

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(43) 국제공개일
2011년 10월 13일 (13.10.2011)

PCT

(10) 국제공개번호
WO 2011/126243 A2

- (51) 국제특허분류:
H04B 7/04 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2011/002310
- (22) 국제출원일: 2011년 4월 4일 (04.04.2011)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2010-0031146 2010년 4월 5일 (05.04.2010) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여):
(주)팬텍 (PANTECH CO.,LTD.) [KR/KR]; 서울시 마포구 상암동 DMC I-2 팬택빌딩, 121-270 Seoul (KR).
- (72) 발명자: 겸
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): 박정민 (PARK, Ky-oungmin) [KR/KR]; 서울시 마포구 상암동 DMC I-2 팬택빌딩, 121-270 Seoul (KR). 리지안준 (LI, Jianjun) [CN/KR]; 서울시 마포구 상암동 DMC I-2 팬택빌딩, 121-270 Seoul (KR). 서성진 (SUH, Sungjin) [KR/KR]; 서울시 마포구 상암동 DMC I-2 팬택빌딩, 121-270 Seoul (KR). 홍성권 (HONG, Sungkwon) [KR/KR]; 서울시 마포구 상암동 DMC I-2 팬택빌딩, 121-270 Seoul (KR).
- (74) 대리인: 김은구 (KIM, Eungu) 등; 서울특별시 강남구 역삼동 636-15 상원빌딩 2층, 135-908 Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

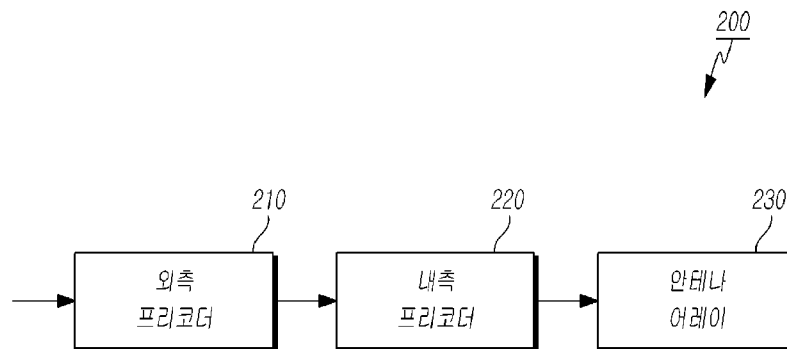
공개:

— 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

(54) Title: CHANNEL STATE INFORMATION FEEDBACK DEVICE, METHOD THEREOF, AND BASE STATION

(54) 발명의 명칭 : 채널상태정보 피드백 장치와 그 방법, 기지국

[Fig. 3]



210 ... External precoder
220 ... Internal precoder
230 ... Antenna array

(57) Abstract: An embodiment of the present invention relates to a wireless communication system, wherein said wireless communication system uses multiple input and multiple output antenna (MIMO) on both transmission and receiving ends.

(57) 요약서: 본 발명의 실시예는 무선통신시스템에 관한 것으로서, 송수신단 모두에서 다중입력 다중출력 안테나 (MIMO)를 이용하는 무선통신시스템에 관련된 것이다.

명세서

발명의 명칭: 채널상태정보 피드백 장치와 그 방법, 기지국 기술분야

- [1] 본 발명의 실시예는 무선통신시스템에 관한 것으로서, 송수신단 모두에서 다중입력 다중출력 안테나(MIMO)를 이용하는 채널상태정보 피드백 장치와 그 방법, 기지국에 관련된 것이다.

배경기술

- [2] 통신 시스템이 발전해나감에 따라 사업체들 및 개인들과 같은 소비자들은 매우 다양한 무선 단말기들을 사용하게 되었다.
- [3] 따라서, 통신 서비스 사업자들은 무선 단말기들에 대한 새로운 통신 서비스 시장을 창출하고, 신뢰성 있으면서도 저렴한 서비스를 제공하여 기존의 통신 서비스 시장을 확대시키려는 시도를 계속하고 있다.
- [4] MIMO 시스템은 무선 통신 용량을 크게 증가시키는 기법이며, MIMO 시스템이 지원 할 수 있는 최대 통신 용량은 안테나의 수에 비례하여 증가한다. 그러나 실제 MIMO 시스템이 지원할 수 있는 정보 전송 용량은 안테나의 수가 증가함에 따라 그 증가량이 점차 감소하는데, 이는 통신 시스템이 가지는 여러 가지 제약 조건에 의한 현상이다. MIMO 시스템의 통신 용량이 안테나 수에 비례하여 증가하기 위해서는 레이어 간 간섭이 존재하지 않도록 하는 무간섭(interference free) 또는 직교 프리코딩이 사용되어야 하나, 실제 통신 시스템에서의 이의 구현이 어려웠다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [5] 기술한 과제 해결 달성을 위해서는 레이어 간 간섭이 없는 프리코딩을 수행하여야 하며, 레이어 간 간섭이 없는 프리코딩을 수행하는 가장 일반적인 방법은 SVD (singular value decomposition)을 통해 얻어지는 고유 벡터들을 사용하여 프리코딩을 수행하는 것이다. 상용 통신 시스템은 코드북 기반 프리코딩을 수행함으로, SVD 기반 프리코딩은 상용 시스템에서는 아래와 같이 수행된다. 상용시스템에서 코드북은 N개의 코드워드 또는 프리코딩용 행렬로 구성되며, 상기 코드북의 코드워드 중 아래와 같이 고유벡터들과의 차이가 최소가 되는 C_n 을 사용하여 프리코딩을 수행한다.

$$[6] \quad \min_n |V - C_n|$$

- [7] 상기 수식에서 V 은

$$[8] \quad V = [\bar{v}_0 \quad \bar{v}_1 \quad \cdots \quad \bar{v}_{n-1}]$$

[9] 으로 표기되는 고유 벡터들의 조합이다.

[10] 각 안테나별 전송 전력 제어를 위해, C_n 은 각 성분의 크기가 모두 동일하도록 설계하는 것이 일반적인 경우이다. 이러한 방식으로 설계시, C_n 와 V 사이에는 큰 격차가 존재하게 되며, 이는 SVD에 의한 프리코딩을 사실상 불가능하게 만든다.

[11] 전술한 과제를 달성하기 위해, 본 발명은 각 단계의 프리코딩이 단순 행렬 곱셈으로 표현되는 다단계 프리코딩을 수행하며, 2단계 프리코딩 수행 시의 일례로, 아래 수식과 같이 고유 벡터와의 오차가 최소가 되는 복수의 코드워드들을 사용하여 프리코딩을 수행한다.

$$[12] \quad \min_{n,m} |V - c_{in}^n \times c_{out}^m|$$

[13] 본 발명의 일 실시예에서는 각 안테나별 전송 전력이 동일하여야 하는 상용 통신 시스템에서 상기 수식의 고유벡터 및 프리코더 간 오차의 최소값이 특정 임계값보다 작은 값이 되도록 프리코더를 설계하는 방법을 제시한다.

[14] 전술한 과제를 달성하기 위해, 본 발명의 일측면에서, 무선통신시스템에서, 코드워드를 레이어에 맵핑하는 레이어 매퍼, 프리코딩 행렬을 이용하여 매핑된 심볼들을 순차적으로 프리코딩하는 적어도 두개의 프리코더 및 프리코딩된 심볼을 공중으로 전파하는 둘 이상의 안테나들을 포함하는 안테나 어레이를 포함하고, 상기 프리코더 중 가장 내측의 프리코더는 $P_{in} P_{in}^H = I$ (P_{in} 은 가장 내측의 프리코딩 행렬, H 는 에르미트 행렬(Hermitian matrix)의 연산자, I 는 단위행렬)를 만족하는 프리코딩 행렬을 이용하여 프리코딩하는 기지국을 제공한다.

[15] 본 발명의 다른 측면에서, 무선통신시스템에서, 기지국으로부터 참조신호(Reference Signal)를 수신하는 참조신호 수신부, 수신된 참조신호를 이용하여 채널을 추정하는 채널추정부, 채널추정부의 채널 추정 결과를 기초로 $c_{in}^n (c_{in}^n)^H = I$ (c_{in}^n 은 인덱스 n 에 의해 표기되는 코드워드)를 만족하는

코드워드들을 포함하는 내측 코드워드용 코드북에서 선택된 내측 코드워드를 지정하는 내측 채널 피드백 정보와

$$\min_{n,m} |V_t - c_{in}^n \times c_{out}^m| \quad (V_t \text{은}$$

임의의 순간 t 에서의 채널 또는 채널 공분산 행렬(covariance matrix)의 아이젠 벡터(eigen vector), c_{out}^m 은 인덱스 m 에 의해 표기되는 코드워드)를 만족하는

코드워드들을 포함하는 외측 코드워드용 코드북에서 선택된 외측 코드워드를 지정하는 외측 채널 피드백 정보를 포함하는 채널상태정보를 생성하는 채널상태정보 생성부 및 상기 생성된 채널상태정보를 피드백하는 피드백부를 포함하는 채널상태정보 피드백 장치를 제공한다.

- [16] 본 발명의 또다른 측면에서, 기지국으로부터 참조신호(Reference Signal)를 수신하는 참조신호 수신단계, 수신된 참조신호를 이용하여 채널을 추정하는 채널추정단계, 채널추정단계의 채널 추정 결과를 기초로 $c_{in}^n (c_{in}^n)^H = I$ (

c_{in}^n 은 인덱스 n에 의해 표기되는 코드워드)를 만족하는 코드워드들을

포함하는 내측 코드워드용 코드북에서 선택된 내측 코드워드를 지정하는 내측 채널 피드백 정보와

$$\min_{n,m} |V_t - c_{in}^n \times c_{out}^m| \quad (V_t \text{은 임의의 순간 } t$$

에서의 채널 또는 채널 공분산 행렬(covariance matrix)의 아이겐 벡터(eigen vector), c_{out}^m 은 인덱스 m에 의해 표기되는 코드워드)를 만족하는

코드워드들을 포함하는 외측 코드워드용 코드북에서 선택된 외측 코드워드를 지정하는 외측 채널 피드백 정보를 포함하는 채널상태정보를 생성하는 채널상태정보 생성단계 및 상기 생성된 채널상태정보를 피드백하는 피드백단계를 포함하는 채널상태정보 피드백 방법을 제공한다.

