(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년11월30일
(11) 등록번호 10-1681416
(24) 등록일자 2016년11월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/06 (2006.01) *H04B 7/08* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/0617 (2013.01)
H04B 7/0667 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0092435
(22) 출원일자 2015년06월29일
심사청구일자 2015년06월29일
(56) 선행기술조사문헌
Lie-liang Yang et al.; Reduced-Rank MMSE Detection in Space-Time Coded Space-Division Multiple-Access Systems; 2006 IEEE 17th international symposium on PIMRC; Sept. 2006*
Yabo Li et al.; On Quasi-Orthogonal Space-Time Block Codes for Dual-Polarized MIMO Channels; IEEE Transactions on Wireless Communications(Volume:11, Issue: 1); January 2012; Page(s): 397-407*
박현화 등; 결합 적응형 어레이 안테나를 적용한 무선 인터넷 시스템구조 제안 및 성능분석; 한국통신학회논문지 32(5), 433-440 (8 pages); 2007.5*
R. Kohno et al.; Array Antenna Beamforming Based On Estimation Of Arrival Angles Using DFT On Spatial Domain; IEEE International Symposium on PIMRC; Page(s): 38-43; 23-25 Sep 1991*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
장경희
서울특별시 마포구 신수로2길 26, 1103호 (현석동, 밤섬예가클래식아파트)
소신
인천광역 남구 용현1.4동 인하대학교 하이테크관 433호
(74) 대리인
양성보

전체 청구항 수 : 총 2 항 심사관 : 이정수

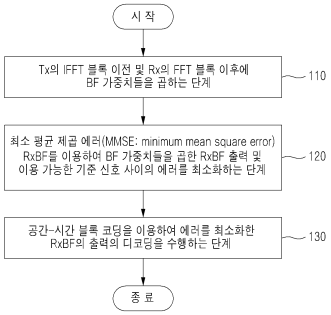
(54) 발명의 명칭 **트리플 편파 단일 선형 어레이 시스템을 활용한 공간-시간 블록 코딩과 빔포밍 방법 및 장치**

(57) 요 약

TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 방법 및 장치가 제시된다. 본 발명에서 제안하는 TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 방법은 전송기(Tx)의 IFFT 블록 이전 및 수신기(Rx)의 FFT 블록 이후에 빔포밍 가중치들을 곱하는 단계, 최소 평균 제곱 에러 수신기 빔포밍(RxBF)를 이용하여 상기 빔포밍 가중치들을 곱한 수신기 빔포밍(RxBF)

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는 단계, 공간-시간 블록 코딩(STBC)을 이용하여 상기 에러를 최소화한 수신기 빔포밍(RxBF)의 출력의 디코딩을 수행하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류
H04B 7/0854 (2013.01)
H04B 7/0891 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711014156
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 정보통신산업진흥센터
연구사업명 대학 IT연구센터 육성·지원
연구과제명 스마트한 주파수 이용을 위한 스펙트럼 및 전파기술
기 여 율 1/1
주관기관 인하대학교 산학협력단
연구기간 2015.01.01 ~ 2015.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 방법에 있어서,

전송기(Tx)의 IFFT 블록 이전 및 수신기(Rx)의 FFT 블록 이후에 빔포밍 가중치들을 곱하는 단계;

최소 평균 제곱 에러 수신기 빔포밍(RxBF)를 이용하여 상기 빔포밍 가중치들을 곱한 수신기 빔포밍(RxBF) 출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는 단계; 및

공간-시간 블록 코딩(STBC)을 이용하여 상기 에러를 최소화한 수신기 빔포밍(RxBF)의 출력의 디코딩을 수행하는 단계

를 포함하고,

상기 수신기(Rx)의 브랜치를 위한 3 개의 브랜치들을 갖는 전송기(Tx)의 어레이 요소들로부터 크로스-브랜치 링크들에 대하여, 상기 수신기 빔포밍(RxBF) 가중치 곱셈(weights multiplication) 전에 수신된 신호는 하기식과 같이 나타내고,

$$\begin{aligned}\mathbf{R}_{p\sim q_b} &= \left(\mathbf{h}_{p\sim q_b}\left(\mathbf{W}_p^{Tx}\odot\mathbf{X}_p\right)^T\right)^T+\mathbf{n}_{p\sim q_b}\ ,\\ &=\left(\mathbf{W}_p^{Tx}\odot\mathbf{X}_p\right)\mathbf{h}_{p\sim q_b}^T+\mathbf{n}_{p\sim q_b}\ ,\\ &=\left(r_{p\sim q_b,\mathrm{I}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{II}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{III}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}\right)^T\end{aligned}$$

여기에서 상기 $\odot$는 아다마르 곱셈(Hadamard product), 상기 $\mathbf{W}_p^{Tx}$는 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치 행렬을 나타내고,

상기 최소 평균 제곱 에러 수신기 빔포밍(RxBF)를 이용하여 상기 빔포밍 가중치들을 곱한 수신기 빔포밍(RxBF) 출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는 단계는,

위너-호프 방정식(Wiener-Hoff equation)에 의해 상기 수신기 빔포밍(RxBF)의 최적 가중치를 구하는 것을 특징으로 하고,

상기 공간-시간 블록 코딩(STBC)을 이용하여 상기 에러를 최소화한 수신기 빔포밍(RxBF)의 출력의 디코딩을 수행하는 단계는,

QO-STBC 디코딩 행렬을 이용하고, 상기 QO-STBC 디코딩 행렬은 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치를 고려하여 수정하는 것

을 특징으로 하는 TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 장치에 있어서,

전송기(Tx)의 IFFT 블록 이전 및 수신기(Rx)의 FFT 블록 이후에 빔포밍 가중치들을 곱하는 곱셈기;

최소 평균 제곱 에러 수신기 빔포밍(RxBF)를 이용하여 상기 빔포밍 가중치들을 곱한 수신기 빔포밍(RxBF) 출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는 에러 제거부; 및

