



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년02월03일
 (11) 등록번호 10-2072751
 (24) 등록일자 2020년01월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H04B 7/06 (2017.01) G06N 3/12 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 H04B 7/0686 (2013.01)
 G06N 3/126 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2019-0107493
 (22) 출원일자 2019년08월30일
 심사청구일자 2019년08월30일
 (56) 선행기술조사문헌
 US20170134083 A1*
 KR1020180009843 A*
 KR1020150043368 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 세종대학교 산학협력단
 서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
 (72) 발명자
 송형규
 경기도 성남시 분당구 중앙공원로 17, 한양아파트 320동 303호
 이원석
 경기도 부천시 은성로 35-1, 라데팡스 201호 (소사본동)
 노재현
 서울특별시 송파구 동남로13길 44-22, 301호
 (74) 대리인
 특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 12 항

심사관 : 강희곡

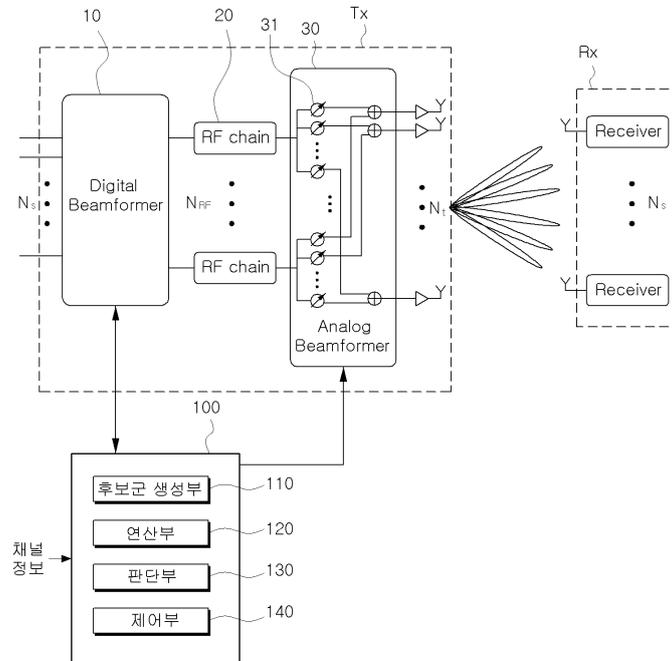
(54) 발명의 명칭 **유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치 및 그 방법**

(57) 요약

본 발명은 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치 및 그 방법에 대한 것이다.

본 발명에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치는 송신단의 아날로(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



그 빔포머에 포함된 위상회전기에 임의의 각도 값들을 각각 할당하여 기 설정된 개수의 빔 계수 후보군을 생성하는 후보군 생성부; 상기 생성된 빔 계수 후보군 각각에 대한 디지털 빔포밍 이득 값을 각각 연산하는 연산부; 상기 연산 결과 이득 값이 높은 순으로 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 조건을 만족하는지 판단하는 판단부; 및 상기 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되는 경우, 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 중 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보를 선택하여 상기 디지털 빔포머를 최적화하는 제어부를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 하이브리드 빔포밍 구조의 최적화를 위한 최종 빔 계수를 선택하기 위한 탐색 과정의 반복 횟수를 감소시킬 수 있어 최적화 시간을 단축시킬 수 있는 효과가 있다.

(52) CPC특허분류

H04B 7/0617 (2013.01)

H04B 7/0695 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711075702
부처명	과학기술정보통신부
연구관리전문기관	정보통신기획평가원
연구사업명	대학ICT연구센터지원사업
연구과제명	지능형 비행로봇 융합기술 연구
기 여 율	1/1
주관기관	세종대학교 산학협력단
연구기간	2018.06.01 ~ 2021.12.31
공지예외적용	: 있음

명세서

청구범위

청구항 1

하이브리드 빔포밍 구조를 기반으로 하는 빔 계수 탐색 장치에 있어서,

송신단의 아날로그 빔포머에 포함된 위상회전기에 임의의 각도 값들을 각각 할당하여 기 설정된 개수의 빔 계수 후보군을 생성하는 후보군 생성부;

상기 생성된 빔 계수 후보군 각각에 대한 디지털 빔포밍 이득 값을 각각 연산하는 연산부;

상기 연산 결과 이득 값이 높은 순으로 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 조건을 만족하는지 판단하는 판단부; 및

상기 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되는 경우, 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 중 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보를 선택하여 디지털 빔포머를 최적화하고, 상위 n개의 이득 값에 각각 대응하는 빔 계수 후보군들을 제외한 나머지 빔 계수 후보군들을 제거하는 제어부를 포함하고,

상기 기 설정된 조건은,

상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 임계값 미만인 경우에 만족되는 것으로 설정되며,

상기 후보군 생성부는,

상기 판단 결과 상기 기 설정된 조건이 만족되지 않는 경우, 유전자 알고리즘을 이용하여 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들의 결합을 통해 새로운 빔 계수 후보군들을 생성하되, 상기 기 설정된 조건을 만족할 때까지 빔 계수 후보군들을 생성하고, 상기 기 설정된 조건이 만족되지 않는 경우, 상기 제거된 개수와 동일한 개수의 새로운 빔 계수 후보군들을 생성하는 빔 계수 탐색 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 후보군 생성부는,

다음의 수학적식을 이용하여 상기 임의의 각도 값들을 생성하고,

$$\mathbf{v}_{mn} = [e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\phi_{mn}} \dots e^{j\frac{2\pi}{\lambda}pd\sin\phi_{mn}} \dots e^{j\frac{2\pi}{\lambda}N_t d\sin\phi_{mn}}]^T$$

다음의 수학적식을 이용하여 상기 빔 계수 후보군의 행렬을 생성하는 빔 계수 탐색 장치:

$$\mathbf{V}_m = [\mathbf{v}_{m1} \dots \mathbf{v}_{mn} \dots \mathbf{v}_{mN_{RF}}]$$

여기서, \mathbf{v}_{mn} 은 디지털 빔포머의 출력 중 n번째 RF 체인의 출력에 적용되는 아날로그 빔 계수 벡터, λ 는 전송되는 신호의 파장, d는 설치된 송신 안테나 간 간격, p는 복수의 위상회전기 중 해당 위상회전기가 설치된 송신 안테나의 위치, N_t 는 송신 안테나의 개수, ϕ_{mn} 는 m번째 빔 계수 후보군의 행렬에서 n번째 빔 계수 벡터

에 해당하는 임의의 -90° 부터 90° 도 사이의 위상 값, \mathbf{V}_m 은 빔 계수 후보군의 행렬, N_{RF} 는 RF 체인의 개수