도면의 간단한 설명

- [17] 도 1은 본 발명의 일 실시예가 적용되는 무선 통신 시스템을 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [18] 도 2는 일실시예에 따른 전송장치의 구성도이다.
- [19] 도 3은 다른 실시예에 따른 프리코더의 구성도이다.
- [20] 도 4은 일실시예에 따른 채널상태정보 피드백 장치의 기능별 블록도이다.
- [21] 도 5은 도 4의 채널상태정보생성부의 블록도이다.
- [22] 도 6는 다른 실시예에 따른 채널상태정보 피드백 방법의 흐름도이다.
- [23] 도 7는 또다른 실시예에 따른 채널상태정보 생성방법의 일예의 흐름도이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [24] 이하, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다. 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.
- [25] 또한, 본 발명의 구성 요소를 설명하는데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로

연결되거나 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 또 다른 구성 요소가 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[26]

[27] 도 1은 본 발명의 실시예들이 적용되는 무선통신 시스템을 나타낸 블록도이다.

[28] 무선통신 시스템은 음성, 패킷 데이터 등과 같은 다양한 통신 서비스를 제공하기 위해 널리 배치된다.

[29] 도 1을 참조하면, 무선통신 시스템은 단말(10; User Equipment, UE) 및 기지국(20; Base Station, BS)을 포함한다. 단말(10)과 기지국(20)은 아래에서 설명한 다양한 전력할당방법을 사용한다.

[30] 본 명세서에서의 단말(10)은 무선 통신에서의 사용자 단말을 의미하는 포괄적 개념으로서, WCDMA 및 LTE, HSPA 등에서의 UE(User Equipment)는 물론, GSM에서의 MS(Mobile Station), UT(User Terminal), SS(Subscriber Station), 무선기기(wireless device) 등을 모두 포함하는 개념으로 해석되어야 할 것이다.

[31] 기지국(20) 또는 셀(cell)은 일반적으로 단말(10)과 통신하는 고정된 지점(fixed station)을 말하며, 노드-B(Node-B), eNB(evolved Node-B), BTS(Base Transceiver System), 액세스 포인트(Access Point) 등 다른 용어로 불릴 수 있다.

[32] 즉, 본 명세서에서 기지국(20) 또는 셀(cell)은 CDMA에서의 BSC(Base Station Controller), WCDMA의 NodeB 등이 커버하는 일부 영역을 나타내는 포괄적인 의미로 해석되어야 하며, 메가셀, 매크로셀, 마이크로셀, 피코셀, 펌토셀 등 다양한 커버리지 영역을 모두 포괄하는 의미이다.

[33] 본 명세서에서 단말(10)과 기지국(20)은 본 명세서에서 기술되는 기술 또는 기술적 사상을 구현하는데 사용되는 두가지 송수신 주체로 포괄적인 의미로 사용되며 특정하게 지칭되는 용어 또는 단어에 의해 한정되지 않는다.

[34] 무선통신 시스템에 적용되는 다중 접속 기법에는 제한이 없다. CDMA(Code Division Multiple Access), TDMA(Time Division Multiple Access), FDMA(Frequency Division Multiple Access), OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access), OFDM-FDMA, OFDM-TDMA, OFDM-CDMA와 같은 다양한 다중 접속 기법을 사용할 수 있다.

[35] 상향링크 전송 및 하향링크 전송은 서로 다른 시간을 사용하여 전송되는 TDD(Time Division Duplex) 방식이 사용될 수 있고, 또는 서로 다른 주파수를 사용하여 전송되는 FDD(Frequency Division Duplex) 방식이 사용될 수 있다.

[36] 본 발명의 일실시예는 GSM, WCDMA, HSPA를 거쳐 LTE(Long Term Evolution) 및 LTE-advanced로 진화하는 비동기 무선통신과, CDMA, CDMA-2000 및 UMB로 진화하는 동기식 무선 통신 분야의) 등의 자원할당에 적용될 수 있다. 본 발명은 특정한 무선통신 분야에 한정되거나 제한되어 해석되어서는 아니되며, 본 발명의 사상이 적용될 수 있는 모든 기술분야를 포함하는 것으로 해석되어야 할 것이다.

[37] 전술한 MIMO 시스템에서 레이어 간 간섭이 존재하지 않도록 하는 대표적인

직교 프리코딩 기법으로는 채널 또는 채널의 공분산 행렬(covariance matrix)의 아이겐벡터(eigen vector)을 사용하여 프리코딩을 수행하는 SVD(singular value decomposition) 기법이 있다. 직교 프리코딩 기법은 상호 직교하는 레이어를 생성하고 직교하는 레이어를 통한 동시 정보 전송을 수행하여 MIMO 시스템이 이론적으로 지원할 수 있는 최대 공간 다중화 게인(spatial multiplexing gain)을 지원할 수 있으며, MIMO 시스템의 통신 용량이 안테나 수에 비례하여 증가하도록 할 수 있어 안테나 수가 많은 MIMO 시스템일수록 그 효율이 더욱 증가하는 기법이다.

- [38] SVD 기법을 사용한 무선통신시스템에서 구현할 때, (1)SVD에 사용되는 아이겐벡터(eigen vector)에 대한 정보는 단말과 같은 수신단 연산을 통해 얻어지는 정보로 전송단에 전달시 큰 피드백 오버헤드가 요구되는 점, (2)아이겐벡터는 각 구성요소들이 각각 다른 진폭과 위상을 갖는 벡터로 안테나별 전송전력이 동일하게 유지해야 하는 상용 무선통신시스템에 사용하기에 적합하지 않다는 문제점이 있다.
- [39] 본 발명은 전술한 두 가지 문제점을 해결하고 SVD 기법을 MIMO 시스템에 사용하기 위해, 두개 이상의 다단계 프리코딩을 수행하는 프리코더 구조를 제시하며, 다단계 프리코딩에서 각 단계 프리코딩을 코드북 기반 적은 피드백 오버헤드로 수행할 수 있는 코드북 생성방법 및 사용방법을 제시한다.
- [40] 이하, 전송장치에서 SVD 기법을 MIMO 시스템에 사용하여 두단계 프리코딩을 수행하는 과정 및 그에 해당하는 코드북 생성방법을 설명한다. 두단계 프리코딩을 예시적으로 설명하였으나 세단계 이상의 프리코딩을 수행하는 과정 및 그에 해당하는 코드북은 실질적으로 동일하다.
- [41]
- [42] 도 2는 일실시예에 따른 전송장치의 구성도이다.
- [43] 도 2를 참조하면, 실시예들이 적용되는 무선통신 시스템(100)은 변조부(110) 및 레이어 매퍼(120), 프리코더(130)를 포함한다. 이 무선통신 시스템은 도 1의 기지국(10)의 통신시스템 또는 전송장치일 수 있다.
- [44] 하향링크에서 채널코딩을 거쳐 코드워드(codewords) 형태로 입력되는 비트들은 스크램블러에 의해 스크램블링된 후 부호화 및 변조부(110)로 입력된다. 부호화 및 변조부(110)는 스크램블링된 비트들을 복소 모듈레이션 심볼로 변조하고, 레이어 매퍼(Layer Mapper; 120)는 복소 모듈레이션 심볼을 하나 또는 다수의 전송 레이어에 매핑한다. 그 후, 프리코더(130)는 안테나 포트의 각 전송 채널상에서 복소 모듈레이션 심볼을 프리코딩한다. 그 후 리소스 엘리먼트 매퍼(Resource Element Mapper)가 각 안테나 포트에 대한 복소 모듈레이션 심볼을 해당 리소스 엘리먼트에 매핑한다.
- [45] 그 후, OFDM 신호 생성기가 각 안테나를 위한 복소 시간 도메인 OFDM 신호로 생성된다. 이 복소 시간 도메인 OFDM 신호는 안테나 포트를 통해 송신된다.
- [46] 위에서 도 2를 참조하여 실시예들이 적용되는 무선통신 시스템의 하향링크

물리채널의 신호생성 구조를 설명하였으나 본 발명은 이에 제한되지 않는다. 즉, 본 발명의 실시예들이 적용되는 무선통신 시스템의 하향링크 물리채널의 신호생성 구조는 다른 구성요소들은 생략되거나 다른 구성요소로 치환 또는 변경되거나 다른 구성요소들이 추가될 수 있다.

- [47] 코드워드가 전송할 패킷 단위 정보를 전달하면 이후 작업을 거쳐 패킷을 생성하고 1회 또는 수회 전송을 통해 패킷을 수신단에 전달한다. 여기서 코드워드는 채널코딩된 심볼들의 블록을 의미한다. 이때 2개의 코드워드를 사용하여 전송할 수도 있고 하나 이상의 코드워드를 사용하여 전송할 수도 있고 코드워드 이외의 다른 단위로 전송할 수도 있다.
- [48] 이상 전송장치 전체에 대하여 기재하였으나 전송장치에 포함된 프리코더에 대하여 기재한다.
- [49]
- [50] 도 3은 다른 실시예에 따른 프리코더의 구성도이다.
- [51] 도 3을 참조하면, 다른 실시예에 따른 프리코더(200)는 두개 이상의 프리코더들, 예를 들어 외측 프리코더(210)과 내측 프리코더(220), 프리코딩된 심볼을 공중으로 전파하는 둘 이상의 안테나들을 포함하는 안테나 어레이(230)를 포함한다. 외측 프리코더(210)과 내측 프리코더(220)는 임의의 채널 H 에 대하여 전송하고자 하는 정보 $\bar{x}$ 에 대하여 차례로 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in}) 각각을 통해 전체 프리코딩 행렬 $P_{in} \times P_{out}$ 의 형태로 프리코딩을 수행할 수 있다.
- [52] 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in})은 단말로부터 각각 채널 피드백 정보, 예를 들어 프리코딩 행렬 지시자들(PMI_{out} 또는 PMI_{in})를 사용하여 코드북으로부터 선택될 수 있다. 이때 두개의 프리코딩 행렬 지시자들은 동일한 코드북에 근거하여 피드백될 수도 있고 서로 다른 코드북들에 근거하여 피드백될 수도 있다. 또한 코드북은 유니타리 코드북일 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 다시 말해 외측 프리코더(210)과 내측 프리코더(220)는 동일한 코드북을 사용하여 프리코딩을 수행할 수도 있고 서로 다른 코드북을 사용하여 프리코딩을 수행할 수도 있다.
- [53] 또한, 코드북에 포함되는 코드워드들은 모두 동일한 형태를 가질 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 또한, 코드북에 포함되는 코드워드들의 모든 구성요소들이 동일한 진폭을 가질 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다.
- [54] 외측 프리코더(210)과 내측 프리코더(220)가 프리코딩 수행시 사용하여 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in})은 임의의 채널 H 에 대하여 채널 H 또는 채널 공분산 행렬(covariance matrix)의 아이겐벡터, 아이겐벡터들의 조합 또는 이들과 형태와 크기가 유사한 벡터 또는 행렬일 수 있다.

