

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(43) 국제공개일
2011년 10월 13일 (13.10.2011)

PCT

(10) 국제공개번호
WO 2011/126236 A2

- (51) 국제특허분류:
H04B 7/04 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2011/002257
- (22) 국제출원일: 2011년 3월 31일 (31.03.2011)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2010-0031304 2010년 4월 6일 (06.04.2010) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여):
(주)팬택 (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:

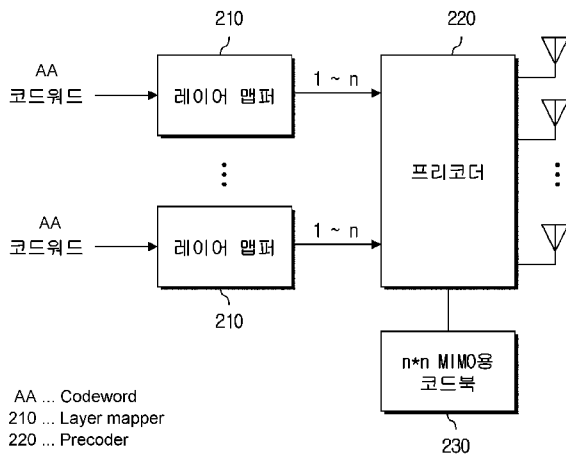
- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

(54) Title: TRANSMISSION DEVICE, RECEIVING DEVICE, INFORMATION TRANSMISSION METHOD, INFORMATION RECEIVING METHOD IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM, AND RECORDING MEDIUM

(54) 발명의 명칭: 무선통신시스템에서의 전송장치, 수신장치, 정보 전송방법, 정보 수신방법 및 기록매체

[Fig. 2]

200



AA ... Codeword
210 ... Layer mapper
220 ... Precoder
230 ... n*n MIMO codebook

(57) Abstract: The present invention relates to a transmission device, a receiving device, an information transmission method, an information receiving method in a wireless communication system, and a recording medium in which data of a codebook used for transmitting and receiving information is recorded.

(57) 요약서: 본 명세서는 무선통신시스템에서의 전송장치, 수신장치, 정보 전송방법 및 정보 수신방법과, 정보 전송 및 수신시 이용되는 코드북의 데이터가 기록된 기록매체에 관한 것이다.

명세서

발명의 명칭: 무선통신시스템에서의 전송장치, 수신장치, 정보 전송방법, 정보 수신방법 및 기록매체

기술분야

- [1] 본 명세서는 무선통신시스템에서의 전송장치, 수신장치, 정보 전송방법 및 정보 수신방법과, 정보 전송 및 수신시 이용되는 코드북의 데이터가 기록된 기록매체에 관한 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.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [4] 본 명세서는 작은 크기의 어레이용 코드북을 활용하여 보다 큰 어레이용 코드북을 확장하여 설계하는 방법을 제공하고, 이를 통해, 통신 용량을 확대시킬 수 있는 무선통신 시스템을 제공한다.

과제 해결 수단

- [5] 전술한 과제를 달성하기 위해, 일 측면에서, 본 발명은, 코드워드를 하나 이상의 레이어에 매핑하는 레이어 매퍼; 및 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북에 포함된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들 중에서 입력된 프리코딩 행렬 지시자에 대응되는 $n \times n$ 프리코딩 행렬을 이용하여 상기 레이어 매퍼에 의해 매핑된 심볼들을 프리코딩하는 프리코더를 포함하는 무선통신시스템에서의 전송장치를 제공한다.
- [6] 다른 측면에서, 본 발명은, 전송할 코드워드를 하나 이상의 레이어에 매핑하는 단계; 및 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북에 포함된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들 중에서 입력된 프리코딩 행렬 지시자에 대응되는 $n \times n$ 프리코딩 행렬을 이용하여 상기 레이어 매퍼에 의해 매핑된 심볼들을 프리코딩하는 단계를 포함하는 무선통신시스템에서의 정보 전송방법을 제공한다.
- [7] 또 다른 측면에서, 본 발명은, 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북에서 채널 상태에 따라 선택된 프리코딩 행렬 지시자를 전송하는 채널 평가부; 및 상기 전송된 프리코딩 행렬 지시자에 근거하여 프리코딩된 신호를 수신하는

신호 수신부를 포함하는 무선통신시스템에서의 수신장치를 제공한다.