이다.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 연산부는,

상기 송신단의 디지털 빔포머로부터 송신 안테나의 신호가 전파되는 채널의 정보를 입력받아 상기 입력된 채널의 정보와, 상기 생성된 빔 계수 후보군들을 이용하여 상기 빔 계수 후보군 각각에 대한 이득 값을 연산하되, 다음의 수학식에 의해 표현되는 평가함수를 이용하여 상기 이득 값을 연산하는 빔 계수 탐색 장치:

$$f(\mathbf{H}, \mathbf{V}_m) = \text{Tr}(\mathbf{G}\mathbf{G}^H),$$

$$\rho = 1/\sqrt{\text{Tr}(\mathbf{G}\mathbf{G}^H)}$$

여기서, $f(\mathbf{H}, \mathbf{V}_m)$ 는 채널 행렬(\mathbf{H})과 빔 계수 후보군의 행렬(\mathbf{V}_m)에 대한 평가 함수, $\text{Tr}(\mathbf{G}\mathbf{G}^H)$ 는 특정 행렬 $\mathbf{G}\mathbf{G}^H$ 에 대해 대각에 위치한 요소들의 합을 계산하는 연산, \mathbf{G} 는 ZF(Zero Forcing) 빔포밍 행렬, \mathbf{G}^H 는 \mathbf{G} 에 대한 허미션(Hermitian) 연산, ρ 는 디지털 빔포밍 이득 값이다.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 후보군 생성부는,

상기 유전자 알고리즘과 다음의 수학식을 이용하여 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 결합을 수행하여 새로운 빔 계수 후보군들을 생성하는 빔 계수 탐색 장치:

$$\tilde{\mathbf{V}} = \alpha \mathbf{V}_i + (1 - \alpha) \mathbf{V}_j$$

여기서, $\tilde{\mathbf{V}}$ 는 새로운 빔 계수 후보군, α 는 0과 1사이의 임의의 소수, \mathbf{V}_i , \mathbf{V}_j 는 n이 2일 때, 상위 2개의 이득 값에 각각 대응하는 빔 계수 후보군들의 행렬이다.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제어부는,

다음의 수학식을 이용하여 채널 행렬을 연산하고, 연산된 상기 채널 행렬을 최종 디지털 빔포밍 행렬에 반영하여 상기 디지털 빔포머를 최적화하는 빔 계수 탐색 장치:

$$\mathbf{H}_e = \mathbf{H}\hat{\mathbf{V}}$$

여기서, \mathbf{H}_e 는 디지털 빔포머를 최적화하기 위한 채널 행렬, \mathbf{H} 는 채널 행렬, $\hat{\mathbf{V}}$ 는, 상기 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보의 행렬이다.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 송신단은,

디지털 변조 방식을 통해 변조된 복수개의 송신 데이터 신호를 입력받아 신호의 진폭과 위상을 조절하여 빔포밍

을 수행하는 디지털 빔포머, 그리고

상기 위상회전기를 이용하여 RF 체인으로부터 입력된 신호의 위상을 조절하여 빔포밍을 수행하는 아날로그 빔포머를 포함하는 빔 계수 탐색 장치.

청구항 8

하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치를 이용한 빔 계수 탐색 방법에 있어서,

송신단의 아날로그 빔포머에 포함된 위상회전기에 임의의 각도 값들을 각각 할당하여 기 설정된 개수의 빔 계수 후보군을 생성하는 단계;

상기 생성된 빔 계수 후보군 각각에 대한 디지털 빔포밍 이득 값을 각각 연산하는 단계;

상기 연산 결과 이득 값이 높은 순으로 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 조건을 만족하는지 판단하는 단계;

상기 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되는 경우, 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 중 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보를 선택하여 디지털 빔포머를 최적화하는 단계; 및

상위 n개의 이득 값에 각각 대응하는 빔 계수 후보군들을 제외한 나머지 빔 계수 후보군들을 제거하는 단계를 포함하고,

상기 기 설정된 조건은,

상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 임계값 미만인 경우에 만족되는 것으로 설정되며,

상기 후보군을 생성하는 단계는,

상기 판단 결과 상기 기 설정된 조건이 만족되지 않는 경우, 유전자 알고리즘을 이용하여 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들의 결합을 통해 새로운 빔 계수 후보군들을 생성하되, 상기 기 설정된 조건을 만족할 때까지 빔 계수 후보군들을 생성하고, 상기 제거된 개수와 동일한 개수의 새로운 빔 계수 후보군들을 생성하는 빔 계수 탐색 방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 빔 계수 후보군을 생성하는 단계는,

다음의 수학적식을 이용하여 상기 임의의 각도 값들을 생성하고,

$$v_{mn} = [e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\phi_{mn}} \dots e^{j\frac{2\pi}{\lambda}pd\sin\phi_{mn}} \dots e^{j\frac{2\pi}{\lambda}N_t d\sin\phi_{mn}}]^T$$

다음의 수학적식을 이용하여 상기 빔 계수 후보군의 행렬을 생성하는 빔 계수 탐색 방법:

$$V_m = [v_{m1} \dots v_{mn} \dots v_{mN_{RF}}]$$

여기서, v_{mn} 은 디지털 빔포머의 출력 중 n번째 RF 체인의 출력에 적용되는 아날로그 빔 계수 벡터, λ 는 전송되는 신호의 파장, d는 설치된 송신 안테나 간 간격, p는 복수의 위상회전기 중 해당 위상회전기가 설치된 송신 안테나의 위치, N_t 는 송신 안테나의 개수, ϕ_{mn} 는 m번째 빔 계수 후보군의 행렬에서 n번째 빔 계수 벡터에

해당하는 임의의 -90° 부터 90° 도 사이의 위상 값, V_m 은 빔 계수 후보군의 행렬, N_{RF} 는 RF 체인의 개수이

다.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 연산하는 단계는,

상기 송신단의 디지털 빔포머로부터 송신 안테나의 신호가 전파되는 채널의 정보를 입력받아 상기 입력된 채널의 정보와, 상기 생성된 빔 계수 후보군들을 이용하여 상기 빔 계수 후보군 각각에 대한 이득 값을 연산하되, 다음의 수학적식에 의해 표현되는 평가함수를 이용하여 상기 이득 값을 연산하는 빔 계수 탐색 방법:

$$f(H, V_m) = Tr(GG^H),$$

$$\rho = 1/\sqrt{Tr(GG^H)}$$

여기서, $f(H, V_m)$ 는 채널 행렬(H)과 빔 계수 후보군의 행렬(V_m)에 대한 평가 함수, $Tr(GG^H)$ 는 특정 행렬 GG^H 에 대해 대각에 위치한 요소들의 합을 계산하는 연산, G는 ZF(Zero Forcing) 빔포밍 행렬, G^H 는 G에 대한 허미션(Hermitian) 연산, ρ 는 디지털 빔포밍 이득 값이다.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 빔 계수 후보군을 생성하는 단계는,

상기 유전자 알고리즘과 다음의 수학적식을 이용하여 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 결합을 수행하여 새로운 빔 계수 후보군들을 생성하는 빔 계수 탐색 방법:

$$\tilde{V} = \alpha V_i + (1 - \alpha) V_j$$

여기서, \tilde{V} 는 새로운 빔 계수 후보군, α 는 0과 1사이의 임의의 소수, V_i, V_j 는 n이 2일 때, 상위 2개의 이득 값에 각각 대응하는 빔 계수 후보군들의 행렬이다.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 최적화하는 단계는,

다음의 수학적식을 이용하여 채널 행렬을 연산하고, 연산된 상기 채널 행렬을 최종 디지털 빔포밍 행렬에 반영하여 상기 디지털 빔포머를 최적화하는 빔 계수 탐색 방법:

$$H_e = H\hat{V}$$

여기서, H_e 는 디지털 빔포머를 최적화하기 위한 채널 행렬, H 는 채널 행렬, \hat{V} 는, 상기 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보의 행렬이다.