[55] 이하 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in})이 임의의 채널 H 에 대하여 채널 H 또는 채널 공분산 행렬(covariance matrix)의 아이젠벡터, 아이젠벡터들의

조합 또는 이들과 형태와 크기가 유사한 벡터 또는 행렬일 수 있는 조건들을 설명하고 이 조건에 만족하는 행렬들을 포함하는 코드북을 설명한다.

[56] 임의의 채널 H 에 대하여 전송하고자 하는 정보 $\bar{x}$ 에 대하여 채널 공분산 행렬의 아이젠벡터 V 를 곱한 전송신호 $\bar{y}$ 은 레이어간 간섭 없이 단말과 같은 수신단에서 복원될 수 있다. 이 관계를 수식으로 정리하면 아래와 같다.

[57] [수학식 1]

$$[58] \quad \bar{y} = V\bar{x}$$

[59] [수학식 2]

$$[60] \quad \bar{z} = \hat{y} = H^H (H\bar{y} + \bar{\eta})$$

[61] 여기서, $\bar{z}$ 는 단말과 같은 수신단에서 복원한 정보이며, H^H 은 채널 H 의 에르미트 행렬(Hermitian matrix)이며, $\bar{\eta}$ 는 노이즈이다.

[62] 위 수식은 다음과 같이 정리되어 전송신호 $\bar{y}$ 은 레이어간 간섭 없이 단말과 같은 수신단에서 복원될 수 있는 것을 알 수 있다.

[63] [수학식 3]

$$[64] \quad \hat{y} = H^H (H\bar{y} + \bar{\eta}) = H^H H V \bar{x} + H^H \bar{\eta} = \lambda V \bar{x} + H^H \bar{\eta} = \bar{y} + H^H \bar{\eta}$$

[65] 여기서, λ 은 채널 공분산행렬의 아이젠값(eigen value)이다.

[66] 전술한 바와 같이, 외측 프리코더(210)과 내측 프리코더(220)는 임의의 채널 H 에 대하여 전송하고자 하는 정보 $\bar{x}$ 에 대하여 차례로 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in}) 각각을 통해 전체 프리코딩 행렬 $P_{in} \times P_{out}$ 의 형태로 프리코딩을 수행할 수 있다. 따라서, 전송단의 전송신호 $\bar{y}$ 는 다음과 같다.

[67] [수학식 4]

$$[68] \quad \bar{y} = P_{in} P_{out} \bar{x}$$

[69] 따라서, 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in})이 임의의 채널 H 에 대하여 채널 H 또는 채널 공분산 행렬(covariance matrix)의 아이겐벡터, 아이겐벡터들의 조합 또는 이들과 형태와 크기가 유사한 벡터 또는 행렬일 경우 전송신호 $\bar{y}$ 은

레이어간 간섭 없이 단말과 같은 수신단에서 복원될 수 있는 것을 알 수 있다.

[70] 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in})이 임의의 채널 H 에 대하여 채널 H 의 아이겐벡터와 유사한 벡터인 경우는 다음과 같이 표현할 수 있다. 임의의 채널 H 에 대하여 채널 H 의 아이겐벡터와 유사한 벡터인 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in})를 사용할 경우 레이어간 실질적 간섭없이 또는 최소한의 간섭으로 단말과 같은 수신단에서 전송신호를 복원할 수 있다.

[71] [수학식 5]

$$[72] \quad V_t \approx C_{in}^n \times C_{out}^m$$

[73] 여기서, V_t 은 임의의 순간 t 에서의 채널 또는 채널 공분산 행렬(covariance matrix)의 아이겐 벡터(eigen vector)이며, C_{in}^n 및 C_{out}^m 은 각각 내측 코드워드용

코드북 및 외측 코드북용 코드북에 각각 속하는 코드워드들 중 인덱스 n, m 에 의해 표기되는 코드워드들이다.

[74] 외측 프리코더(210)에서 바라본 내측 프리코더(220)과 임의의 채널을 포함하는 가상의 채널을 H_{out} 이라 정의할 때 가상의 채널은 다음과 같이 표현될 수

있다.

[75] [수학식 6]

$$[76] \quad H_{out} = H \times P_{in}$$

[77] 또한, 가상의 채널의 아이겐 벡터를 V_{out} 이라 정의할 때 가상의 채널의 아이겐 벡터 V_{out} 와 임의의 채널 H 사이 관계는 다음과 같이 정리될 수 있다.

[78] [수학식 7]

$$[79] \quad V = P_{in} V_{out}$$

[80] 가상의 채널 H_{out} 의 공분산 행렬은 정의에 따라 다음과 같이 표현될 수 있다.

[81] [수학식 8]

$$[82] \quad Cov_{out} = H_{out}^H H_{out}$$

[83] 위 공분산 행렬의 수식에 가상의 채널 H_{out} 을 도입하면 다음과 같이 표현될 수

있다.

[84] [수학식 9]

$$[85] \quad Cov_{out} = (HP_{in})^H HP_{in}$$

[86] 공분산 행렬을 아이겐 벡터의 정의에 따라 다음과 같이 표현할 수 있다.

[87] [수학식 10]

$$[88] \quad Cov_{out} \times V_{out} = \lambda_{out} V_{out}$$

[89] 공분산 행렬의 아이겐 벡터의 정의에 따른 표현식은 다음과 같이 정리될 수 있다.

[90] [수학식 11]

$$[91] \quad Cov_{out} \times V_{out} = (HP_{in})^H HP_{in} V_{out} = P_{in}^H H^H HP_{in} V_{out} = P_{in}^H H^H HV = P_{in}^H \lambda V$$

[92] 수학식10과 수학식11을 정리하면 다음과 같을 수 있다.

[93] [수학식 12]

$$[94] \quad \lambda P_{in}^H V = \lambda_{out} V_{out}$$

[95] 수학식12에 수학식7을 대입하면 다음과 같이 내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 의 조건식을 얻을 수 있다.

[96] [수학식 13]

$$[97] \quad P_{in} P_{in}^H V_{out} = \frac{\lambda_{out}}{\lambda} V_{out}$$

[98] 따라서, 내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 을 위한 코드북은 임의의 채널 H 에 대하여 위 수학식을 만족시킬 수 있다. 특히, 내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 을 위한 코드북은 임의의 채널 H 에 대하여 아래 수학식을 만족시킬 수 있다.

[99] [수학식 14]

$$[100] \quad P_{in} P_{in}^H = I$$

[101] 정리하면 외측 프리코더(210)과 내측 프리코더(220)가 임의의 채널 H 에 대하여 전송하고자 하는 정보 $\bar{x}$ 에 대하여 차례로 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in}) 각각을 통해 전체 프리코딩 행렬 $P_{in} \times P_{out}$ 의 형태로 프리코딩을 수행할 때, 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in})의 곱이 임의의 채널 H 에 대하여 채널 H 의 아이겐벡터일 경우 전송 신호를 레이어간 간섭없이 수신단에서

복원할 수 있다.

- [102] 이때 가상의 채널의 아이겐 벡터 V_{out} 와 임의의 채널 H 사이 관계가 수학식 7이 성립하도록 내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 을 위한 코드북은 임의의 채널 H 에 대하여 수학식 14를 만족시킬 수 있다.
- [103] 적어도 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in})의 곱이 적어도 임의의 채널 H 에 대하여 채널 H 의 아이겐벡터와 유사한 벡터일 경우 레이어간 실질적 간섭없이 또는 최소한의 간섭으로 단말과 같은 수신단에서 전송신호를 복원할 수 있다.
- [104] 이상 전송장치 전체와 전송장치에 포함된 프리코더에 대하여 기재하였으나 전송장치에 채널상태정보를 피드백하는 채널상태정보 피드백 장치에 대하여 기재한다.
- [105]
- [106] 도 4은 일실시에에 따른 채널상태정보 피드백 장치의 기능별 블록도이다.
- [107] MIMO 채널상태정보 피드백 장치(300)는 현재 접속되어 있는 기접속 단말(UE) 또는 추가 접속을 시도하는 추가 접속 UE 내에 하드웨어 또는 소프트웨어 적으로 구현될 수 있으나, 그에 한정되는 것은 아니며 기지국 등에 구현될 수도 있을 것이다.
- [108] 일실시에에 의한 MIMO 채널상태정보 피드백 장치(300)는 크게 기지국으로부터 참조신호(Reference Signal), 예를 들어 CSI-RS(Channel State Index-Reference Signal)를 수신하는 참조신호 수신부(310)와, 수신된 CSI-RS를 이용하여 채널을 추정하는 채널추정부(320)와, 상기 채널추정부의 채널 추정 결과를 기초로 해당되는 채널상태정보를 생성하는 채널상태정보 생성부(330), 채널상태정보를 생성하여 피드백하는 피드백부(340)를 포함한다.
- [109] 위에서 참조신호 수신부(310)와 채널추정부(320)는 별도 또는 통합되어 구현될 수 있으며, 경우에 따라서 통합 구현될 수 있을 것이다.
- [110] 참조신호 수신부(310)는 셀 고유의 CSI-RS를 수신하며 수신 신호의 어느 대역(어느 서브캐리어) 및 어느 심볼(Symbol)에 CSI-RS가 수신되는지에 대한 정보를 가지고 있기 때문에 그 시간-주파수 영역의 신호를 결정함으로써 CSI-RS 수신값을 측정할 수 있다.
- [111] CSI-RS은 단말이 하향링크 채널을 추정할 수 있도록 기지국이 전송하는 참조 신호(reference signal)이다. 단말은 CSI-RS를 수신하여 하향링크 채널을 추정(Channel Estimation)하며, 추정된 채널에 가장 적합한 프리코딩(precoding; 이하 "프리코딩" 또는 "PC"라 함) 방식 및 포스트 디코딩(post-decoding; 이하 "포스트 디코딩" 또는 "PDC"라 함) 방식을 검색한다.
- [112] 채널추정부(320)는 수신된 CSI-RS를 이용하여 채널을 추정하는 기능을 한다. 채널추정부(320)의 채널 추정 결과인 전파 채널(propagation channel) H 는 채널 행렬(Channel matrix)일 수 있다. 이때 채널추정부(320)은 채널 추정 결과인 전파 채널(propagation channel) H 로 채널 공분산 행렬(covariance matrix)을 생성할 수도 있다. 이 채널 공분산 행렬은 채널추정부(320)에서 생성될 수도 있고 이후에

설명할 채널상태정보 생성부(330)에서 생성될 수도 있다.