공간-시간 블록 코딩(STBC)을 이용하여 상기 에러를 최소화한 수신기 빔포밍(RxBF)의 출력의 디코딩을 수행하는 QO-STBC 디코딩부

를 포함하고,

상기 수신기(Rx)의 브랜치를 위한 3 개의 브랜치들을 갖는 전송기(Tx)의 어레이 요소들로부터 크로스-브랜치 링크들에 대하여, 상기 수신기 빔포밍(RxBF) 가중치 곱셈(weights multiplication) 전에 수신된 신호는 하기식과 같이 나타내고,

$$\begin{aligned}\mathbf{R}_{p\sim q_b} &= \left(\mathbf{h}_{p\sim q_b}\left(\mathbf{W}_p^{Tx}\odot\mathbf{X}_p\right)^T\right)^T+\mathbf{n}_{p\sim q_b}\ ,\\ &=\left(\mathbf{W}_p^{Tx}\odot\mathbf{X}_p\right)\mathbf{h}_{p\sim q_b}^T+\mathbf{n}_{p\sim q_b}\ ,\\ &=\left(r_{p\sim q_b,\mathrm{I}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{II}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{III}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}\right)^T\end{aligned}$$

여기에서 상기 $\odot$ 는 아다마르 곱셈(Hadamard product), 상기 $\mathbf{W}_p^{Tx}$ 는 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치 행렬을 나타내고,

상기 에러 제거부는,

위너-호프 방정식(Wiener-Hoff equation)에 의해 상기 수신기 빔포밍(RxBF)의 최적 가중치를 구하고,

상기 QO-STBC 디코딩부는,

QO-STBC 디코딩 행렬을 이용하고, 상기 QO-STBC 디코딩 행렬은 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치를 고려하여 수정하는 것

을 특징으로 하는 TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 장치.

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 트리플 편파 단일 선형 어레이(TPULA: Triple-polarized Uniform Linear Array) 시스템을 활용한 공간-시간 블록 코딩(Space-time Block Coding: Space-Time Block Coding) 및 빔포밍(BF: Beam forming) 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 편파 안테나 시스템, 특히 5세대 네트워크의 사용에 대하여 수요가 점진적으로 늘어나고 있다. 이것은 주로 안테나 편파가 공간-제약 무선 장치들(space-limited wireless devices)의 설계를 위해 이용되는 중요한 자원이기 때문이다.

[0003] 공산-시간 다이버시티(space-time diversity)와 같은 기법, 다중화(multiplexing), 및 어레이 프로세싱(array processing)은 시스템 처리량(system throughput)을 늘리기 위해 편파 안테나 시스템에 적용될 수 있다. 비록 안테나 편파에 관한 많은 연구 논문 및 프로젝트들이 진행 중이지만, 편파 안테나 시스템에 대한 공간-시간 블록 코딩(STBC: Space-Time Block Coding) 및 빔포밍(BF: Beam forming) 기법을 사용하는 연구는 많은 관심을 받지 못하고 있다.

[0004] 일반적으로, STBC 및 BF 이득(gain)은 이전 동작이 낮은 상관 MIMO 채널을 잘 수행하고, 다음 동작은 높은 상관을 갖는 환경에서 효율적이기 때문에 동시에 얻을 수 없다. 하지만, 안테나 편파를 갖는 어레이 시스템들은 일반적으로 비상관인 시스템에서 상호-브랜치 링크들(cross-branch links) 때문에 동시에 두 기법으로 이득을 달성할 가능성을 갖는다. 한편, 상호-어레이 링크들은 어레이 요소 공간을 동일하게 또는 더 낮게, 반파(half-wavelength)로 설정함으로써 더 높은 상관 관계가 될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 TPULA(triple-polarized uniform linear array) 시스템을 통해 빔포밍(BF: Beam forming) 기법 및 3 개의 전송 안테나에 STBC(Space-time Block Coding)를 적용함으로써 STBC 및 BF 이득을 동시에 얻을 수 있는 로버스트 방법 및 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 방법은 전송기(Tx)의 IFFT 블록 이전 및 수신기(Rx)의 FFT 블록 이후에 빔포밍 가중치들을 곱하는 단계, 최소 평균 제곱 에러 수신기 빔포밍(RxBF)를 이용하여 상기 빔포밍 가중치들을 곱한 수신기 빔포밍(RxBF) 출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는 단계, 공간-시간 블록 코딩(STBC)을 이용하여 상기 에러를 최소화한 수신기 빔포밍(RxBF)의 출력의 디코딩을 수행하는 단계를 포함한다.

[0007] 상기 수신기(Rx)의 브랜치를 위한 3 개의 브랜치들을 갖는 전송기(Tx)의 어레이 요소들로부터 크로스-브랜치 링크들에 대하여, 상기 수신기 빔포밍(RxBF) 가중치 곱셈(weights multiplication) 전에 수신된 신호는 하기식과 같이 나타내고,

[0008]
$$\begin{aligned}\mathbf{R}_{p\sim q_b} &= \left(\mathbf{h}_{p\sim q_b}\left(\mathbf{W}_p^{Tx}\odot\mathbf{X}_p\right)^T\right)^T+\mathbf{n}_{p\sim q_b}\ , \\ &= \left(\mathbf{W}_p^{Tx}\odot\mathbf{X}_p\right)\mathbf{h}_{p\sim q_b}^T+\mathbf{n}_{p\sim q_b}\ , \\ &= \left(r_{p\sim q_b,\mathrm{I}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{II}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{III}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}\right)^T\end{aligned}$$

[0009] 여기에서 상기 $\odot$는 아다마르 곱셈(Hadamard product), 상기 $\mathbf{W}_p^{Tx}$는 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치 행렬을 나타낸다.