청구항 14

제8항에 있어서,

상기 송신단은,

디지털 변조 방식을 통해 변조된 복수개의 송신 데이터 신호를 입력받아 신호의 진폭과 위상을 조절하여 빔포밍

을 수행하는 디지털 빔포머, 그리고

상기 위상회전기를 이용하여 RF 체인으로부터 입력된 신호의 위상을 조절하여 빔포밍을 수행하는 아날로그 빔포머를 포함하는 빔 계수 탐색 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 하이브리드 빔포밍 구조의 최적화를 위한 빔 계수를 탐색하는 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 무선 통신 기술 분야에서는 기술의 발전에 따라 상승하는 데이터 트래픽을 감당하기 위해 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 분야에서 단위 주파수 당 전송 가능 용량을 향상하기 위한 수많은 연구가 수행되고 있다. 이를 위해 기존에 사용하는 안테나보다 100배 이상 많은 안테나를 사용하는 대량 다중 입력 다중 출력 장치(Massive Multiple-Input Multiple-Output, 이하 Massive MIMO)를 구현하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 수많은 연구 결과들에 의해 Massive MIMO 기술이 미래의 예상되는 트래픽을 감당하기 위한 핵심 기술임이 입증되고 있다.

[0003] 이러한 Massive MIMO 기술은 기존보다 많은 안테나를 사용하기 때문에, 모든 신호 처리가 디지털 영역에서 수행될 때 디지털 신호를 RF 신호로 변환해주는 RF 체인의 수가 안테나 수와 같은 수로 증가한다. 여기서, RF 체인은 DAC(Digital to Analog Converter)와 RF 믹서(mixer) 및 증폭기 등을 포함하며, 이 소자들은 다른 소자들에 비해 높은 에너지를 소모하는 소자들이다.

[0004] 이와 같이 Massive MIMO 구조에서는 모든 안테나에 RF 체인을 설치하는 것이 에너지 소모 측면에서 큰 부담이 되기 때문에 최근에는 이를 해결하기 위한 하이브리드 빔포밍 구조로 Massive MIMO를 구현하는 방법이 연구되고 있다.

[0005] 하이브리드 빔포밍 구조는 디지털 영역에서 처리되는 디지털 빔포밍 구조와 아날로그 영역에서 처리되는 아날로그 빔포밍 구조가 함께 존재한다. 즉, 하이브리드 빔포밍 구조는 안테나 수보다 적은 RF 체인을 사용하는 Massive MIMO 구조로 줄어든 RF 체인으로 인한 빔포밍 성능 감소를 RF 대역에서의 아날로그 빔포밍을 이용하여 보완하는 구조이다. 다시 말해, 기존의 Massive MIMO 구조보다 적은 수의 RF 체인을 사용하여 디지털 영역에서 기존의 Massive MIMO 구조보다는 낮은 수준의 빔포밍 이득을 얻고, 아날로그 영역에서 다수의 위상 전환기를 이용한 아날로그 빔포밍으로 빔포밍 이득을 보완하는 구조이다.

[0006] 디지털 빔포밍 구조의 경우 진폭과 위상에 대한 변환이 자유롭지만 아날로그 빔포밍 구조는 신호의 위상 변환만이 허용된다. 이러한 구조는 수식적으로 채널 용량을 최대화하는 전체 구조를 결정하는 것을 어렵게 만들고, 아날로그 빔포밍 구조의 최적화는 디지털 빔포밍 구조의 최적화에 영향을 미치므로 두 구조의 반복적인 최적화가 필요하여 최적 구조를 찾기 어렵다는 문제점이 있다.

[0007] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 공개특허공보 제10-2017-0049964호(2017. 05. 11. 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 하이브리드 빔포밍 구조의 최적화를 위한 빔 계수를 탐색하는 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치는, 송신단의 아날로그 빔포머에 포함된 위상회전기에 임의의 각도 값들을 각각 할당하여 기 설정된 개수의 빔 계수 후보군을 생성하는 후보군 생성부; 상기 생성된 빔 계수 후보군 각각에 대한 디

지털 빔포밍 이득 값을 각각 연산하는 연산부; 상기 연산 결과 이득 값이 높은 순으로 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 조건을 만족하는지 판단하는 판단부; 및 상기 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되는 경우, 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 중 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보를 선택하여 상기 디지털 빔포머를 최적화하는 제어부를 포함하고, 상기 후보군 생성부는 상기 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되지 않는 경우, 유전자 알고리즘을 이용하여 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들의 결합을 통해 새로운 빔 계수 후보군들을 생성하되, 상기 기 설정된 조건을 만족할 때까지 빔 계수 후보군들을 생성할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 제어부는 상위 n개의 이득 값에 각각 대응하는 빔 계수 후보군들을 제외한 나머지 빔 계수 후보군들을 제거하고, 상기 기 설정된 조건은 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 임계값 미만인 경우에 만족되는 것으로 설정되며, 상기 후보군 생성부는 상기 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되지 않는 경우, 상기 제거된 개수와 동일한 개수의 새로운 빔 계수 후보군들을 생성할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 후보군 생성부는 다음의 수학적식을 이용하여 상기 임의의 각도 값들을 생성하고,

$$v_{mn} = [e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\phi_{mn}} \dots e^{j\frac{2\pi}{\lambda}pd\sin\phi_{mn}} \dots e^{j\frac{2\pi}{\lambda}N_t d\sin\phi_{mn}}]^T$$

[0012] 다음의 수학적식을 이용하여 상기 빔 계수 후보군의 행렬을 생성할 수 있다.

$$V_m = [v_{m1} \dots v_{mn} \dots v_{mN_{RF}}]$$

[0013] 여기서, v_{mn} 은 디지털 빔포머의 출력 중 n번째 RF 체인의 출력에 적용되는 아날로그 빔 계수 벡터, λ 는 전송되는 신호의 파장, d 는 설치된 송신 안테나 간 간격, p 는 복수의 위상회전기 중 해당 위상회전기가 설치된 송신 안테나의 위치, N_t 는 송신 안테나의 개수, ϕ_{mn} 는 m번째 빔 계수 후보군의 행렬에서 n번째 빔 계수 벡터에 해당하는 임의의 -90° 부터 90° 도 사이의 위상 값, V_m 은 빔 계수 후보군의 행렬, N_{RF} 는 RF 체인의 개수이다.