[113] 다음으로, 채널상태정보 생성부(330)는 채널추정부(320)의 채널 추정 결과를 기초로 채널상태정보를 생성한다. 이때 채널상태정보에는 채널품질과 관련된 정보, 예를 들어 CQI(Channel Quality indicator)값을 포함할 수 있다.

[114] 이상, MIMO 시스템에서 일실시에에 따른 채널상태정보 피드백 장치의 구성요소들에 대해 기재하였으나, 이하 MIMO 시스템에서 일실시에에 따른 채널상태정보 피드백 장치의 구성요소들 중 하나인 채널상태정보 생성부에 대해 기재한다.

[115]

[116] 도 5는 도 4의 채널상태정보생성부의 블록도이다.

[117] 채널상태정보 생성부(330)는 공분산행렬 생성부(332)와 EVD부(334), 제1코드북검색부(336), 제2코드북검색부(338)을 포함한다.

[118] 공분산행렬 생성부(332)는 추정된 채널 정보를 사용하여 채널 공분산행렬을 생성한다.

[119] EVD부(334)는 생성된 공분산행렬의 아이겐벡터를 구한다. 예를 들어, EVD부(334)는 수식 15와 같이 켈레전치를 가진 채널행렬의 곱에 의해 형성되는 에르미트(Hermitian)행렬을 이용하여 채널행렬의 아이겐벡터를 계산할 수 있으나 이에 제한되지 않는다.

[120] [수식 15]

[121]
$$H^*H = E\tilde{E}E^*$$

[122] 여기서, H 는 임의의 채널행렬을 의미하며, E 는 아이겐벡터를 의미하며, 심볼 $*$ 는 켈레 전치를 언급하며, $\tilde{E}$ 는 아이겐벡터의 대각선행렬을 의미한다.

[123] 제1코드북생성부(336)은 채널 공분산행렬의 아이겐벡터를 사용하여 전술한 내측 코드워드용 제1코드북에서 적당한 내측 코드워드를 선정한다. 적당한 코드워드는

$$c_{in}^n (c_{in}^n)^H = I \quad (\text{인덱스 } n \text{에 의해 표기되는 코드워드})$$

만족하는 코드워드들을 포함하는 내측 코드워드용 코드북에서 선정된다.

[124] 제2코드북생성부(338)는 채널추정부(320)의 채널 정보와 제1코드북생성부(336)에서 선정된 코드워드를 사용하여 외측 코드워드용 제2코드북에서 적당한 외측 코드워드를 선정한다. 적당한 외측 코드워드는

$$V_t \approx c_{in}^n \times c_{out}^m \quad (V_t \text{은 임의의 순간 } t \text{에서의 채널 또는 채널 공분산}$$

행렬(covariance matrix)의 아이겐 벡터(eigen vector), c_{out}^m 은 인덱스 m 에 의해

표기되는 코드워드)를 만족하는 코드워드들을 포함하는 외측 코드워드용

코드북에서 선택된다.

[125] 채널상태정보 생성부(330)에서 공분산행렬 생성부(332)와 EVD부(334), 제1코드북검색부(336), 제2코드북검색부(338)를 개념상으로 분리하였으나, 별도로 또는 통합되어 구현될 수 있으며, 경우에 따라서 통합 구현될 수 있다.

[126] 도 3 내지 도 5를 참조하면, 피드백부(340)는 제1코드북생성부(336)에서 선정된 코드워드를 지정하는 제1피드백정보, 예를 들어 제1프리코딩 행렬 지시자(PMI_{in})과 제2코드북생성부(338)에서 선정된 코드워드를 지정하는 제2피드백정보, 예를 들어 제2프리코딩 행렬 지시자(PMI_{out})를 도 3의 내측 프리코더(220)와 외측 프리코더(210)에 피드백한다. 이때 피드백부(340)는 제1프리코딩 행렬 지시자 또는 제2프리코딩 행렬 지시자를 동시에 전송할 수도 있고, 순차적으로 전송할 수도 있다. 한편, 피드백부(340)는 제1프리코딩 행렬 지시자 또는 제2프리코딩 행렬 지시자 각각의 전송 주기가 동일할 수도 있고 다를 수도 있다.

[127] 이하 채널상태정보 생성부(330)가 내측 코드워드용 제1코드북과 외측 코드워드용 제1코드북에서 적당한 코드워드들을 선정하고 피드백부(340)이 제1프리코딩 행렬 지시자 또는 제2프리코딩 행렬 지시자를 피드백하는 과정을 상세히 설명한다.

[128] 우선, 내측 프리코더(220)와 외측 프리코더(210)를 사용하는 목적에 따라, 채널의 아이젠벡터와 가장 유사한 형태를 가지는 $C_{in}^n \times C_{out}^m$ 을 선정하여

이들의 PMI를 피드백한다. 전송한 바와 같이 C_{in}^n 및 C_{out}^m 은 각각 내측

코드워드용 코드북 및 외측 코드북용 코드북에 각각 속하는 코드워드들 중 인덱스 n, m 에 의해 표기되는 코드워드들이다.

[129] [수학식 16]

$$[130] \quad (PMI_{in}, PMI_{out}) = \min_{n,m} |V - C_{in}^n \times C_{out}^m|$$

[131] 또는 P_{in} 의 역행렬이 존재할 경우, 수학식 13에 의해 P_{in} 은 유니타리 행렬(unitary matrix)이 되어 아래 등식이 성립한다.

[132] [수학식 17]

$$[133] \quad (C_{in}^n)^H (V - C_{in}^n C_{out}^m) = (C_{in}^n)^H V - C_{out}^m$$

[134] 따라서, 아래 수학식을 만족하는 내측 코드워드용 코드북 및 외측 코드북용 코드북에 각각 속하는 코드워드들을 선정하여 이들의 PMI를 피드백한다.

[135] [수학식 18]

[136]

$$(PMI_{in}, PMI_{out}) = \min_{n,m} \left| (c_{in}^n)^H V - c_{out}^m \right|$$

[137] 또다른 방법으로, P_{in} 및 P_{out} 을 순차적으로 선정하는 방법을 사용할 수

있다. 외측 코드워드용 코드북에 포함된 프리코딩 행렬이 아래와 같은 일정한 형식을 가지는 경우, P_{in} 및 P_{out} 을 순차적으로 선정할 수 있다.

[138] [수학식 19]

$$c_{out}^n = \begin{bmatrix} \exp(jn_0\theta) & \exp(jn_1\theta) \\ \exp(jn_2\theta) & \exp(jn_3\theta) \end{bmatrix}$$

[140] 여기서, n_x 는 자연수이다.

[141] 이때, V_{out} 이 아래와 같은 형식을 가지도록 P_{in} 을 선정할 수 있다.

[142] [수학식 20]

$$V_{out} = (c_{in}^n)^H V \approx \begin{bmatrix} \exp(jn_0\theta) & \exp(jn_1\theta) \\ \exp(jn_2\theta) & \exp(jn_3\theta) \end{bmatrix}$$

[144] 다음으로 아래와 같은 관계를 만족되도록 P_{out} 을 선정할 수 있다.

[145] [수학식 21]

$$(P_{in})^H V \approx \begin{bmatrix} \exp(jn_0\theta) & \exp(jn_1\theta) \\ \exp(jn_2\theta) & \exp(jn_3\theta) \end{bmatrix} \approx c_{out}^n$$

[147] P_{in} 과 P_{out} 를 선정하는 관계를 수학식으로 표현할 수 있다.

[148] [수학식 22]

$$PMI_{in} = \min_n \left| (c_{in}^n)^H V - C_{out} \right|$$

[150] [수학식 23]

$$PMI_{out} = \min_m \left| (P_{in})^H V - c_{out}^m \right|$$

[152] 이하 외측 프리코더(210)과 내측 프리코더(220)에 사용되는 코드북들이 아래와

같은 형식을 가질 때 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in})의 곱이 적어도

임의의 채널 H 에 대하여 채널 H 의 아이겐벡터와 유사한 벡터를 사용하여 프리코딩을 수행하는 것을 예시적으로 설명한다.

[153] [수학식 24]

$$[154] \quad c_{out}^n = \begin{bmatrix} \exp(jn_0\theta) & \exp(jn_1\theta) \\ \exp(jn_2\theta) & \exp(jn_3\theta) \end{bmatrix}$$

[155] [수학식 25]

$$[156] \quad c_{in}^m = \begin{bmatrix} \exp(jm_0\theta) & \exp(jm_1\theta) \\ \exp(jm_2\theta) & \exp(jm_3\theta) \end{bmatrix}$$

[157] 여기서, $\theta = \frac{\pi}{4}$ 이다.

[158] 전술한 바와 같이 $P_{in} P_{in}^H = I$ 를 만족하기 위해 다음 등식이 성립하여야 한다.

[159] [수학식 26]

$$[160] \quad \exp(jn_0\theta - jn_2\theta) + \exp(jn_1\theta - jn_3\theta) = 0$$

[161] [수학식 27]

$$[162] \quad (n_0\theta - n_2\theta) = (n_1\theta - n_3\theta) \pm \pi$$

[163] 위 조건을 만족시키는 내측 코드워드용 코드북에 속하는 코드워드들 c_{in}^n 중

아래 채널 H 에 적합한 코드워드를 선정한다.

[164] [수학식 28]

$$[165] \quad H = \begin{bmatrix} 0.3 + 0.5i & 0.6 + 0.7i \\ 0.7 & 0.8 + 0.8i \end{bmatrix}$$

[166] 채널 공분산 행렬의 아이겐벡터와 아이겐값을 구하면 다음과 같다.