[0010] 상기 최소 평균 제곱 에러 수신기 빔포밍(RxBF)를 이용하여 상기 빔포밍 가중치들을 곱한 수신기 빔포밍(RxBF) 출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는 단계는 위너-호프 방정식(Wiener-Hoff equation)에 의해 상기 수신기 빔포밍(RxBF)의 최적 가중치를 구한다.

[0011] 상기 공간-시간 블록 코딩(STBC)을 이용하여 상기 에러를 최소화한 수신기 빔포밍(RxBF)의 출력의 디코딩을 수행하는 단계는 QO-STBC 디코딩 행렬을 이용하고, 상기 QO-STBC 디코딩 행렬은 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치를 고려하여 수정한다.

[0012] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 장치는 전송기(Tx)의 IFFT 블록 이전 및 수신기(Rx)의 FFT 블록 이후에 빔포밍 가중치들을 곱하는 곱셈기, 최소 평균 제곱 에러 수신기 빔포밍(RxBF)를 이용하여 상기 빔포밍 가중치들을 곱한 수신기 빔포밍(RxBF) 출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는 에러 제거부, 공간-시간 블록 코딩(STBC)을 이용하여 상기 에러를 최소화한 수신기 빔포밍(RxBF)의 출력의 디코딩을 수행하는 QO-STBC 디코딩부를 포함한다.

[0013] 상기 에러 제거부는 위너-호프 방정식(Wiener-Hoff equation)에 의해 상기 수신기 빔포밍(RxBF)의 최적 가중치를 구한다.

[0014] 상기 QO-STBC 디코딩부는 QO-STBC 디코딩 행렬을 이용하고, 상기 QO-STBC 디코딩 행렬은 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치를 고려하여 수정한다.

발명의 효과

[0015] 본 발명의 실시예들에 따르면 데이터 전송 에러 비율의 성능은 제안된 기법을 통해 향상될 수 있다. 또한, STBC 및 BF의 이득들은 동시에 얻을 수 있다.

[0016] 공간-시간 코딩을 갖지 않고, BF 이득을 달성하지 못하기 때문에 가장 안 좋은 성능을 갖는다. 간섭 제거에 대한 종래기술에 따른 수신기 연구를 적용함으로써 목표 BLER에서 거의 1dB의 신호-대-신호 비율(SNR: signal-to-noise ratio) 이득이 달성될 수 있다. 게다가, TxBF가 적용된 경우에는 목표 BLER에서 실내 환경하에서 대략 2.3dB의 SNR 이득을 얻을 수 있다. 그리고, MMSE RxBF를 사용함으로써 STBC 디코딩 프로세스로 유입되는 에러의 양이 감소하기 때문에 목표 BLER에서 0.5dB SNR 이득을 얻을 수 있다. 또한, 셀-에지(cell-edge) 사용자가 좋은 성능을 유지하기에 적합하다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은본 발명의 일 실시예에 따른 TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 2은 본 발명의 일 실시예에 따른 직교 TPMIMO 시스템을 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 TPULA 시스템에 의해 생성된 3D 빔들을 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른STBC 및 BF를 갖는 OFDM 기반 TPULA 시스템을 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 TxBF 가중치들에 대한 제로 설정을 나타내는 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 BLER의 시뮬레이션 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0020] 제안하는 TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 방법은 각 AE(array element)에서 3개의 상호-위치한 안테나 브랜치들이 완벽하게 직교하는 것을 가정한다. 그이고, 수신기(Rx) 의 위치는 전송기(Tx)에 의해 알 수 있는 것을 가정한다.

[0021] TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 방법은 전송기(Tx)의 IFFT 블록 이전 및 수신기(Rx)의 FFT 블록 이후에 빔포밍 가중치들을 곱하는 단계(110), 최소 평균 제곱 에러 수신기 빔포밍(RxBF)를 이용하여 상기 빔포밍 가중치들을 곱한 수신기 빔포밍(RxBF) 출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는 단계(120), 공간-시간 블록 코딩(STBC)을 이용하여 상기 에러를 최소화한 수신기 빔포밍(RxBF)의 출력의 디코딩을 수행하는 단계(130)를 포함한다.

[0022] 종래기술에 따른 MIMO(Multi-input Multi-output) 시스템에서 STBC(Space-time Block Coding) 및 BF(Beam forming) 이득을 동시에 얻을 수 있는 효과적인 접근 방법은 없다. 따라서, TPULA(triple-polarized uniform linear array) 시스템을 통해 BF 기법 및 3 개의 전송 안테나에 STBC를 적용함으로써 이러한 제약을 대처할 수 있는 로버스트 기법을 제안한다.

[0023] 제안하는 방법에서 편파 안테나 브랜치들(polarized antenna branches)은 X-Y, Z-X, 및 Y-Z 평면들에서 3 개의 직교 빔들을 조종하는 3 개의 세트들로 그룹화된다. 그리고, 제안하는 STBC는 공간-시간 다이버시티 이득(space-time diversity gain)을 위해 각 AE(array element)의 3 개의 직교적으로 상호-위치한 브랜치들에 추가적으로 적용된다.

[0024] 상기 수신기(Rx)의 브랜치를 위한 3 개의 브랜치들을 갖는 전송기(Tx)의 어레이 요소들로부터 크로스-브랜치 링

크들에 대하여, 상기 수신기 빔포밍(RxBF) 가중치 곱셈(weights multiplication) 전에 수신된 신호는 하기식과 같이 나타내고,

[0025]
$$\begin{aligned}\mathbf{R}_{p\sim q_b} &= \left(\mathbf{h}_{p\sim q_b}\left(\mathbf{W}_p^{Tx}\odot\mathbf{X}_p\right)^T\right)^T+\mathbf{n}_{p\sim q_b}\ ,\\ &=\left(\mathbf{W}_p^{Tx}\odot\mathbf{X}_p\right)\mathbf{h}_{p\sim q_b}^T+\mathbf{n}_{p\sim q_b}\ ,\\ &=\left(r_{p\sim q_b,\mathrm{I}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{II}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{III}}\quad r_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}\right)^T\end{aligned}$$

[0026] 여기에서 상기 $\odot$는 아다마르 곱셈(Hadamard product), 상기 $\mathbf{W}_p^{Tx}$는 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치 행렬을 나타낸다.