[0014] 또한, 상기 연산부는 상기 송신단의 디지털 빔포머로부터 송신 안테나의 신호가 전파되는 채널의 정보를 입력받아 상기 입력된 채널의 정보와, 상기 생성된 빔 계수 후보군들을 이용하여 상기 빔 계수 후보군 각각에 대한 이득 값을 연산하되, 다음의 수학적식에 의해 표현되는 평가함수를 이용하여 상기 이득 값을 연산할 수 있다.

$$f(H, V_m) = Tr(GG^H),$$

$$\rho = 1/\sqrt{Tr(GG^H)}$$

[0015] 여기서, $f(H, V_m)$ 는 채널 행렬(H)과 빔 계수 후보군의 행렬(V_m)에 대한 평가 함수, $Tr(GG^H)$ 는 특정 행렬 GG^H 에 대해 대각에 위치한 요소들의 합을 계산하는 연산, G는 ZF(Zero Forcing) 빔포밍 행렬, G^H 는 G에 대한 허미션(Hermitian) 연산, ρ 는 디지털 빔포밍 이득 값이다.

[0016] 또한, 상기 후보군 생성부는 상기 유전자 알고리즘과 다음의 수학적식을 이용하여 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 결합을 수행하여 새로운 빔 계수 후보군들을 생성할 수 있다.

$$\tilde{V} = \alpha V_i + (1 - \alpha) V_j$$

[0017] 여기서, \tilde{V} 는 새로운 빔 계수 후보군, α 는 0과 1사이의 임의의 소수, V_i, V_j 는 상기 n이 2일 때, 상위 2개의 이득 값에 각각 대응하는 빔 계수 후보군들의 행렬이다.

[0022] 또한, 상기 제어부는 다음의 수학적식을 이용하여 채널 행렬을 연산하고, 연산된 상기 채널 행렬을 최종 디지털 빔포밍 행렬에 반영하여 상기 디지털 빔포머를 최적화할 수 있다.

[0023]
$$H_e = H\hat{V}$$

[0024] 여기서, H_e 는 디지털 빔포머를 최적화하기 위한 채널 행렬, H 는 채널 행렬, \hat{V} 는, 상기 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보의 행렬이다.

[0025] 또한, 상기 송신단은 디지털 변조 방식을 통해 변조된 복수개의 송신 데이터 신호를 입력받아 신호의 진폭과 위상을 조절하여 빔포밍을 수행하는 디지털 빔포머, 그리고 상기 위상회전기를 이용하여 RF 체인으로부터 입력된 신호의 위상을 조절하여 빔포밍을 수행하는 아날로그 빔포머를 포함할 수 있다.

[0026] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 방법은, 송신단의 아날로그 빔포머에 포함된 위상회전기에 임의의 각도 값들을 각각 할당하여 기 설정된 개수의 빔 계수 후보군을 생성하는 단계; 상기 생성된 빔 계수 후보군 각각에 대한 디지털 빔포밍 이득 값을 각각 연산하는 단계; 상기 연산 결과 이득 값이 높은 순으로 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 조건을 만족하는지 판단하는 단계; 및 상기 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되는 경우, 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 중 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보를 선택하여 상기 디지털 빔포머를 최적화하는 단계를 포함하고, 상기 후보군을 생성하는 단계는 상기 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되지 않는 경우, 유전자 알고리즘을 이용하여 상기 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들의 결합을 통해 새로운 빔 계수 후보군들을 생성하되, 상기 기 설정된 조건을 만족할 때까지 빔 계수 후보군들을 생성할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 이와 같이 본 발명에 따르면, 유전자 알고리즘 기반의 빔 계수 탐색 과정에서 초기 빔 계수 후보군 생성을 위한 빔 계수 벡터의 위상 회전 값들에 결합 신호의 전력 최대화를 위한 위상 차이를 반영하고, 후보군 간의 결합 방법에서 각 안테나의 위상 차이를 유지할 수 있는 결합 방법을 선택하여 반영함으로써 하이브리드 빔포밍 구조의 최적화를 위한 최종 빔 계수를 선택하기 위한 탐색 과정의 반복 횟수를 감소시킬 수 있어 최적화 시간을 단축시킬 수 있는 효과가 있다.

[0028] 또한 본 발명에 따르면, 전송 신호의 채널 용량을 높이기 위한 목적으로 유전자 알고리즘의 빔 계수 후보군 평가 방법으로 디지털 빔포밍 이득을 계산하는 방법을 사용함으로써, 수신 채널의 각도 정보를 모르는 상황에서도 각도 지향 기반의 하이브리드 빔포밍 구조와 유사한 성능을 달성할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치를 나타낸 블록구성도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 방법의 동작 흐름을 도시한 순서도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 방법에서 단위 주파수 당 채널 용량 성능을 나타낸 그래프이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 방법에서 빔 계수 탐색을 위한 과정의 반복 횟수를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.

[0031] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내

려져야 할 것이다.

- [0032] 도 1을 통해 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치에 대하여 설명한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치를 나타낸 블록구성도이다.
- [0034] 도 1에 나타낸 것과 같이, 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 구조로 구현된 송신단(Tx)은 디지털 변조 방식(BPSK, QPSK, 16-QAM 등)을 통해 변조된 복수개(Ns)의 데이터 신호를 입력받아 신호의 진폭과 위상을 조절하여 빔포밍을 수행하는 디지털 빔포머(10)와, 위상회전기(31)를 이용하여 RF 체인(20)으로부터 입력된 신호의 위상을 조절하여 빔포밍을 수행하는 아날로그 빔포머(30)를 포함하고, 수신단(Rx)은 아날로그 빔포머(30)의 Nt개의 송신 안테나에서 방사되는 데이터 신호를 수신하는 Ns개의 수신기로 구성된다.
- [0035] 이때, 디지털 빔포머(10)는 신호가 전파되는 채널의 정보를 이용하여, 입력되는 Ns개의 데이터 신호열에 대해 디지털 빔포밍을 위한 신호 처리를 수행한다.
- [0036] 여기서, 디지털 빔포밍을 위한 신호 처리는 송신단(Tx)에서 채널의 왜곡을 미리 보상하기 위한 ZF(Zero Forcing), BD(Block Diagonal) 등의 디지털 프리코딩 방식들이 적용될 수 있으며, 본 발명의 실시예에서는 일반적으로 최적 성능을 보장하는 가장 간단한 구조인 ZF 프리코딩 방식을 적용하여 설명하나, 이에 한정하는 것은 아니다.
- [0037] ZF 프리코딩 방식은 다음의 수학식 1과 같이 주어진 채널 정보에 대해 의사 역행렬 값을 계산하여 미리 송신 데이터 신호의 벡터에 곱하여 신호의 왜곡을 보상한다.