[167] [수학식 29]

$$[168] \quad V = \begin{bmatrix} 0.86e^{j0.41} & 0.51e^{j0.41} \\ -0.51 & 0.86 \end{bmatrix}$$

[169] [수학식 30]

$$[170] \quad \lambda = \begin{bmatrix} 0.1267 & 0 \\ 0 & 2.8333 \end{bmatrix}$$

[171] V_{out} 이 아래와 같은 관계가 되도록 내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 을 다음과 같이 선정할 수 있다.

[172] [수학식 31]

$$[173] \quad V_{out} = (c_{in}^n)^H V \approx \begin{bmatrix} \exp(jn_0\theta) & \exp(jn_1\theta) \\ \exp(jn_2\theta) & \exp(jn_3\theta) \end{bmatrix}$$

[174] 즉, 내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 을 다음과 같이 선정할 수 있다.

[175] [수학식 32]

$$[176] \quad P_{in} = \begin{bmatrix} e^{j5\pi/4} & e^{j7\pi/4} \\ 1 & e^{j6\pi/4} \end{bmatrix}^H$$

[177] 따라서 V_{out} 은 아래와 같다.

[178] [수학식 33]

$$[179] \quad V_{out} = P^H V = \begin{bmatrix} e^{j5\pi/4} & e^{j7\pi/4} \\ 1 & e^{j6\pi/4} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.86e^{j0.41} & 0.51e^{j0.41} \\ 0.51e^{j3.14} & 0.86e^{j0} \end{bmatrix}$$

$$[180] \quad = \begin{bmatrix} 0.81e^{-j3.27\pi/4} & 1.16e^{-j1.53\pi/4} \\ 1.16e^{j1.05\pi/4} & 0.81e^{-j1.21\pi/4} \end{bmatrix}$$

[181] V_{out} 에 가장 적합한 c_{out}^m 을 선정하면 외측 프리코더(210)의 프리코딩 행렬 P_{out} 은 다음과 같을 수 있다.

[182] [수학식 34]

$$[183] \quad P_{out} = \begin{bmatrix} e^{-j3\pi/4} & e^{-j2\pi/4} \\ e^{j\pi/4} & e^{-j\pi/4} \end{bmatrix}$$

[184] V_{out} 와 P_{out} 간에는 큰 유사성이 존재하여 SVD와 유사한 프리코딩을 수행할 수

있다.

[185]

[186] 이하 외측 프리코더(210)과 내측 프리코더(220)에 사용되는 코드북들이 아래와 같은 형식을 가질 때 두개의 프리코딩 행렬들(P_{out} 및 P_{in})의 곱이 적어도 임의의 채널 H 의 아이겐벡터와 유사한 벡터를 사용하여 프리코딩을 수행하는 것을 예시적으로 설명한다.

[187]

앞서 언급하였듯이 내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 의 모든 구성요소들(elements)은 각각 다른 진폭(amplitude)을 가질 수 있다. 다만 안테나별 전송 전력을 동일하게 유지하기 위하여 내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 을 위해 설계된 코드북 내 코드워드들이 행(row) 및 열(column)별 동일한 전력을 가지도록 설계될 수 있다.

[188]

내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬의 P_{in} 코드북이 다음과 같을 경우 내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 과 외측 프리코더(210)의 프리코딩 행렬 P_{out} 을 전술한 바와 동일한 방식으로 선정할 수 있다.

[189]

[수학식 35]

[190]

$$C_{in}^m = \frac{1}{\sqrt{5}} \begin{bmatrix} 2 \exp(jm_0\theta) & \exp(jm_1\theta) \\ \exp(jm_2\theta) & 2 \exp(jm_3\theta) \end{bmatrix}$$

[191]

내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 과 외측 프리코더(210)의 프리코딩 행렬 P_{out} 을 전술한 바와 동일한 방식으로 선정할 수 있다.

[192]

[수학식 36]

[193]

$$P_{in} = \begin{bmatrix} 2 \exp(j7\pi/4) & \exp(j\pi/4) \\ \exp(j5\pi/4) & 2 \exp(j3\pi/4) \end{bmatrix}$$

[194]

[수학식 37]

[195]

$$V_{out} = \begin{bmatrix} 1.004 \exp(j1.14\pi/4) & 0.996 \exp(j2.19\pi/4) \\ 0.996 \exp(j0.332\pi/4) & 1.004 \exp(-j2.62\pi/4) \end{bmatrix}$$

[196]

[수학식 38]

[197]

$$P_{out} = \begin{bmatrix} \exp(j\pi/4) & \exp(j2\pi/4) \\ 1 & \exp(-j3\pi/4) \end{bmatrix}$$

[198]

내측 프리코더(220)의 프리코딩 행렬 P_{in} 의 코드북이 각각 다른 진폭을 가지는 구성요소들로 구성된 경우에도 여전히 우수한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

[199]

따라서, 전술한 두가지 예시를 통해 알 수 있는 바와 같이 내측 프리코더(220)의

프리코딩 행렬 P_{in} 의 코드북의 각각 구성요소들의 진폭이 다른 경우에 더욱 우수한 성능을 보일 수는 것을 확인할 수 있다.

- [200] 이상, MIMO 시스템에서 일실시에에 따른 채널상태정보 피드백 장치에 대해 기재하였으나, 이하 MIMO 시스템에서 일실시에에 따른 채널상태정보 피드백 방법 전체에 대해 기재한다.
- [201]
- [202] 도 6는 다른 실시예에 따른 단말의 채널상태정보 피드백 방법의 흐름도이다.
- [203] 다른 실시예에 의한 채널상태정보 피드백 방법(600)으로, 단말이
기지국으로부터 참조신호(Reference Signal), 예를 들어 CSI-RS(Channel State Index Reference Signal)를 수신하는 참조신호 수신 단계(S610)와, 수신된 CSI-RS를 이용하여 채널을 추정하는 채널추정단계(S620)와,
채널추정단계(S620)의 채널 추정 결과를 기초로 해당되는 채널상태정보를 생성하는 채널 상태정보 생성단계(S630), 이 채널상태정보를 피드백하는 피드백 단계(S640)를 포함한다.
- [204] 위에서 참조신호 수신단계(S610)와 채널추정단계(S620)는 별도 또는 통합되어 구현될 수 있으며, 경우에 따라서 통합 구현될 수 있을 것이다.
- [205] 참조신호 수신단계(S610)에서 단말은 셀 고유의 CSI-RS를 수신하며 수신 신호의 어느 대역(어느 서브캐리어) 및 어느 심볼(Symbol)에 CSI-RS가 수신되는지에 대한 정보를 가지고 있기 때문에 그 시간-주파수 영역의 신호를 결정함으로써 CSI-RS 수신값을 측정할 수 있다.
- [206] 채널추정단계(S620)에서 단말은 수신된 CSI-RS를 이용하여 채널을 추정하는 기능을 한다.
- [207] 다음으로, 채널상태정보 생성단계(S640)는 채널추정단계(S620)의 채널 추정 결과를 기초로 채널상태정보를 생성한다. 채널상태정보에는 CQI값을 포함한다.
- [208] 이상, MIMO 시스템에서 일실시에에 따른 채널상태정보 피드백 방법 전체에 대해 기재하였으나, 이하 MIMO 시스템에서 일실시에에 따른 채널상태정보 피드백 방법의 단계들 중 하나인 채널상태정보 생성단계의 예들에 대해 기재한다.
- [209]
- [210] 도 7은 또다른 실시예에 따른 채널상태정보 생성방법을 도시한 흐름도이다. 도 7에 도시한 채널상태정보 생성방법(700)은 위에서 설명한 채널상태정보 생성단계(S640)의 일부에 해당함과 동시에 독립적인 방법을 구성할 수 있다. 다시 말해, 도 7에 도시한 채널상태정보 생성방법(700)은 도 6의 채널상태정보 생성단계(S640)의 전후 단계들과 독립적인 방법을 구성할 수 있고, 이 채널상태정보 생성방법(700)은 다른 기술을 구현하는데 포함될 수 있다.
- [211] 도 6 및 도 7를 참조하면, 단말은 채널추정단계(S620)의 채널 추정 결과인 채널행렬(Channel matrix)을 입력받아 공분산 행렬(covariance matrix)을 생성한다(S710).

- [212] 다음으로, 단말은 공분산 행렬(covariance matrix)의 아이겐벡터(eigen vector) 또는 고유벡터(특성벡터)를 계산한다(S720). 예를 들어, 전술한 바와 같이 컬레전치를 가진 채널행렬의 곱에 의해 형성되는 에르미트(Hermitian)행렬을 이용하여 채널행렬의 아이겐벡터를 계산할 수 있다.
- [213] 다음으로 단말은 채널 공분산행렬의 아이겐벡터를 사용하여 전술한 내측 코드워드용 제1코드북에서 적당한 코드워드를 선정한다(S730).
- [214] 다음으로 단말은 채널추정단계(S620)의 채널 정보와 S730 단계에서 선정된 코드워드를 사용하여 전술한 외측 코드워드용 제2코드북에서 적당한 코드워드를 선정한다(S740).
- [215] 전술한 바와 같이 단말은 아래 수학적식을 만족하는 내측 코드워드용 제1코드북 및 외측 코드북용 제2코드북에 각각 속하는 코드워드들을 선정하여 이들의 PMI를 피드백한다.
- [216] [수학적식 39]
- [217]
$$(PMI_{in}, PMI_{out}) = \min_{n,m} \left| (c_{in}^n)^H V - c_{out}^m \right|$$
- [218] 또다른 방법으로, 외측 코드워드용 코드북에 포함된 프리코딩 행렬이 아래와 같은 일정한 형식을 가지는 경우, P_{in} 과 P_{out} 를 선정하는 관계를 수학적식으로 표현할 수 있다.
- [219] [수학적식 40]
- [220]
$$c_{out}^n = \begin{bmatrix} \exp(jn_0\theta) & \exp(jn_1\theta) \\ \exp(jn_2\theta) & \exp(jn_3\theta) \end{bmatrix}$$
- [221] [수학적식 41]
- [222]
$$PMI_{in} = \min_n \left| (c_{in}^n)^H V - C_{out} \right|$$
- [223] [수학적식 42]
- [224]
$$PMI_{out} = \min_m \left| (P_{in})^H V - c_{out}^m \right|$$
- [225] 채널상태정보 생성단계(S630)에서 S710단계와 S720단계, S730단계, S740단계를 개념상으로 분리하였으나, 별도 또는 통합되어 구현될 수 있으며, 경우에 따라서 통합 구현될 수 있다.
- [226] 도 6 및 도 7을 참조하면, 피드백단계(S640)는 S730단계에서 선정된 코드워드를 지정하는 제1피드백정보, 예를 들어 제1프리코딩 행렬 지시자(PMI_{in})과 S740에서 선정된 코드워드를 지정하는 제2피드백정보, 예를 들어

제2프리코딩 행렬 지시자(PMI_{out})를 피드백한다. 이때 피드백단계(S640)는 제1프리코딩 행렬 지시자 또는 제2프리코딩 행렬 지시자를 동시에 전송할 수도 있고, 순차적으로 전송할 수도 있다. 한편, 피드백단계(S640)는 제1프리코딩 행렬 지시자 또는 제2프리코딩 행렬 지시자 각각의 전송 주기가 동일할 수도 있고 다를 수도 있다.