[0027] 상기 최소 평균 제곱 에러 수신기 빔포밍(RxBF)를 이용하여 상기 빔포밍 가중치들을 곱한 수신기 빔포밍(RxBF) 출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는 단계(120)는 위너-호프 방정식(Wiener-Hoff equation)에 의해 상기 수신기 빔포밍(RxBF)의 최적 가중치를 구한다.

[0028] 상기 공간-시간 블록 코딩(STBC)을 이용하여 상기 에러를 최소화한 수신기 빔포밍(RxBF)의 출력의 디코딩을 수행하는 단계(130)는 상기 디코딩은 QO-STBC 디코딩 행렬을 이용하고, 상기 QO-STBC 디코딩 행렬은 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치를 고려하여 수정한다. 도 2 내지 도 6을 참조하여 더욱 상세히 설명한다.

[0029] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 직교 TPMIMO 시스템을 나타내는 도면이다.

[0030] 도 2는 어레이 및 브랜치(A&B: array and branch) 다중 안테나 배열(multiple antennae configuration)에서 멀티플 안테나 배열 직교(orthogonal) 트리플 편광 MIMO(TPMIMO: triple-polarized MIMO) 시스템의 실시예를 제공한다.

[0031] 도 2(a)에 따르면, 전송기(transmitter)(Tx) 수신기(receiver)(Rx) 포트들(ports)에 3개의 직교 상호-위치한 안테나 브랜치들이 있다. 그러므로, 이러한 PMIMO 전송기는 브랜치 라벨에서 TPMIMOB로 정의된다. 도 2(b)에 나타낸 것과 같이, 상기 Tx 및 상기 Rx에서 편파된 어레이 요소들(AEs: polarized array elements)을 균일하게 정렬함으로써 PMIMO 시스템은 TPMIMOA&B(다시 말해, TPULA)로서 정의될 수 있고, 이것은 안테나 편파(antenna polarization)가 브랜치 및 어레이 라벨들(branch and array levels) 모두에서 실현되는 것을 나타낸다.

[0032] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 TPULA 시스템에 의해 생성된 3D 빔들을 나타내는 도면이다.

[0033] TPULA 시스템에 의해 생성된 3D 빔포밍(3D-BF: 3D Beamforming)에서, 빔-폭(beam-width)은 배열 어레이 배열과 관련이 있고, 이것은 AEs 및 AE 공간의 수에 반비례 한다.

[0034] 각 AE에서 3개의 상호-위치한 브랜치들 사이의 공간이 제로에 고정되기 때문에, 도 2에 나타낸 것과 같이, 360°까지 확장되는 빔-폭 스케일을 만들 수 있고, 상기 빔들은 각 AE에서 상기 상호-위치한 브랜치들 보다는 해당 크로스-어레이 브랜치들을 통해 생성된다.

[0035] 그러므로, TPULA 시스템은 아래와 같은 3 개의 직교 빔을 생성할 수 있다:

[0036] - X-Y 평면에서 빔 조정 및 변화는 $T/RxA_{p(q)}B1$의 브랜치의 설정에 의해 형성될 수 있고, 여기에서 p(q) = 1, 2, ..., P(Q) 이다.

[0037] - Z-X 평면에서 빔 조정 및 변화는 $T/RxA_{p(q)}B2$의 브랜치의 설정에 의해 형성될 수 있다.

[0038] - Y-Z 평면에서 빔 조정 및 변화는 $T/RxA_{p(q)}B3$의 브랜치의 설정에 의해 형성될 수 있다.

[0039] 도 3은 TPULA 시스템에 의해 생성된 3D 빔들 나타내고, 여기에서 3개의 직교 빔들은 X-Y, Z-X 및 Y-Z 평면상에서 분리되어 조정될 수 있고, 변화될 수 있다.

[0040] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른STBC 및 BF를 갖는 OFDM 기반 TPULA 시스템을 나타내는 도면이다.

[0041] 도 4는 STBC 및 BF를 갖는 제안된 OFDM-기반 TPULA 시스템의 시스템 구조를 나타낸다.

[0042] TPULA 시스템을 활용한 STBC과 빔포밍 장치는 전송기(Tx)의 IFFT 블록 이전 및 수신기(Rx)의 FFT 블록 이후에 빔포밍 가중치들을 곱하는 곱셈기($w_{p_b}^{Tx}$ 및 $w_{q_b}^{Rx}$), 최소 평균 제곱 에러 수신기 빔포밍(RxBF)를 이용하여 상기 빔포밍 가중치들을 곱한 수신기 빔포밍(RxBF) 출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는 에러 제거부(GI Removal & FFT), 공간-시간 블록 코딩(STBC)을 이용하여 상기 에러를 최소화한 수신기 빔포밍(RxBF)의 출력의 디코딩을 수행하는 QO-STBC 디코딩부(QO-STBC Decoding)를 포함한다.

[0043] 상기 에러 제거부(GI Removal & FFT)는 위너-호프 방정식(Wiener-Hoff equation)에 의해 상기 수신기 빔포밍(RxBF)의 최적 가중치를 구한다.

[0044] 상기 QO-STBC 디코딩부(QO-STBC Decoding)는 QO-STBC 디코딩 행렬을 이용하고, 상기 QO-STBC 디코딩 행렬은 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치를 고려하여 수정한다.