수학식 1

[0038]
$$G = H^H(HH^H)^{-1}$$

- [0039] 여기서, G는 ZF 빔포밍을 위한 빔포밍 행렬, H는 Nt개의 송신 안테나에서 전송되는 신호가 겪는 무선 채널 행렬, H^H 는 H에 대한 허미션(Hermitian) 행렬이다.
- [0040] 그리고 수학식 1의 의사 역행렬 G를 이용하여 디지털 빔포밍만 수행된 신호는 수신단(Rx)의 다수의 수신기로 방사되어 다음의 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

[0041]
$$y = \rho s + n$$

- [0042] 여기서, y는 수신 신호, ρ 는 송신단(Tx)에서 방사되는 전력을 정규화 하기 위한 정규화 상수, s는 전송되는 데이터 신호열, n은 각 수신단에서의 가우시안 노이즈(additive white Gaussian noise, AWGN) 벡터이다.
- [0043] 이때, 정규화 상수 ρ 는 수신단(Rx)의 모든 안테나 수보다 송신단(Tx)의 안테나 수가 더 많은 경우 디지털 빔포밍 이득을 볼 수 있으며, 이 경우 송신단(Tx)의 안테나 수가 증가할수록 정규화 상수 ρ 의 값은 증가한다.
- [0044] 따라서, 디지털 빔포밍 이득을 최대화시키기 위한 빔 계수를 탐색하는 방법은 다음과 같다.
- [0045] 도 1에서와 같이 본 발명의 실시예에 따른 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치(100)는, 후보군 생성부(110), 연산부(120), 판단부(130) 및 제어부(140)를 포함한다.
- [0046] 먼저, 후보군 생성부(110)는 송신단(Tx)의 아날로그 빔포머(30)에 포함된 위상회전기(31)에 임의의 각도 값들을 각각 할당하여 기 설정된 개수의 빔 계수 후보군을 생성한다.

- [0047] 그리고 연산부(120)는 후보군 생성부(110)에서 생성된 빔 계수 후보군 각각에 대한 디지털 빔포밍 이득 값을 각각 연산한다.
- [0048] 자세히는, 송신단(Tx)의 디지털 빔포머(10)로부터 송신 안테나의 신호가 전파되는 채널의 정보를 입력받아 입력된 채널의 정보와 후보군 생성부(110)에서 생성된 빔 계수 후보군들을 이용하여 빔 계수 후보군 각각에 대한 이득 값을 연산한다.
- [0049] 그리고 판단부(130)는 연산부(120)의 연산 결과 이득 값이 높은 순으로 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 조건을 만족하는지 판단한다.
- [0050] 이때, 기 설정된 조건은 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 임계값 미만인 경우에 만족되는 것으로 설정될 수 있다.
- [0051] 판단부(130)의 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되지 않는 경우, 후보군 생성부(110)는 유전자 알고리즘을 이용하여 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들의 결합을 통해 새로운 빔 계수 후보군들을 생성한다.
- [0052] 여기서, 유전자 알고리즘은 컴퓨터 과학 분야에서 탐색과 최적화 문제를 해결하기 위해 사용하는 전통적인 알고리즘이다. 이러한 유전자 알고리즘은 자연계의 진화 방식을 모방한 탐색 알고리즘 중 하나이며, 구체적으로는 자연계에서 주어진 환경에 더 잘 생존하는 생명체들 간의 교배를 통해 우수한 형질을 가진 자식 개체가 탄생하는 과정을 모방한 것이다.
- [0053] 실제 문제에서는 다수의 요소들로 이루어진 벡터를 하나의 개체로 보며, 벡터의 각 요소들을 유전자라고 본다. 따라서 유전자 알고리즘에서 개체들 간의 교배는 두 벡터 간 각 요소를 결합하는 것에 해당하며 다양한 결합 방법이 존재한다. 또한 생성된 개체 벡터들은 환경에 대응되는 평가 함수를 통해 점수가 정해지며, 우수한 점수가 할당된 벡터들은 살아남아 더 우수한 자식 벡터를 만들 확률을 높이는 방법으로 동작하며, 복잡한 조합 문제에서 효율적인 탐색이 가능하고 최적에 가까운 해를 구할 수 있다는 장점이 있다.
- [0054] 또한, 연산부(120)는 후보군 생성부(110)에서 생성된 새로운 빔 계수 후보군 각각에 대한 디지털 빔포밍 이득 값을 각각 연산하고, 판단부(130)는 기존의 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들과 새로운 빔 계수 후보군들 중 이득 값이 높은 순으로 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 조건을 만족하는지 재 판단한다.
- [0055] 마지막으로 제어부(140)는 판단부(130)의 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되는 경우, 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 중 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보를 선택하여 디지털 빔포머(10)를 최적화한다.
- [0056] 자세히는, 디지털 빔포머(10)를 최적화하기 위한 채널 행렬을 연산하고, 연산된 채널 행렬을 최종 디지털 빔포밍 행렬에 반영하여 디지털 빔포머(10)를 최적화한다.
- [0057] 또한, 제어부(140)는 상위 n개의 이득 값에 각각 대응하는 빔 계수 후보군들을 제외한 나머지 빔 계수 후보군들을 제거할 수도 있다.
- [0058] 따라서, 후보군 생성부(110)는 유전자 알고리즘을 이용하여 새로운 빔 계수 후보군을 생성할 때 제어부(140)에서 제거한 빔 계수 후보군들의 개수 만큼 빔 계수 후보군을 생성하는 것이 바람직하다.
- [0059] 이하에서는 도 2 내지 도 4를 통해 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 방법에 대하여 설명한다.
- [0060] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 방법의 동작 흐름을 도시한 순서도로서, 이를 참조하여 본 발명의 구체적인 동작을 설명한다.
- [0061] 본 발명의 실시예에 따르면, 먼저 빔 계수 탐색 장치(100)의 후보군 생성부(110)는 송신단(Tx)의 아날로그 빔포머(30)에 포함된 위상회전기(31)에 임의의 각도 값들을 각각 할당하여 기 설정된 개수의 빔 계수 후보군을 생성한다(S210).
- [0062] 이때, 초기의 빔 계수 후보군 생성은 유저들 사이의 각도를 고려하여 빔 계수 탐색 장치(100)에 기 설정된 하이퍼 파라미터에 따라 수행될 수 있으며, 기 설정된 전체 빔 계수 후보군의 개수에 따라 다음의 수학적 식 3을 이용하여 임의의 각도 값들을 생성할 수 있다.