[227] 이상, MIMO 시스템에서 일실시에에 따른 채널상태정보 피드백 방법 및 이 단계들 중 하나인 채널상태정보 생성단계의 예들에 대해 기재하였으나, 이하 내측 코드워드용 코드북이 기록된 컴퓨터 해독 가능한 기록매체에 대해 기재한다.

[228]

[229] 다른 실시예는 프리코더의 프리코딩에 사용되는
$$c_{in}^n (c_{in}^n)^H = I$$
 c_{in}^n

은 인덱스 n에 의해 표기되는 코드워드)를 만족하는 코드워드들과 상기 코드워드들을 각각 지정하는 인덱스를 포함하는 코드북이 기록된 컴퓨터로 해독 가능한 기록 매체를 제공한다.

[230] 코드북은 예를 들어 다수의 인덱스에 대해 각각의 레이어에 대한 코드워드들을 포함할 수 있다. 이때 코드북은 최대 레이어의 프리코딩 행렬을 정하고 레이어 수가 낮은 프리코딩 행렬을 최대 레이어의 프리코딩 행렬의 일부를 선택하는 하우스 홀드 기법(house hold scheme)에 따라 구성될 수 있다.

[231] [표 1]

Codebook Index	Number of layers ν			
	1	2	3	4
0	$c_0^{\{1\}}$	$c_0^{\{14\}} / \sqrt{2}$	$c_0^{\{124\}} / \sqrt{3}$	$c_0^{\{1234\}} / 2$
1	$c_1^{\{1\}}$	$c_1^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$c_1^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$c_1^{\{1234\}} / 2$
2	$c_2^{\{1\}}$	$c_2^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$c_2^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$c_2^{\{3214\}} / 2$
3	$c_3^{\{1\}}$	$c_3^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$c_3^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$c_3^{\{3214\}} / 2$

[233]

[234] 이때 코드워드들은 역행렬이 존재할 수 있다.
$$c_{in}^n (c_{in}^n)^H = I$$
 관계가

성립되고 역행렬이 존재하므로 코드워드들은 유니타리 행렬에 해당하게 되고, 코드북은 유니타리 코드북에 해당하게 된다.

[235] 표1의 코드북은 전술한 내측 코드워드용 코드북일 수 있다. 한편, 전술한 외측 코드워드용 코드북은 기존에 사용하던 코드북, 예를 들어 3GPP LTE에서 사용하는 코드북일 수 있다.

- [236] 전술한 코드북이 기록된 컴퓨터로 해독 가능한 기록 매체는 도 1에 도시한 기지국이나 단말에 저장되어 프리코딩에 사용되거나 프리코딩 행렬 정보를 피드백하는데 사용될 수 있으나 이에 제한되지 않는다.
- [237]
- [238] 이상에서, 본 발명의 실시예를 구성하는 모든 구성 요소들이 하나로 결합되거나 결합되어 동작하는 것으로 설명되었다고 해서, 본 발명이 반드시 이러한 실시예에 한정되는 것은 아니다. 즉, 본 발명의 목적 범위 안에서라면, 그 모든 구성 요소들이 하나 이상으로 선택적으로 결합하여 동작할 수도 있다. 또한, 그 모든 구성 요소들이 각각 하나의 독립적인 하드웨어로 구현될 수 있지만, 각 구성 요소들의 그 일부 또는 전부가 선택적으로 조합되어 하나 또는 복수 개의 하드웨어에서 조합된 일부 또는 전부의 기능을 수행하는 프로그램 모듈을 갖는 컴퓨터 프로그램으로서 구현될 수도 있다. 그 컴퓨터 프로그램을 구성하는 코드들 및 코드 세그먼트들은 본 발명의 기술 분야의 당업자에 의해 용이하게 추론될 수 있을 것이다. 이러한 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터가 읽을 수 있는 저장매체(Computer Readable Media)에 저장되어 컴퓨터에 의하여 읽혀지고 실행됨으로써, 본 발명의 실시예를 구현할 수 있다. 컴퓨터 프로그램의 저장매체로서는 자기 기록매체, 광 기록매체, 캐리어 웨이브 매체 등이 포함될 수 있다.
- [239] 또한, 이상에서 기재된 "포함하다", "구성하다" 또는 "가지다" 등의 용어는, 특별히 반대되는 기재가 없는 한, 해당 구성 요소가 내재될 수 있음을 의미하는 것이므로, 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 기술적이거나 과학적인 용어를 포함한 모든 용어들은, 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어와 같이 일반적으로 사용되는 용어들은 관련 기술의 문맥 상의 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 발명에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [240] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.
- [241] **CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATION**
- [242] 본 특허출원은 2010년 4월 5일 한국에 출원한 특허출원번호 제 10-2010-0031146 호에 대해 미국 특허법 119(a)조(35 U.S.C § 119(a))에 따라

우선권을 주장하며, 그 모든 내용은 참고문헌으로 본 특허출원에 병합된다.
아울러, 본 특허출원은 미국 이외에 국가에 대해서도 위와 동일한 동일한 이유로
우선권을 주장하면 그 모든 내용은 참고문헌으로 본 특허출원에 병합된다.

청구범위

[청구항 1]

무선통신시스템에서,
코드워드를 레이어에 맵핑하는 레이어 매퍼;
프리코딩 행렬을 이용하여 매핑된 심볼들을 순차적으로
프리코딩하는 적어도 두개의 프리코더; 및
프리코딩된 심볼을 공중으로 전파하는 둘 이상의 안테나들을
포함하고,
상기 프리코더 중 가장 내측의 프리코더는 $P_{in} P_{in}^H = I$ (P_{in} 은
가장 내측의 프리코딩 행렬, H 는 에르미트 행렬(Hermitian
matrix)의 연산자, I 는 단위행렬)를 만족하는 프리코딩 행렬을
이용하여 프리코딩하는 것을 특징으로 하는 기지국.

[청구항 2]

제1항에 있어서,
상기 프리코딩 행렬은 가장 내측의 프리코딩 행렬과 외측의
프리코딩 행렬을 포함하며,
상기 가장 내측의 프리코딩 행렬은 $c_{in}^n (c_{in}^n)^H = I$ (c_{in}^n 은

인덱스 n 에 의해 표기되는 코드워드)를 만족하는 코드워드들을
포함하는 내측 코드워드용 코드북에서 선택되며, 상기 외측의
프리코딩 행렬은 $\min_{n,m} |V_t - c_{in}^n \times c_{out}^m|$ (V_t 은 임의의 순간 t

에서의 채널 또는 채널 공분산 행렬(covariance matrix)의 아이겐
벡터(eigen vector), c_{out}^m 은 인덱스 m 에 의해 표기되는

코드워드)를 만족하는 코드워드들을 포함하는 외측 코드워드용
코드북에서 선택된 것을 특징으로 하는 기지국.

[청구항 3]

제2항에 있어서,
상기 두개의 프리코딩 행렬들은 각각 단말로부터의 각각 채널
피드백 정보를 사용하여 상기 내측 코드워드용 코드북과 상기
외측 코드워드용 코드북으로부터 선택된 것을 특징으로 하는
기지국.

[청구항 4]

제3항에 있어서,
상기 채널 피드백 정보는 프리코딩 행렬 지시자인 것을 특징으로
하는 기지국.

[청구항 5]

제2항에 있어서,
상기 내측 코드워드용 코드북과 상기 외측 코드워드용 코드북은
동일한 코드북이거나 다른 코드북인 것을 특징으로 하는 기지국.

[청구항 6]

제2항에 있어서,

상기 내측 코드워드용 코드북과 상기 외측 코드워드용 코드북은 독립적으로 유니타리 코드북이거나 그렇지 않은 것을 특징으로 하는 기지국.

[청구항 7]

무선통신시스템에서,

기지국으로부터 참조신호(Reference Signal)를 수신하는 참조신호 수신부;

수신된 참조신호를 이용하여 채널을 추정하는 채널추정부;

상기 채널추정부의 채널 추정 결과를 기초로

$$c_{in}^n (c_{in}^n)^H = I \quad (c_{in}^n \text{은 인덱스 } n \text{에 의해 표기되는}$$

코드워드)를 만족하는 코드워드들을 포함하는 내측 코드워드용 코드북에서 선택된 내측 코드워드를 지정하는 내측 채널 피드백

정보와 $\min_{n,m} |V_t - c_{in}^n \times c_{out}^m|$ (V_t 은 임의의 순간 t 에서의 채널

또는 채널 공분산 행렬(covariance matrix)의 아이겐 벡터(eigen vector), c_{out}^m 은 인덱스 m 에 의해 표기되는 코드워드)를 만족하는

코드워드들을 포함하는 외측 코드워드용 코드북에서 선택된 외측 코드워드를 지정하는 외측 채널 피드백 정보를 포함하는

채널상태정보를 생성하는 채널상태정보 생성부; 및

상기 생성된 채널상태정보를 피드백하는 피드백부를 포함하는 채널상태정보 피드백 장치.

[청구항 8]

제7항에 있어서,

상기 내측 채널 피드백 정보 및 상기 외측 채널 피드백 정보는 각각 내측 프리코딩 행렬 지시자(PMI_{in})과 외측 프리코딩 행렬 지시자(PMI_{out})인 것을 특징으로 하는 채널상태정보 피드백 장치.

[청구항 9]

제8항에 있어서,

상기 내측 프리코딩 행렬 지시자(PMI_{in})과 상기 외측 프리코딩 행렬 지시자(PMI_{out})은 다음 수학식을 만족하는 것을 특징으로 하는 채널상태정보 피드백 장치.

$$(PMI_{in}, PMI_{out}) = \min_{n,m} \left| (c_{in}^n)^H V - c_{out}^m \right|$$

여기서, V 는 임의의 채널 H 의 아이겐 벡터이다.