[0045] 더욱 상세하게는, 상기 디코딩은 QO-STBC 디코딩 행렬을 이용하고, 상기 QO-STBC 디코딩 행렬은 전송기 빔포밍(TxBF) 가중치를 고려하여 수정BF 가중치들(weights)($w_{p_b}^{Tx}$ 및 $w_{q_b}^{Rx}$)을 Tx의 IFFT(inverse fast Fourier transform) 블록 이전 및 Rx의 FFT 블록 이후에 곱하고, 여기에서 p(1, 2, ..., P), q(1, 2, 3), 및 b(1, 2, 3)은 각각 Tx AE, Rx AE, 및 안테나 브랜치(antenna branch)의 인덱스를 나타낸다.

[0046] 아래 나타낸 X_p 는 전송된 QO-STBC(quasi-orthogonal STBC) 심볼 행렬이다. 여기에서 로마 숫자(Roman numeral)는 심볼 인덱스이고, i는 4의 시간 인덱스 모듈로(time index modulo)(I = 4), j 는 3의 안테나 인덱스 모듈로(antenna index modulo)(J = 3)이다.

[0047]
$$\mathbf{X}_p = \begin{pmatrix} x_{\mathrm{II}} & x_{\mathrm{III}} & x_{\mathrm{IV}} \\ x_{\mathrm{I}}^{*} & -x_{\mathrm{IV}}^{*} & x_{\mathrm{III}}^{*} \\ x_{\mathrm{IV}} & x_{\mathrm{I}} & x_{\mathrm{II}} \\ x_{\mathrm{III}}^{*} & -x_{\mathrm{II}}^{*} & x_{\mathrm{I}}^{*} \end{pmatrix}_{I-by-J}$$

[0048] 싱글 Rx 브랜치 q_b, 다시 말해 $\mathbf{h}_{p\sim q_b}$ 를 위한 3 개의 브랜치들을 갖는 p^{th} Tx AE로부터 크로스-브랜치 링크들(cross-branch links)에 대하여, RxBF 가중치 곱셈(weights multiplication) 전에 수신된 신호는 하기식과 같이 주어진다.

[0049]
$$\begin{aligned} \mathbf{R}_{p\sim q_b} &= \left(\mathbf{h}_{p\sim q_b}\left(\mathbf{W}_p^{Tx}\odot\mathbf{X}_p\right)^T\right)^T + \mathbf{n}_{p\sim q_b}\ , \\ &= \left(\mathbf{W}_p^{Tx}\odot\mathbf{X}_p\right)\mathbf{h}_{p\sim q_b}^T + \mathbf{n}_{p\sim q_b}\ , \\ &= \left(r_{p\sim q_b,\mathrm{I}} \quad r_{p\sim q_b,\mathrm{II}} \quad r_{p\sim q_b,\mathrm{III}} \quad r_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}\right)^T \end{aligned}$$

[0050] 여기에서 $\odot$ 는 아다마르 곱셈(Hadamard product), $\mathbf{W}_p^{Tx}$ 는 다음과 같이 주어지는 TxBF 가중치 행렬을 나타낸다.

[0051] $\mathbf{h}_{p\sim q_b}$ 는 하기식과 같이 주어지는 편파 크로스-브랜치 링크들(polarized cross-branch links)의 벡터이다.

[0052]
$$\mathbf{h}_{p\sim q_b} = \left(h_{p_1\sim q_b} \quad h_{p_2\sim q_b} \quad h_{p_3\sim q_b}\right)$$

[0053] 그리고, $\mathbf{n}_{p\sim q_b}$ 는 하기식과 같이 주어지는 노이즈 벡터이다.

[0054] $$\mathbf{n}_{p\sim q_b}=\left(\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{I}}\quad \sigma_{p\sim q_b,\mathrm{II}}\quad \sigma_{p\sim q_b,\mathrm{III}}\quad \sigma_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}\right)^T$$

[0055] 최소 평균 제곱 에러(MMSE: minimum mean square error) RxBF는 RxBF 출력 및 이용 가능한 기준 신호 사이의 에러를 최소화하는데 사용되고, 여기에서 위너-호프 방정식(Wiener-Hoff equation)에 의해 최적 가중치 $w_{q_b}^{Rx}$ 를 얻을 수 있다. 그러면, RxBF 이후 신호는 $\tilde{\mathbf{R}}_{p\sim q_b}=w_{q_b}^{Rx}\mathbf{R}_{p\sim q_b}$ 와 같이 주어진다.

[0056] STBC 디코딩은 RxBF 이후에 적용되고, 하기식과 같다.

[0057] $$\tilde{\mathbf{X}}_{p\sim q_b}=\mathbf{D}_{p\sim q_b}\mathbf{T}_{p\sim q_b}=\left(\tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{I}}\quad \tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{II}}\quad \tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{III}}\quad \tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}\right)^T$$

[0058] 여기에서, $\mathbf{D}_{p\sim q_b}$ 는 QO-STBC 디코딩 행렬이고, 이것은 하기식과 같이 주어진 TxBF 가중치를 고려하여 수정된다.

[0059] $$\mathbf{D}_{p\sim q_b}=\begin{pmatrix} 0 & w_{p_1}^{Tx}h_{p_1\sim q_b} & \left(w_{p_2}^{Tx}\right)^*h_{p_2\sim q_b}^* & w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b} \\ \left(w_{p_1}^{Tx}\right)^*h_{p_1\sim q_b}^* & 0 & \left(w_{p_3}^{Tx}\right)^*h_{p_3\sim q_b}^* & -w_{p_2}^{Tx}h_{p_2\sim q_b} \\ \left(w_{p_2}^{Tx}\right)^*h_{p_2\sim q_b}^* & w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b} & 0 & w_{p_1}^{Tx}h_{p_1\sim q_b} \\ \left(w_{p_3}^{Tx}\right)^*h_{p_3\sim q_b}^* & -w_{p_2}^{Tx}h_{p_2\sim q_b} & \left(w_{p,1}^{Tx}\right)^*h_{p_1\sim q_b}^* & 0 \end{pmatrix}$$

[0060] $\mathbf{T}_{p\sim q_b}$ 는 $\tilde{\mathbf{R}}_{p\sim q_b}$ 의 두 번째 및 네 번째 요소에 켤레(conjugate)를 취함으로써 다음과 같이 정의된다.