수학식 3

[0063]
$$\mathbf{v}_{mn} = [e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\phi_{mn}} \dots e^{j\frac{2\pi}{\lambda}pd\sin\phi_{mn}} \dots e^{j\frac{2\pi}{\lambda}N_t d\sin\phi_{mn}}]^T$$

[0064] 여기서, \mathbf{v}_{mn} 은 디지털 빔포머(10)의 출력 중 n번째 RF 체인(20)의 출력에 적용되는 아날로그 빔 계수 벡터, λ 는 전송되는 신호의 파장, d는 설치된 송신 안테나 간 간격, p는 복수의 위상회전기(31) 중 해당 위상회전기(31)가 설치된 송신 안테나의 위치, N_t 는 송신 안테나의 개수, ϕ_{mn} 는 m번째 빔 계수 후보군의 행렬에서 n번째 빔 계수 벡터에 해당하는 임의의 -90° 부터 90° 도 사이의 위상 값이다.

[0065] 즉, 임의의 위상 값인 ϕ_{mn} 을 기준으로 N_t 개의 송신 안테나 간 결합 신호의 전력을 향상시킬 수 있는 방식으로 위상차가 결정되며, 이 위상차는 최적의 빔 계수 벡터에서 더 가까운 상태로 초기 빔 계수 후보군을 생성하도록 한다.

[0066] 그리고, 다음의 수학식 4를 이용하여 빔 계수 후보군의 행렬을 생성할 수 있다.

수학식 4

[0067]
$$\mathbf{V}_m = [\mathbf{v}_{m1} \dots \mathbf{v}_{mn} \dots \mathbf{v}_{mN_{RF}}]$$

[0068] 여기서, \mathbf{V}_m 은 빔 계수 후보군의 행렬, N_{RF} 는 RF 체인(20)의 개수이다.

[0069] 이때, 수학식 4는 각 RF 체인(20)에서 아날로그 빔포밍을 위해 사용되는 아날로그 빔 계수 벡터들로 구성된다.

[0070] 그 다음 연산부(120)는 S210 단계에서 생성된 빔 계수 후보군 각각에 대한 디지털 빔포밍 이득 값을 각각 연산한다(S220).

[0071] 자세히는, 송신단(Tx)의 디지털 빔포머(10)로부터 송신 안테나의 신호가 전파되는 채널의 정보를 입력받아 입력된 채널의 정보와, S210 단계에서 생성된 빔 계수 후보군들을 이용하여 빔 계수 후보군 각각에 대한 이득 값을 연산하되, 다음의 수학식 5에 의해 표현되는 평가함수를 이용하여 다음의 수학식 6과 같이 이득 값을 연산한다.

수학식 5

[0072]
$$f(\mathbf{H}, \mathbf{V}_m) = \text{Tr}(\mathbf{G}\mathbf{G}^H)$$

[0073] 여기서, $f(\mathbf{H}, \mathbf{V}_m)$ 는 채널 행렬(H)과 빔 계수 후보군의 행렬(\mathbf{V}_m)에 대한 평가 함수, $\text{Tr}(\mathbf{G}\mathbf{G}^H)$ 는 특정 행렬 $\mathbf{G}\mathbf{G}^H$ 에 대해 대각에 위치한 요소들의 합을 계산하는 연산, G는 ZF(Zero Forcing) 빔포밍 행렬, \mathbf{G}^H 는 G에 대한 허미션(Hermitian) 연산을 의미한다.

[0074] 즉, S220 단계에서는 수학식 4와 같이 표현되는 빔 계수 후보 행렬들은 채널 정보와 임의의 빔 계수 후보 행렬을 입력으로 받아 수학식 5 및 수학식 6을 이용하여 디지털 빔포밍 이득 값을 계산한다.

수학식 6

$$\rho = 1/\sqrt{\text{Tr}(GG^H)}$$

[0075]

[0076] 여기서, ρ 는 디지털 빔포밍 이득 값이다.

[0077] 그 다음 판단부(130)는 S220 단계의 연산 결과 이득 값이 높은 순으로 상위 n개의 이득 값에 각각 대응하는 빔 계수 후보군들을 제외한 나머지 빔 계수 후보군들을 제거한다(S230).

[0078] 그 다음 S230 단계에서 제거되지 않은 즉, 이득 값이 높은 순으로 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 조건을 만족하는지 판단한다(S240).

[0079] 이때 기 설정된 조건은, 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 임계값 미만인 경우에 만족되는 것으로 설정된다.

[0080] S240 단계의 판단 결과, 기 설정된 조건이 만족되지 않는 경우, 후보군 생성부(110)는 유전자 알고리즘을 이용하여 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들의 결합을 통해 S230 단계에서 제거된 개수와 동일한 개수의 새로운 빔 계수 후보군들을 생성한다(S250).

[0081] 자세히는, 유전자 알고리즘과 다음의 수학식 7을 이용하여 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 결합을 수행하여 새로운 빔 계수 후보군들을 생성한다.

수학식 7

$$\tilde{V} = \alpha V_i + (1 - \alpha) V_j$$

[0082]

[0083] 여기서, \tilde{V} 는 새로운 빔 계수 후보군, α 는 0과 1사이의 임의의 소수, V_i, V_j 는 n이 2일 때, 상위 2개의 이득 값에 각각 대응하는 빔 계수 후보군들의 행렬이다. 이때, α 는 한 사이클에서 생성되는 새로운 빔 계수 후보군들에 대해 동일한 소수로 적용되는 것이 바람직하다.

[0084] 그리고 S220 단계로 회귀하여 새로운 빔 계수 후보군들에 대한 각각의 디지털 빔포밍 이득 값을 연산하고, 제거되지 않은 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군과 새로운 빔 계수 후보군들 중 이득 값이 높은 순으로 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 간 이득 값 차이가 기 설정된 조건을 만족하는지 판단한다 즉, 기 설정된 조건을 만족할 때까지 불필요한 빔 계수 후보군들을 제거하고, 새로운 빔 계수 후보군들을 생성하면서 S220 내지 S250 단계를 반복 수행한다.

[0085] 이해의 편의를 위해 예를 들어 설명하자면, 기 설정된 개수의 빔 계수 후보군이 5개로 설정되고, 이득 값 상위 n은 상위 2개의 이득 값(n=2)으로 설정되며, 초기 빔 계수 후보군으로 S210 단계에서 (후보1), (후보2), (후보3), (후보4), (후보5)의 행렬이 생성되고, 이 중 S220 단계에서 연산된 상위 이득 값 2개에 대응하는 빔 계수 후보군이 각각 (후보1)과 (후보3)이라고 가정하였을 때, 나머지 후보군(후보2, 후보4, 후보5)은 제거하고, (후보1)에 대응하는 이득 값과 (후보3)에 대응하는 이득 값의 차이가 임계값 보다 작은지 판단하여, 임계값 보다 작으면 S260 단계를 수행하게 된다.