[청구항 10]

기지국으로부터 참조신호(Reference Signal)를 수신하는 참조신호 수신단계;

수신된 참조신호를 이용하여 채널을 추정하는 채널추정단계;

$$c_{in}^n (c_{in}^n)^H = I \quad (c_{in}^n \text{ 은 인덱스 } n \text{에 의해 표기되는 코드워드})$$

만족하는 코드워드들을 포함하는 내측 코드워드용 코드북에서
선택된 내측 코드워드를 지정하는 내측 채널 피드백 정보와

$$\min_{n,m} |V_t - c_{in}^n \times c_{out}^m| \quad (V_t \text{ 은 임의의 순간 } t \text{에서의 채널 또는 채널}$$

공분산 행렬(covariance matrix)의 아이겐 벡터(eigen vector), c_{out}^m

은 인덱스 m에 의해 표기되는 코드워드)를 만족하는

코드워드들을 포함하는 외측 코드워드용 코드북에서 선택된 외측
코드워드를 지정하는 외측 채널 피드백 정보를 포함하는

채널상태정보를 생성하는 채널상태정보 생성단계; 및

상기 생성된 채널상태정보를 피드백하는 피드백단계를 포함하는
채널상태정보 피드백 방법.

[청구항 11]

제10항에 있어서,

상기 내측 채널 피드백 정보 및 상기 외측 채널 피드백 정보는 각각
내측 프리코딩 행렬 지시자(PMI_{in})과 외측 프리코딩 행렬

지시자(PMI_{out})인 것을 특징으로 하는 채널상태정보 피드백 방법.

[청구항 12]

제11항에 있어서,

상기 내측 프리코딩 행렬 지시자(PMI_{in})과 상기 외측 프리코딩
행렬 지시자(PMI_{out})은 다음 수학적식을 만족하는 것을 특징으로
하는 채널상태정보 피드백 방법.

$$(PMI_{in}, PMI_{out}) = \min_{n,m} |(c_{in}^n)^H V - c_{out}^m|$$

여기서, V는 임의의 채널 H의 아이겐벡터이다.

[청구항 13]

프리코더의 프리코딩에 사용되는

$$c_{in}^n (c_{in}^n)^H = I \quad (c_{in}^n \text{ 은}$$

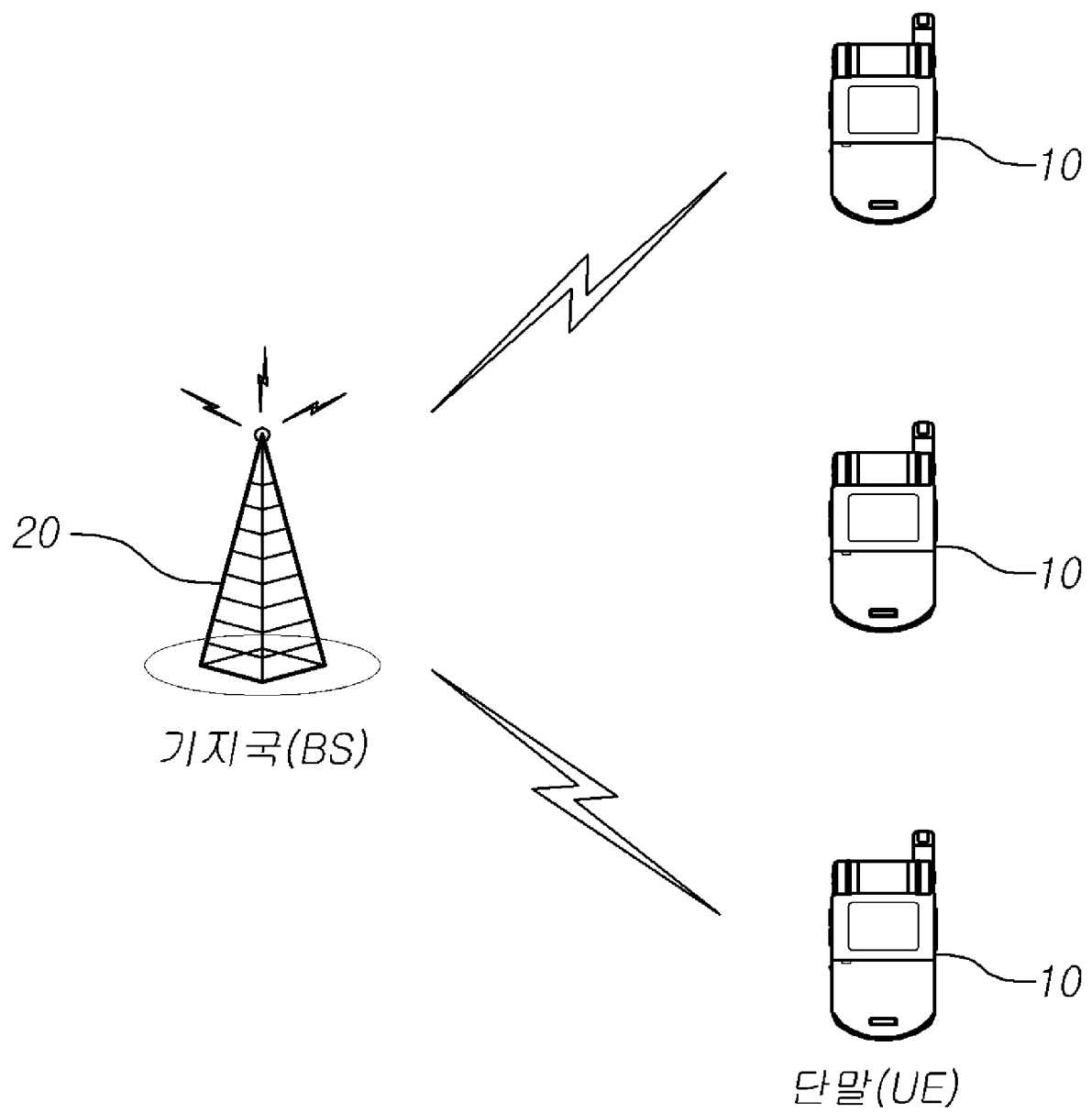
인덱스 n에 의해 표기되는 코드워드)를 만족하는 코드워드들과
상기 코드워드들을 각각 지정하는 인덱스를 포함하는 코드북이
기록된 컴퓨터로 해독 가능한 기록 매체.

[청구항 14]

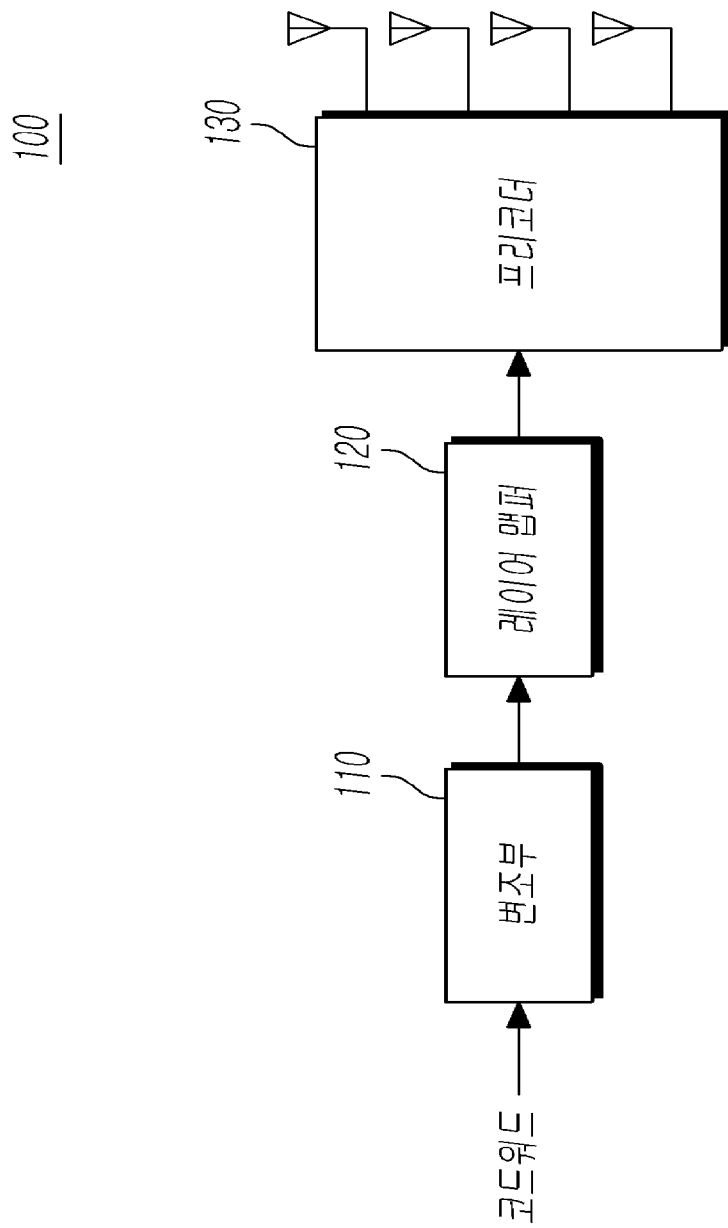
제13항에 있어서,

상기 코드워드는 역행렬이 존재하는 것을 특징으로 하는 코드북이
기록된 컴퓨터로 해독 가능한 기록 매체.