[0061] $$\mathbf{T}_{p\sim q_b}=\left(\tilde{r}_{p\sim q_b,\mathrm{I}}\quad \tilde{r}_{p\sim q_b,\mathrm{II}}^*\quad \tilde{r}_{p\sim q_b,\mathrm{III}}\quad \tilde{r}_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}^*\right)^T$$

[0062] 제안된 기법의 마지막 출력은 도 4에서 마지막 함수 블록(다시 말해, Rx 결합(combining))에 의해 다음과 같이 구해질 수 있다.

[0063] $$\tilde{\mathbf{X}}=\sum_{q=1}^{Q}\sum_{b=1}^{3}\left(\tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{I}}\quad \tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{II}}\quad \tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{III}}\quad \tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}\right)^T$$

[0064] 계산에 의해, 디코딩된 신호는 다음과 같이 주어진다.

[0065] $$\tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{I}}=\underbrace{\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left(\left|w_{p_1}^{Tx}h_{p_1\sim q_b}\right|^2+\left|w_{p_2}^{Tx}h_{p_2\sim q_b}\right|^2+\left|w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\right|^2\right)x_{\mathrm{I}}}_{\text{Desired singal}}+\underbrace{\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left[w_{p_1}^{Tx}h_{p_2\sim q_b}\left(w_{p_2}^{Tx}\right)^*h_{p_1\sim q_b}^*+w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\left(w_{p_1}^{Tx}\right)^*h_{p_1\sim q_b}^*\right]x_{\mathrm{III}}}_{\text{Interference caused by adjacent signal}}+\underbrace{\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left[w_{p_1}^{Tx}h_{p_2\sim q_b}\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{II}}^*+\left(w_{p_2}^{Tx}\right)^*h_{p_2\sim q_b}^*\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{III}}+w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}^*\right]}_{\text{Noise}},$$

$$\tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{II}}=\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left(\left|w_{p_1}^{Tx}h_{p_1\sim q_b}\right|^2+\left|w_{p_2}^{Tx}h_{p_2\sim q_b}\right|^2+\left|w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\right|^2\right)x_{\mathrm{II}}+\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left[w_{p_1}^{Tx}h_{p_2\sim q_b}\left(w_{p_3}^{Tx}\right)^*h_{p_3\sim q_b}^*+w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\left(w_{p_1}^{Tx}\right)^*h_{p_1\sim q_b}^*\right]x_{\mathrm{IV}}+\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left[w_{p_1}^{Tx}h_{p_2\sim q_b}\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{II}}^*+\left(w_{p_2}^{Tx}\right)^*h_{p_2\sim q_b}^*\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{III}}+w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}^*\right],$$

$$\tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{III}}=\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left(\left|w_{p_1}^{Tx}h_{p_1\sim q_b}\right|^2+\left|w_{p_2}^{Tx}h_{p_2\sim q_b}\right|^2+\left|w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\right|^2\right)x_{\mathrm{III}}+\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left[w_{p_1}^{Tx}h_{p_2\sim q_b}\left(w_{p_2}^{Tx}\right)^*h_{p_2\sim q_b}^*+w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\left(w_{p_3}^{Tx}\right)^*h_{p_3\sim q_b}^*\right]x_{\mathrm{I}}+\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left[w_{p_1}^{Tx}h_{p_2\sim q_b}\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{II}}^*+\left(w_{p_2}^{Tx}\right)^*h_{p_2\sim q_b}^*\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{III}}+w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}^*\right],$$

$$\tilde{x}_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}=\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left(\left|w_{p_1}^{Tx}h_{p_1\sim q_b}\right|^2+\left|w_{p_2}^{Tx}h_{p_2\sim q_b}\right|^2+\left|w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\right|^2\right)x_{\mathrm{IV}}+\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left[w_{p_1}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\left(w_{p_2}^{Tx}\right)^*h_{p_2\sim q_b}^*+w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\left(w_{p_3}^{Tx}\right)^*h_{p_3\sim q_b}^*\right]x_{\mathrm{II}}+\left(w_{q_b}^{Rx}\right)^2\left[w_{p_1}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{II}}^*+\left(w_{p_2}^{Tx}\right)^*h_{p_2\sim q_b}^*\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{III}}+w_{p_3}^{Tx}h_{p_3\sim q_b}\sigma_{p\sim q_b,\mathrm{IV}}^*\right].$$

[0066] $w_{p_1}^{Tx}$ 또는 $w_{p_3}^{Tx}$ 둘 중 하나를 QO-STBC의 비-직교성에 의해 발생된 간섭에 대응할 수 있는 제로로 설정한다. 제로의 설정은 OBSA(off bore-sight angle) 효과에 의해 결정되기 위해 필요하고, 여기에서 조준(bore-

sight)은 어레이 정렬의 방향에 대한 수직 축을 나타낸다.

[0067] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 TxBF 가중치들에 대한 제로 설정을 나타내는 도면이다.

[0068] 예를 들어, 도 5에서, TxApB1의 브랜치들의 설정에 의해 실선 빔(solid beam)이 생성될 수 있고, TxApB3의 브랜치들의 설정에 의해 점선 빔(dotted beam)이 생성된다. 종래기술에 따르면, 상기 빔-폭은 아려져 있고, 이것은 OBSA 값에 정비례한다. 그러므로, $w_{p_3}^{Tx} = 0 \ (\text{when } \alpha < \beta)$ 또는 $w_{p_1}^{Tx} = 0 \ (\text{when } \alpha > \beta)$ 는 증가하는 빔-폭을 피하기 위해 제안될 수 있다.