[0086] 그러나 임계값이 더 크면 빔 계수 탐색 장치(100)는 S250 단계를 수행하기 위해 (후보1)과 (후보3)의 행렬을 유전자 알고리즘에 반영하여 새로운 빔 계수 후보군 (후보6), (후보7), (후보8)을 생성하고, S220 단계로 회귀하여 생성된 빔 계수 후보군(후보6, 후보7, 후보8)들에 대한 이득 값을 연산한 후, 이전에 제거되지 않은 빔 계수 후보군(후보1, 후보3)들의 이득 값과, 새롭게 생성된 후보군(후보6, 후보7, 후보8)들의 이득 값 중 상위 2개의 이득 값에 대응하는 후보군(예를 들면, 후보1, 후보6) 간 차이가 임계값 보다 작은지 판단한다.

[0087] 판단 결과 임계값 보다 작으면 이러한 과정을 중단하고 S260 단계를 수행하고, 임계값이 더 크면 S250 단계를

수행하여 기 설정된 조건이 만족될 때까지 반복 수행한다. 이때, 상위 2개의 후보군에 해당하지 않는 후보군은 제거하고 제거된 후보군의 개수만큼 새로운 빔 계수 후보군을 생성함으로써 빔 계수 후보군은 기 설정된 개수(5개)가 유지되도록 하는 것이 바람직하다.

[0088] S240 단계의 판단 결과 기 설정된 조건이 만족되는 경우, 제어부(140)는 상위 n개의 이득 값에 대응하는 빔 계수 후보군들 중 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보를 선택하여 디지털 빔포머를 최적화한다(S260).

[0089] 이때, S260 단계는 다음의 수학적 식 8을 이용하여 디지털 빔포머(10)를 최적화하기 위한 채널 행렬을 연산하고, 연산된 채널 행렬을 최종 디지털 빔포밍 행렬에 반영하여 디지털 빔포머(10)를 최적화한다.

수학적 식 8

[0090]
$$H_e = H\hat{V}$$

[0091] 여기서, H_e 는 디지털 빔포머를 최적화하기 위한 채널 행렬, H 는 채널 행렬, \hat{V} 는, 상기 이득 값이 가장 큰 빔 계수 후보의 행렬이다.

[0092] 따라서 S260 단계에서 최종 선택된 빔 계수 후보의 행렬은 수학적 식 8에 의해 유효 채널 정보로 변환되어 디지털 빔포머(10)로 전달되고, 최적의 아날로그 빔포밍 행렬은 아날로그 빔포머(30)의 위상전환기(31) 설정을 위해 사용된다.

[0093] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 방법에서 단위 주파수 당 채널 용량 성능을 나타낸 그래프이다.

[0094] 도 3에서 원형 심볼의 그래프는 $N_f = 8, N_{RF} = N_s = 2$ 인 경우를 나타내며, 마름모 심볼의 그래프는 $N_f = 16, N_{RF} = N_s = 2$ 인 경우를 나타낸다. 또한, 실선은 각도 정보를 기반으로 아날로그 빔포밍을 수행한 하이브리드 빔포밍 구조의 단위 주파수 당 채널용량 성능을 나타내고, 점선들은 본 발명의 실시예에 따른 단위 주파수 당 채널용량 성능을 나타낸다. 이때 M은 초기 빔 계수 후보군의 총 개수를 의미한다.

[0095] 도 3에서와 같이, 초기 빔 계수 후보군의 총 개수(M)가 클수록 각도 정보를 기반으로 아날로그 빔포밍을 수행한 빔 포밍의 성능에 더 추종하는 것을 확인할 수 있다.

[0096] 또한, 송신 안테나 개수(N_t)가 클수록 단위 주파수 당 채널 용량 성능이 높은 것을 확인할 수 있다.

[0097] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 방법에서 빔 계수 탐색을 위한 과정의 반복 횟수를 나타낸 그래프이다.

[0098] 도 4에서 원형 심볼의 그래프는 벡터의 모든 요소에 임의의 비율을 적용하여 결합한 경우의 그래프이고, 마름모 심볼의 그래프는 유전자 알고리즘만 적용한 경우의 그래프이며, 네모 심볼의 그래프는 본 발명이 실시예에 따른 초기 빔 계수 후보군과 유전자 알고리즘을 결합한 경우의 그래프이다.

[0099] 도 4의 반복 횟수 비교를 통해 본 발명의 실시예에 따른 초기 빔 계수 후보군과 유전자 알고리즘을 결합한 경우의 그래프가 반복 횟수가 가장 적은 것으로 나타남에 따라 수학적 식 3과 수학적 식 7이 반복 횟수를 줄이는데 기여함을 확인할 수 있다.

[0100] 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 유전자 알고리즘을 이용한 하이브리드 빔포밍 구조 기반의 빔 계수 탐색 장치 및 그 방법은 유전자 알고리즘 기반의 빔 계수 탐색 과정에서 초기 빔 계수 후보군 생성을 위한 빔 계수 벡터의 위상 회전 값들에 결합 신호의 전력 최대화를 위한 위상 차이를 반영하고, 후보군 간의 결합 방법에서 각 안테나의 위상 차이를 유지할 수 있는 결합 방법을 선택하여 반영함으로써 하이브리드 빔포밍 구조의 최적화를 위한 최종 빔 계수를 선택하기 위한 탐색 과정의 반복 횟수를 감소시킬 수 있어 최적화 시간을 단축시킬 수 있는 효과가 있다.

[0101] 또한 본 발명의 실시예에 따르면, 전송 신호의 채널 용량을 높이기 위한 목적으로 유전자 알고리즘의 빔 계수 후보군 평가 방법으로 디지털 빔포밍 이득을 계산하는 방법을 사용함으로써, 수신 채널의 각도 정보를 모르는 상황에서도 각도 지향 기반의 하이브리드 빔포밍 구조와 유사한 성능을 달성할 수 있는 효과가 있다.

