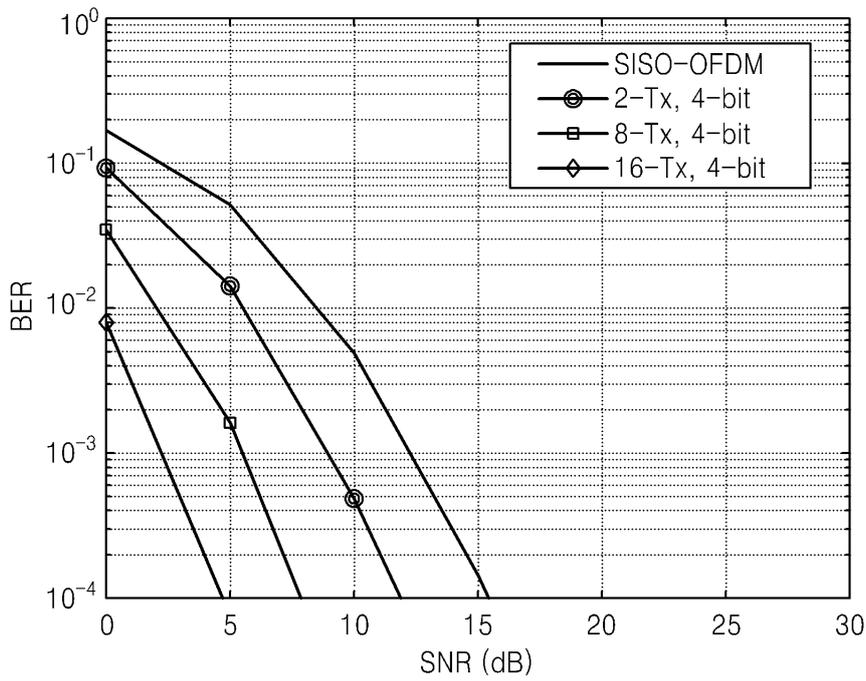
도면6



도면7



도면8



도면9