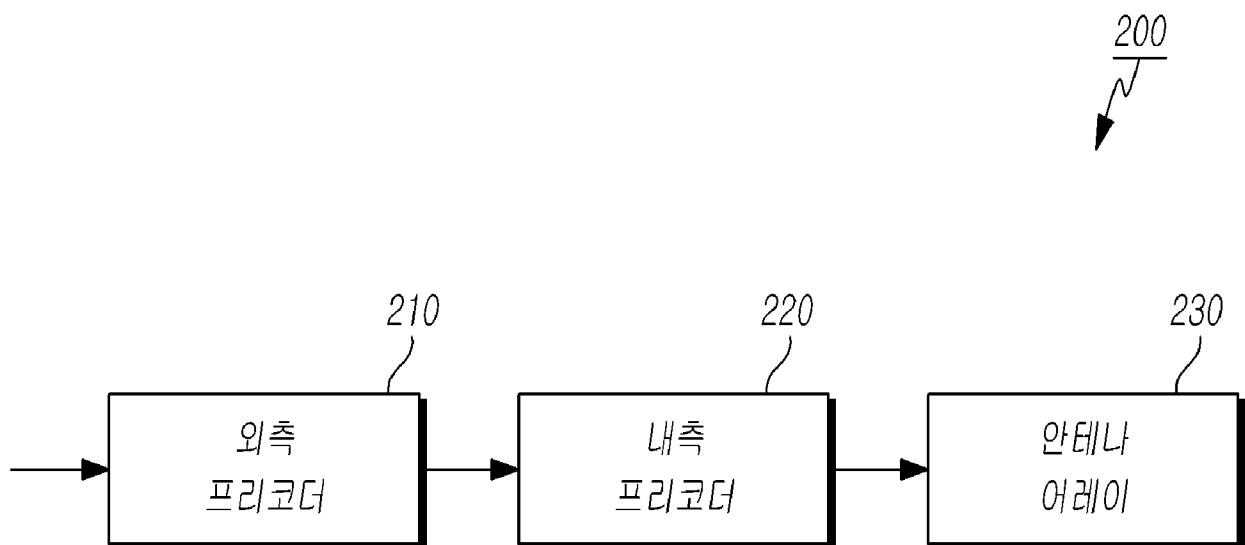
[Fig. 1]



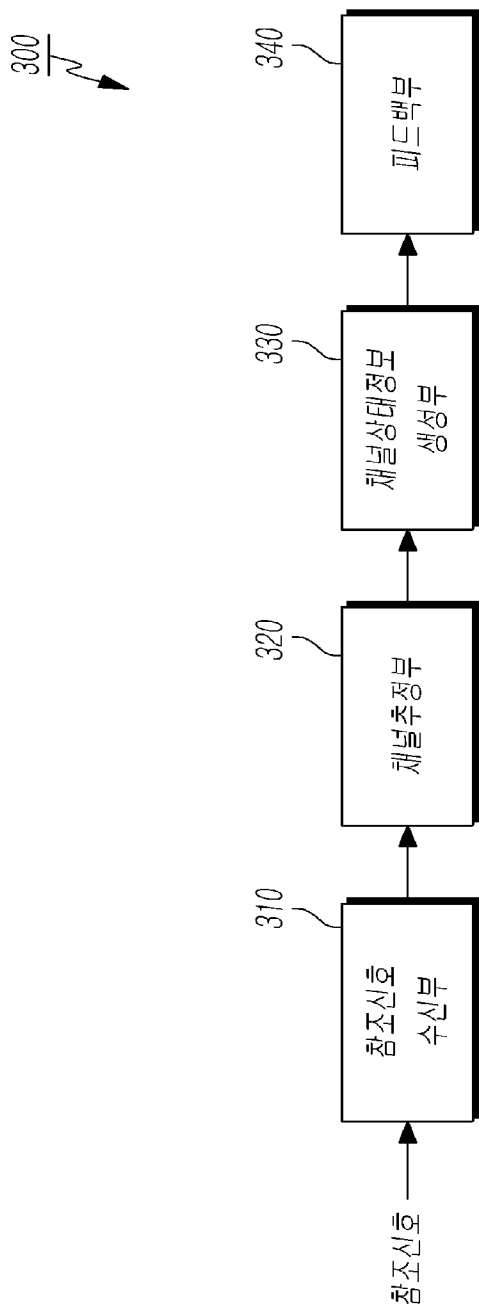
[Fig. 2]



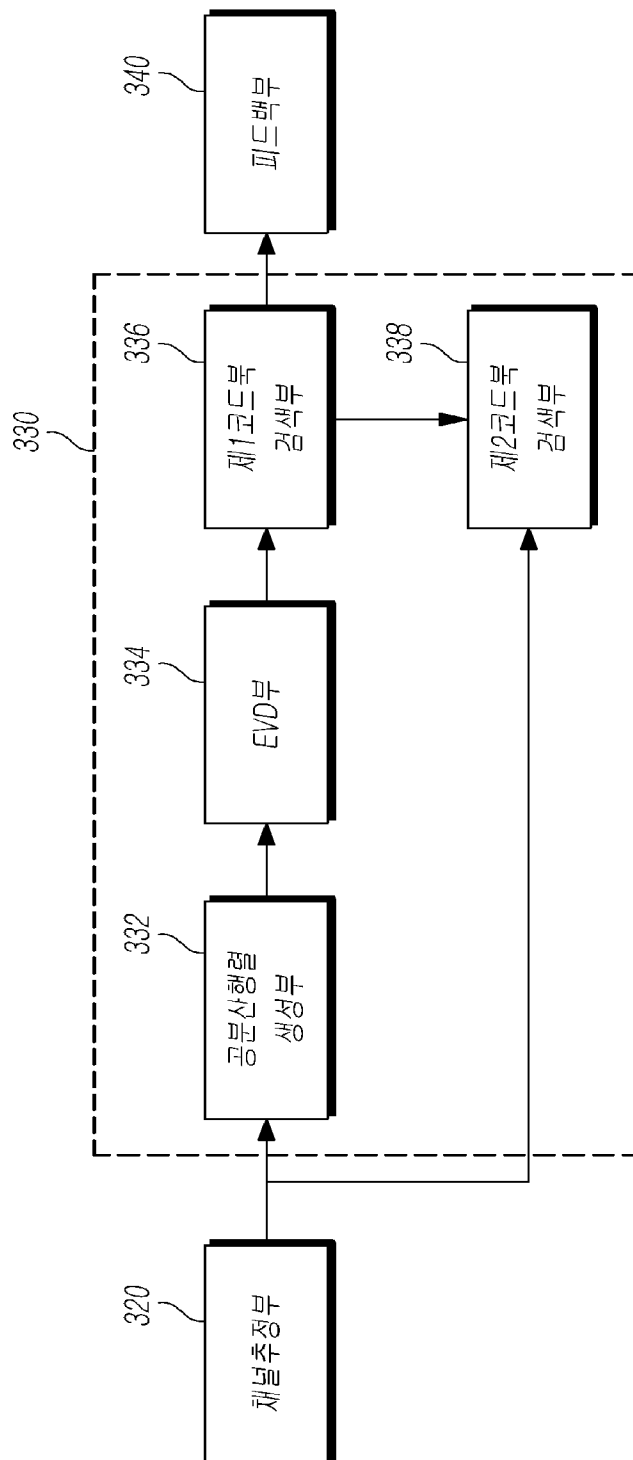
[Fig. 3]



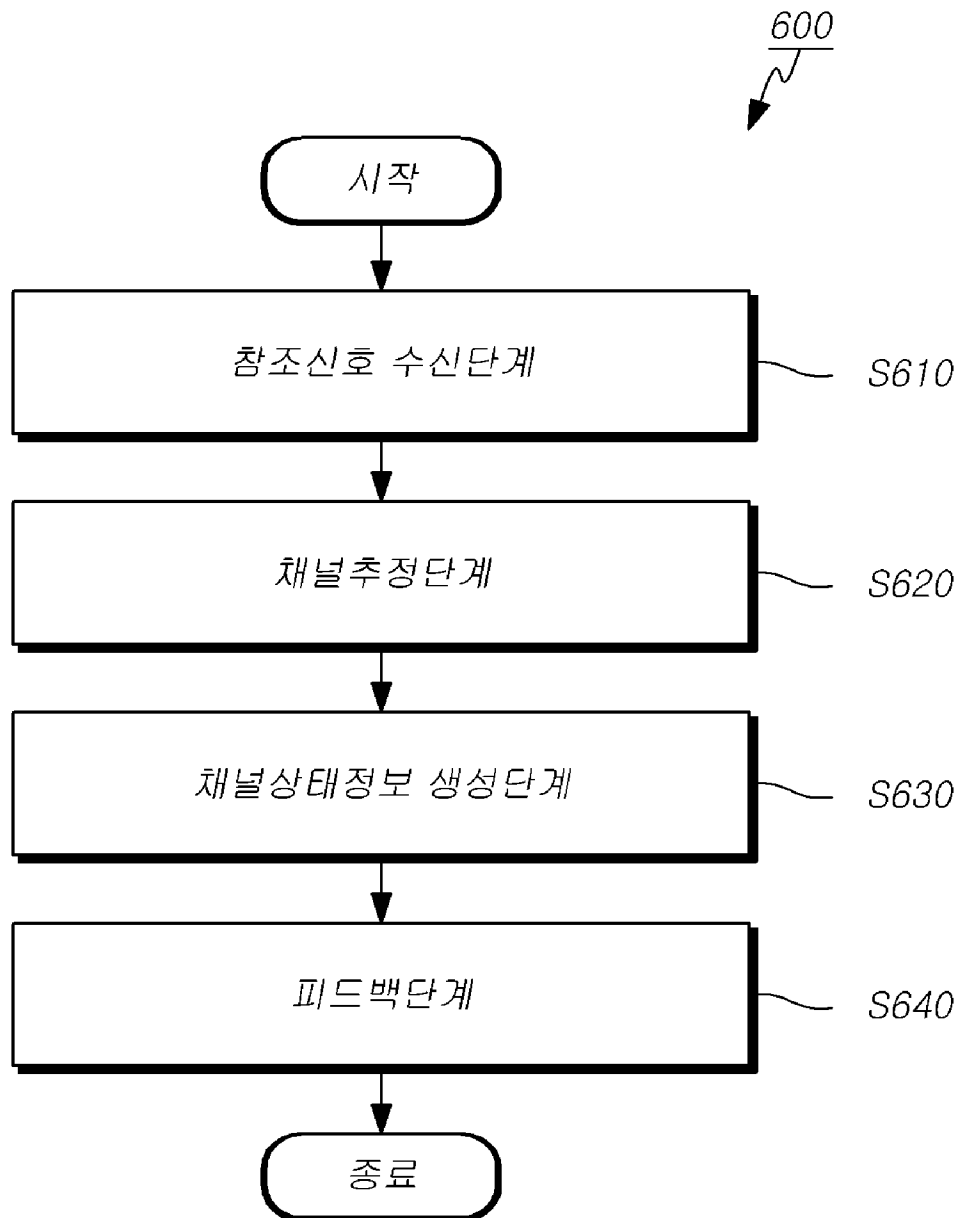
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]