[0069] 위에서 설명한 것과 같이, Rx의 위치는 Tx에 의해 알려지는 것으로 가정된다. 추가적으로, 제로-포커싱(zero-forcing) TxBF을 사용함으로써, TxBF 가중치 설정들, 다시 말해, $(w_{p_1} = 0, w_{p_2} = h_{p_2}^{-1}, \ w_{p_3} = h_{p_3}^{-1}$ 또는 $(w_{p_3} = 0, w_{p_2} = h_{p_2}^{-1}, w_{p_1} = h_{p_1}^{-1})$ 에 대한 두 개의 옵션을 가질 수 있고, 이것은 주로 Rx의 위치에 기반하여 결정된다.

[0070] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 BLER의 시뮬레이션 결과이다.

[0071] 데이터 전송 에러 비율의 성능은 제안된 기법을 통해 향상될 수 있다. 그리고, STBC 및 BF의 이득들은 동시에 얻을 수 있다.

[0072] 도 6은 TPULA만을 적용한 경우1(다시 말해, STBC 및 BF 없는), STBC를 갖는 TPULA를 적용한 경우2, STBC 및 TxBF을 갖는 TPULA를 적용한 경우3, 및 SBTC 및 TRxBF를 갖는 TPULA를 적용한 경우4에 대하여 시뮬레이션 한 블록 에러 비율(BLER: block error rate) 커브들을 나타내고, 여기에서 성능 비교를 위한 목표 BLER은 10^{-2}로 고정한다.

[0073] 도 6에 따르면, 경우1은 공간-시간 코딩을 갖지 않고, BF 이득을 달성하지 못하기 때문에 가장 안 좋은 성능을 갖는다. 간섭 제거에 대한 종래기술에 따른 수신기 연구를 적용함으로써, 실내 환경 하에서 경우2를 경우1과 비교하면, 경우2는 목표 BLER에서 거의 1dB의 신호-대-신호 비율(SNR: signal-to-noise ratio) 이득이 달성될 수 있다. 그리고, TxBF가 적용된 경우3을 경우2와 비교하면, 경우3은 목표 BLER에서 실내 환경하에서 대략 2.3dB의 SNR 이득을 얻을 수 있다. 경우4를 경우3과 비교하면, 경우4를 통해 MMSE RxBF를 사용함으로써 STBC 디코딩 프로세스로 유입되는 에러의 양이 감소하기 때문에 목표 BLER에서 0.5dB SNR 이득을 얻을 수 있다. 또한, 제안하는 기법은 셀-에지(cell-edge) 사용자가 좋은 성능을 유지하기에 적합하다.

[0074] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0075] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나

처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

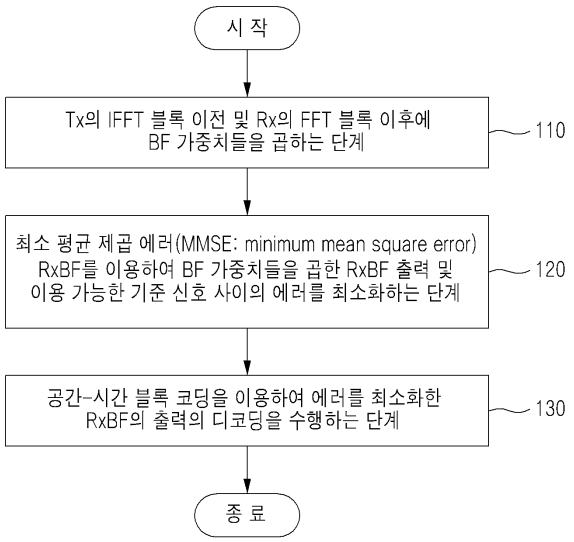
[0076] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0077] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

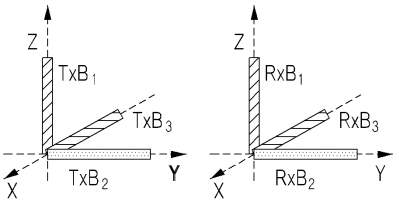
[0078] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