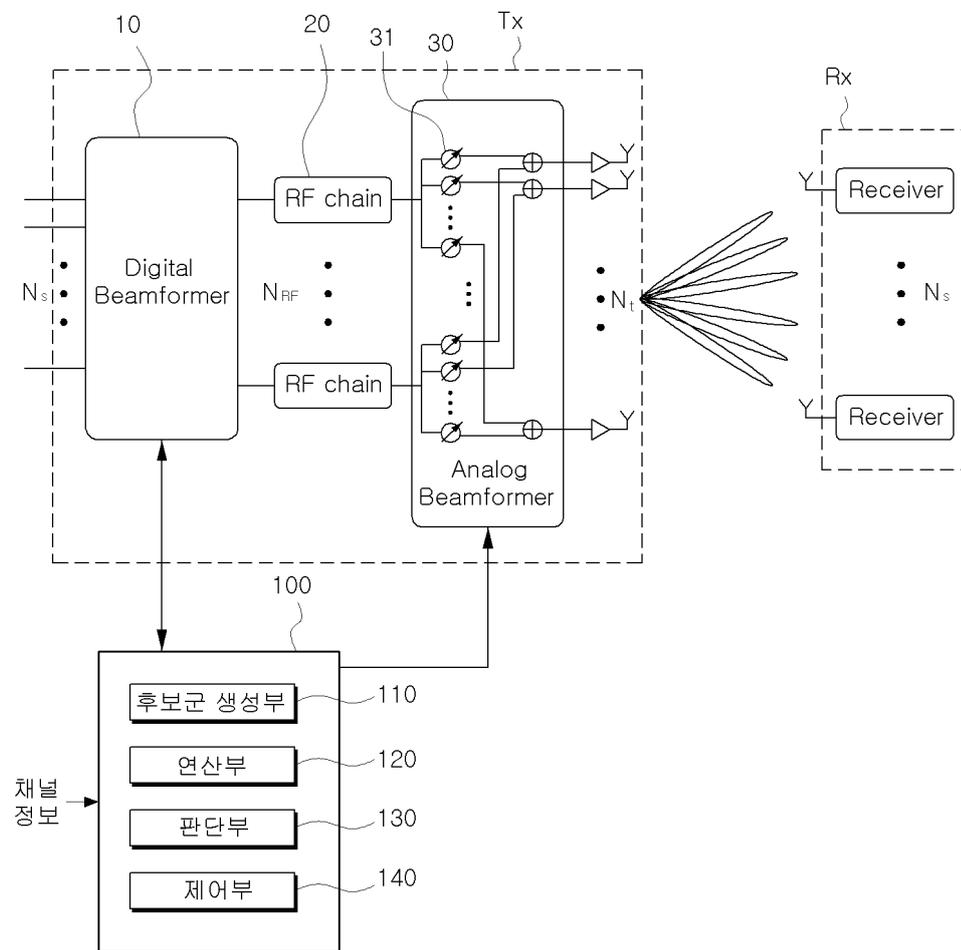
[0102] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

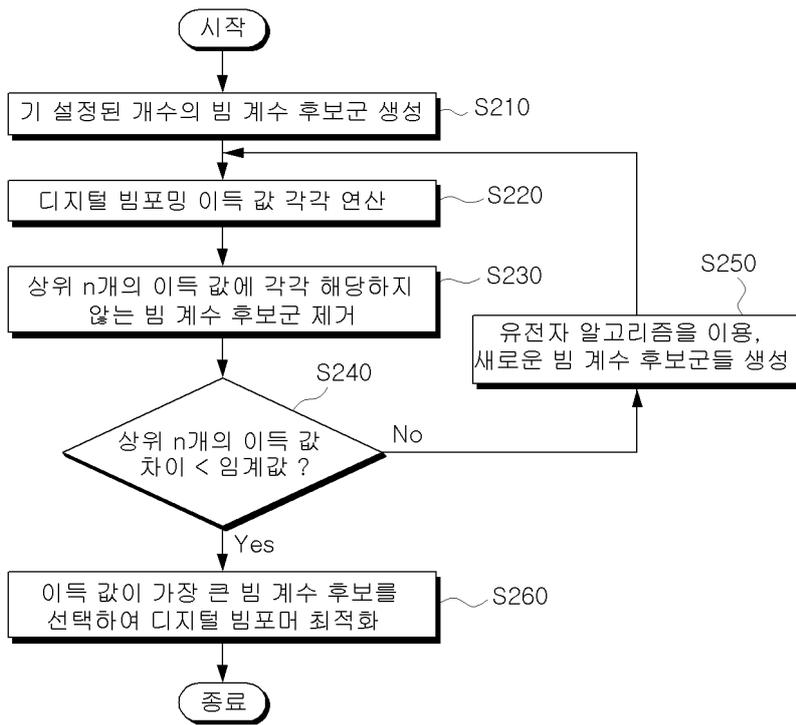
- [0103]
- | | |
|------------------|---------------|
| 10 : 디지털 빔포머 | 20 : RF 체인 |
| 31 : 아날로그 빔포머 | 30 : 위상회전기 |
| 100 : 빔 계수 탐색 장치 | 110 : 후보군 생성부 |
| 120 : 연산부 | 130 : 판단부 |
| 140 : 제어부 | |

도면

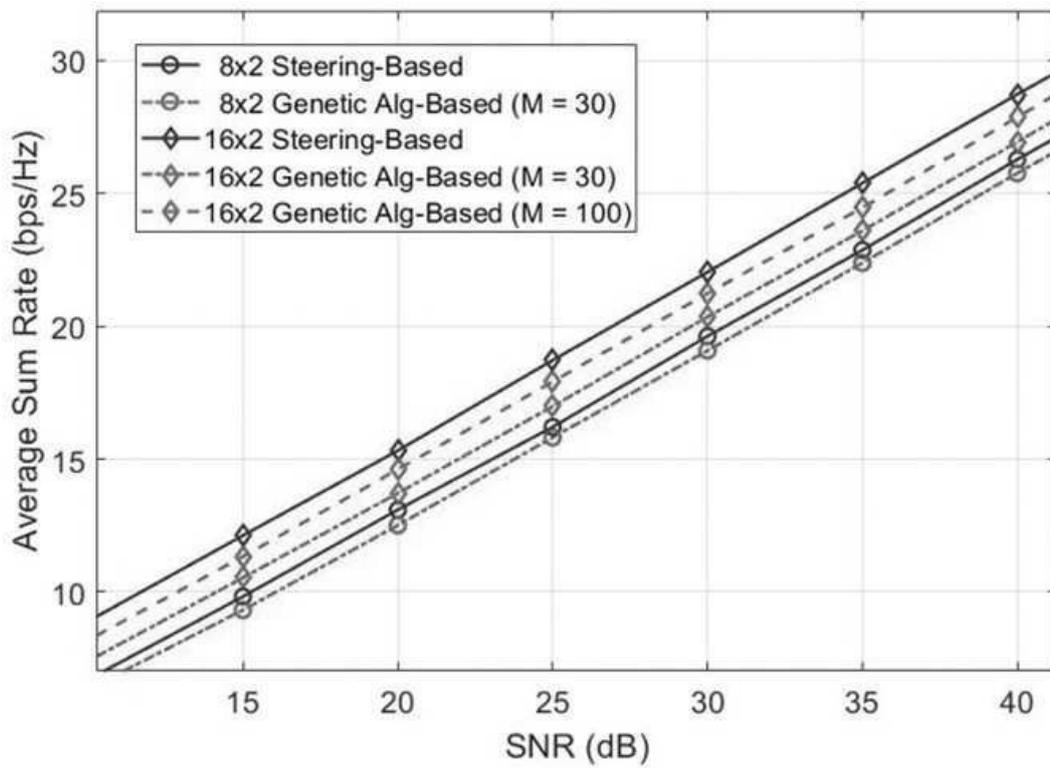
도면1



도면2



도면3



도면4