- [8] 또 다른 측면에서, 본 발명은, 4*4 MIMO용 코드북에 포함된 4*4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n*n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n*n$ MIMO용 코드북에서 채널상태정보에 근거해 선택된 프리코딩 행렬 지시자를 전송하는 단계; 및 상기 전송된 프리코딩 행렬 지시자에 근거하여 프리코딩된 신호를 수신하는 단계를 포함하는 무선통신시스템에서의 정보 수신방법을 제공한다.
- [9] 또 다른 측면에서, 본 발명은, 4*4 MIMO용 코드북에 포함된 4*4 프리코딩 행렬들이 조합되고 프리코딩 행렬 지시자에 대응되어 검색되는 $n*n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n*n$ MIMO용 코드북의 데이터가 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.
- [10] 또 다른 측면에서, 본 발명은, 4*4 MIMO용 코드북에 포함된 4*4 프리코딩 행렬들이 조합되고 채널상태정보에 근거해 검색되는 $n*n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n*n$ MIMO용 코드북의 데이터가 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.

도면의 간단한 설명

- [11] 도 1은 본 발명의 실시예들이 적용되는 무선통신 시스템을 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [12] 도 2는 실시예에 따른 전송장치에 대한 블록구성도이다.
- [13] 도 3은 $n*n$ MIMO용 코드북의 예시도이다.
- [14] 도 4는 $n=8$ 인 경우, $n*n$ MIMO용 코드북의 일 예를 나타낸다.
- [15] 도 5는 $n=8$ 인 경우, $n*n$ MIMO용 코드북의 다른 예를 나타낸다.
- [16] 도 6은 $n=8$ 인 경우, $n*n$ MIMO용 코드북의 또 다른 예를 나타낸다.
- [17] 도 7은 도 6의 조합들을 사용하여 크기 8의 단일 코드북으로 8*8 MIMO용 코드북을 생성한 것을 예시적으로 나타낸 도면이다.
- [18] 도 8은 도 6의 조합들을 사용하여 두 개의 코드북으로 8*8 MIMO용 코드북을 생성한 것을 예시적으로 나타낸 도면이다.
- [19] 도 9는 실시예에 따른 수신장치에 대한 블록구성도이다.
- [20] 도 10은 4*4 MIMO용 코드북을 예시적으로 나타낸 도면이다.
- [21] 10: 단말 20: 기지국
- [22] 200: 전송장치 210: 레이어 맵퍼
- [23] 220: 프리코더 230: $n*n$ MIMO용 코드북
- [24] 310: 4*4 프리코딩 행렬 320: 8*8 프리코딩 행렬
- [25] 330: 12*12 프리코딩 행렬 340: 16*16 프리코딩 행렬
- [26] 900: 수신장치 910: 채널 평가부
- [27] 920: 신호 수신부

발명의 실시를 위한 형태

- [28] 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.

- [29] 도 1은 본 발명의 실시예들이 적용되는 무선통신 시스템을 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [30] 무선통신 시스템은 음성, 패킷 데이터 등과 같은 다양한 통신 서비스를 제공하기 위해 널리 배치된다.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 본 발명의 일실시예에 의한 전력할당기술(power allocation)은 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.
- [36] 도 2는 실시예에 따른 전송장치(200)에 대한 블록구성도이다.
- [37] 도 2를 참조하면, 전송장치(200)는, 레이어 매퍼(Layer Mapper, 210) 및 프리코더(220) 등을 포함하고, $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 대한 데이터를 기록한 기록매체를 포함할 수 있다. 이러한 전송장치(200)는, 도 1의 기지국(20)의 통신시스템 또는 전송장치일 수 있다.
- [38] 이러한 전송장치(200)에 포함된 레이어 매퍼(210)는, 코드워드를 하나 이상의 레이어(Layer)에 매핑한다. 프리코더(220)는, 4×4 MIMO(Multiple Input Multiple Output, 이하 "MIMO"라 칭함)용 코드북(Codebook)에 포함된 4×4 프리코딩 행렬(Precoding Matrix)들이 조합된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 포함된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들 중에서 입력된 프리코딩