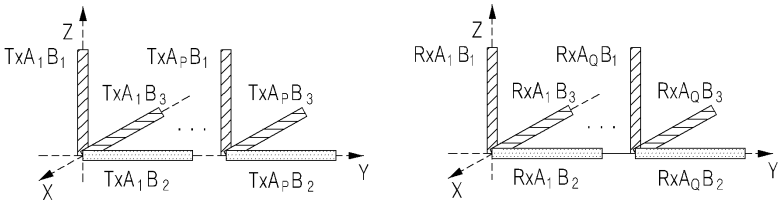
도면1



도면2

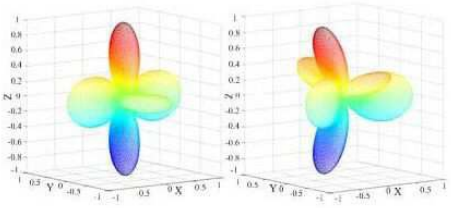


(a) TPMIMO$_B$

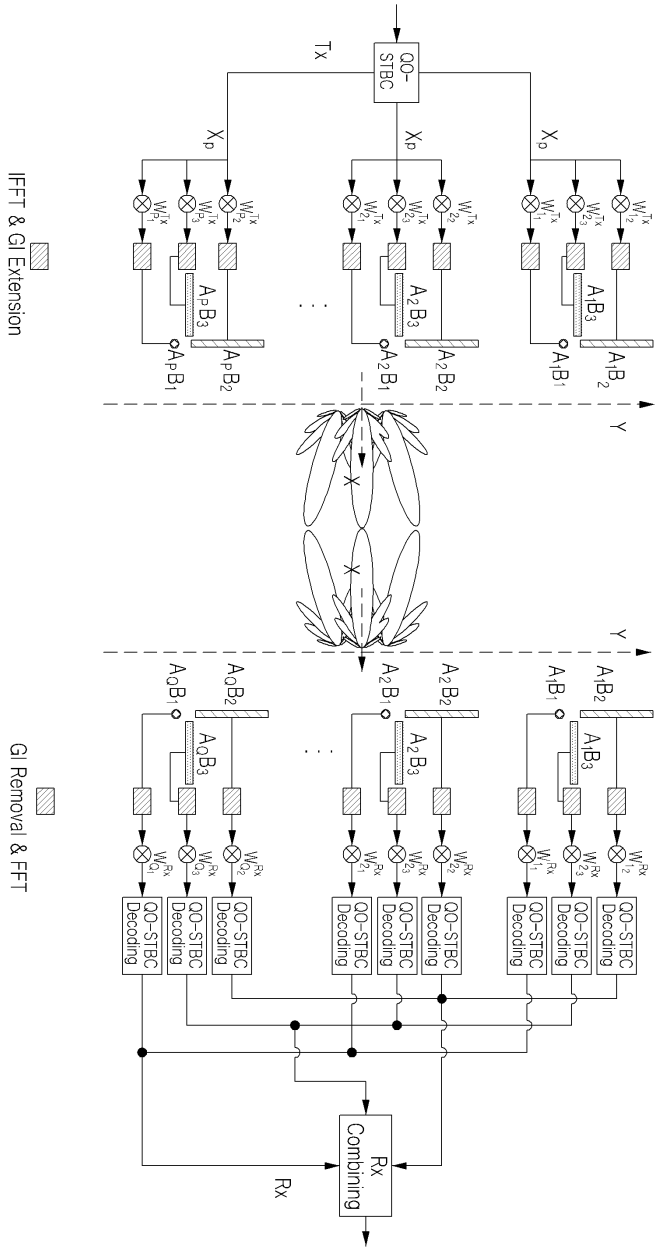


(B) TPMIMO$_{A\&B}$(TPULA).

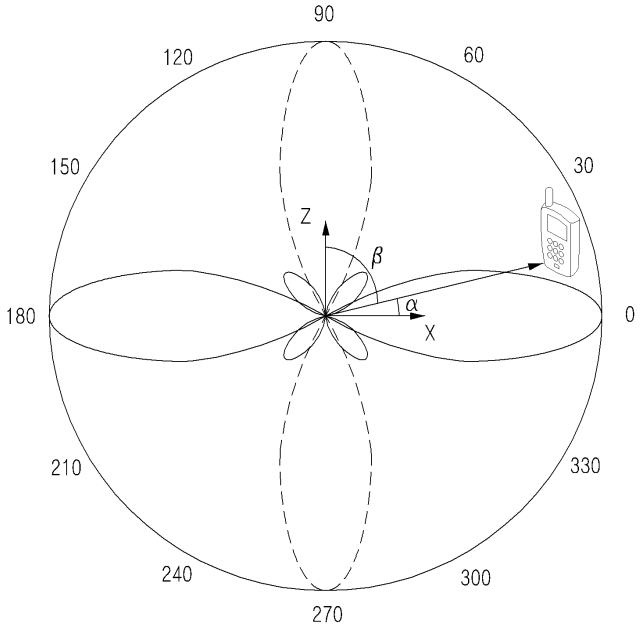
도면3



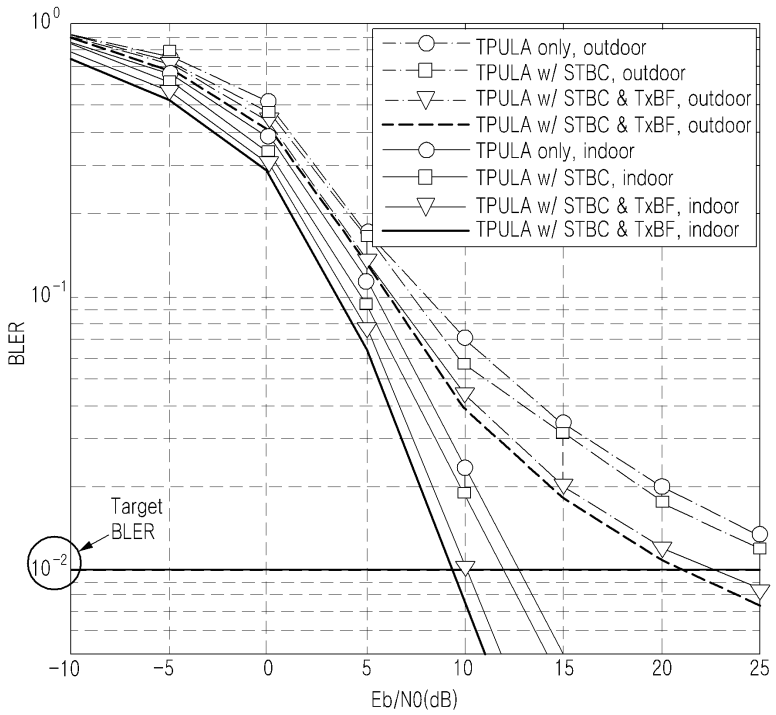
도면4


Tx
QO-STBC
Xp
Y
X
Rx
Combining
IFFT & GI Extension
GI Removal & FFT
QO-STBC Decoding

도면5


90
120
60
150
30
Z
β
α
180
0
X
210
330
240
300
270

도면6


10^0
10^{-1}
BLER
Target
BLER
10^{-2}
TPULA only, outdoor
TPULA w/ STBC, outdoor
TPULA w/ STBC & TxBF, outdoor
TPULA w/ STBC & TxBF, outdoor
TPULA only, indoor
TPULA w/ STBC, indoor
TPULA w/ STBC & TxBF, indoor
TPULA w/ STBC & TxBF, indoor
-10
-5
0
5
10
15
20
25
Eb/N0(dB)