- 행렬 지시자(Precoding Matrix Index)에 대응되는 $n \times n$ 프리코딩 행렬을 검색하고 이를 이용하여 레이어 맵퍼(110)에서 매핑된 심볼들을 프리코딩한다.
- [39] 전술한 프리코더(220)가 프리코딩을 위해 입력받는 프리코딩 행렬 지시자는 "코드북 지시자(Codebook Index)"라고도 하는데, 해당 채널 상태에 따라 후술할 도 9의 수신장치(900)로부터 수신하여 입력받을 수 있다. 후술할 도 9의 수신장치(900)는, 채널 상태를 평가하고, 전송장치(200)가 이용하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)과 동일한 $n \times n$ MIMO용 코드북을 참조하여, 평가된 채널 상태에 맞는 프리코딩 행렬을 검색하고 그에 대응된 프리코딩 행렬 지시자를 전송장치(200)로 송신해준다.
- [40] 위에서 언급한 4×4 MIMO용 코드북은, LTE(Long Term Evolution) 표준에 정의된 4×4 MIMO용 코드북으로서, 4×4 프리코딩 행렬들이 포함된 랭크(Rank) 4 코드북, 4×3 프리코딩 행렬들이 포함된 랭크 3 코드북, 4×2 프리코딩 행렬들이 포함된 랭크 2 코드북 및 4×1 프리코딩 행렬들이 포함된 랭크 1 코드북 등을 포함한다. 랭크 3 코드북, 랭크 2 코드북 및 랭크 1 코드북은 랭크 4 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬을 분할하여 얻어진 4×3 프리코딩 행렬, 4×2 프리코딩 행렬 및 4×1 프리코딩 행렬을 각각 포함한다.
- [41] $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에서, " n "은, 8 이상의 4의 배수일 수 있다. 즉, n 은 8, 12, 16, 20,...이다.
- [42] 또한, $n \times n$ MIMO용 코드북(230)은, 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들 각각에 $(n/4)^2$ 개의 상수 각각을 곱함으로써 4×4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함할 수 있다.
- [43] 이상 전송장치(200)에 대해 기재하였으나, 이하 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 대해 기재한다.
- [44] 도 3은 이러한 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)의 예시도이다.
- [45] 도 3을 참조하면, 4×4 MIMO용 코드북에는 A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O 및 P 등의 4×4 프리코딩 행렬(310)을 포함할 수 있으며, 이러한 4×4 프리코딩 행렬(310)을 조합하여, $n=8$ 인 경우의 8×8 프리코딩 행렬(320)을 포함하는 8×8 MIMO용 코드북(320)을 만들 수 있으며, $n=12$ 인 경우의 12×12 프리코딩 행렬(330)을 포함하는 12×12 MIMO용 코드북(230)을 만들 수 있으며, $n=16$ 인 경우의 16×16 프리코딩 행렬(340)을 포함하는 16×16 MIMO용 코드북(230)을 만들 수 있다. 도 3에서는, 설명의 편의를 위해, $n=8$, $n=12$ 및 $n=16$ 인 경우의 프리코딩 행렬(320, 330, 340)에 포함된 4×4 프리코딩 행렬 앞에 곱해진 상수를 생략하여 도시하였다.
- [46] 본 명세서에서 실시예로 언급된 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)은, 4×4 프리코딩 행렬을 조합하여 얻어진 정방 행렬 형태의 프리코딩 행렬(즉, 8×8 , 12×12 , 16×16 등)을 포함하고 있다.
- [47] 하지만, 4×4 프리코딩 행렬을 조합하는 방식에 따라서, 4×4 프리코딩 행렬의 조합을 통해, 8×4 프리코딩 행렬, 12×4 프리코딩 행렬, 16×4 프리코딩 행렬, 12×8

프리코딩 행렬, 16*12 프리코딩 행렬, 16*14 프리코딩 행렬 등과 같이 정방 행렬이 아닌 프리코딩 행렬을 만들어, 이를 포함하는 보다 일반화된 $m \times n$ MIMO용 코드북을 만들 수도 있다.

[48] 아래에서는, $n=8$ 인 경우를 가정하여, 전술한 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)을 상세하게 설명한다. 즉, $n=8$ 인 경우의 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)은, 도 3의 320번과 같은 형태의 프리코딩 행렬을 갖는다.

[49] n 이 8인 경우, $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 포함된 프리코딩 행렬들은, R, R, R 및 R 를 포함하는 4개의 4*4 프리코딩 행렬들 각각에 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 및 α_4 을 포함하는 4개의 상수 각각이 곱해져서, 아래 수학식 1과 같은 형식을 갖는다.

[50] [수학식 1]

[51]

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 R_1 & \alpha_3 R_3 \\ \alpha_2 R_2 & \alpha_4 R_4 \end{bmatrix}$$

[52] 상기 수학식 1과 같은 형식을 갖는 프리코딩 행렬은, 4개의 상수인, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 및 α_4 에 대하여 아래 수학식 2와 같은 조건을 만족해야 한다.

[53] [수학식 2]

[54]

$$\frac{\alpha_3^* \alpha_4}{\alpha_1 \alpha_2} = \pm 1, \quad \alpha_3^* : \alpha_3 \text{의 켤레 (conjugate)}$$

[55] 상기 수학식에서, $(\alpha_3^* \alpha_4) / (\alpha_1^* \alpha_2)$ 를 c 라고 하면, c 는 1 또는 -1을 갖는다.

[56] $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 포함된 프리코딩 행렬들을 만들기 위해, 조합되는 4*4 MIMO용 코드북에 포함된 4*4 프리코딩 행렬들은, 유니타리 행렬(Unitary Matrix)일 수 있으며, 이러한 4*4 MIMO용 코드북에 포함된 4*4 프리코딩 행렬들을 조합하여 만들어진 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 포함된 프리코딩 행렬들도, 4*4 MIMO용 코드북과 동일한 특성을 가지기 위해서, 유니타리 행렬(Unitary Matrix)일 수 있다.

[57] 이와 같이, $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 포함된 프리코딩 행렬들이 유니타리 행렬이기 위해서는, $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 포함된 프리코딩 행렬들 각각은, 각각의 에르미트(Hermitian) 행렬과의 행렬 곱이 단위행렬이 되는 조건 1과, 역행렬이 존재해야만 하는 조건 2를 모두 만족해야만 한다. 이러한 조건 1과 조건 2은 아래 수학식 3과 같이 표현될 수 있다.

[58] [수학식 3]

[59]

$$\text{조건1: } \begin{bmatrix} \alpha_1 R_1 & \alpha_3 R_3 \\ \alpha_2 R_2 & \alpha_4 R_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 R_1 & \alpha_3 R_3 \\ \alpha_2 R_2 & \alpha_4 R_4 \end{bmatrix}^H = I$$

$$\text{조건2: } \begin{bmatrix} \alpha_1 R_1 & \alpha_3 R_3 \\ \alpha_2 R_2 & \alpha_4 R_4 \end{bmatrix}^{-1} : \text{존재}$$

[60] 상기 수학식 3에서 조건 1을 만족시키려면 다음의 식을 만족하여야 한다(단, α_i 은 1로 가정한다.)

$$[61] \begin{bmatrix} R_1 R_1^H + \alpha_3 \alpha_3^* R_3 R_3^H & \alpha_2^* R_1 R_2^H + \alpha_3 \alpha_4^* R_3 R_4^H \\ \alpha_2 R_2 R_1^H + \alpha_3^* \alpha_4 R_4 R_3^H & \alpha_2^* \alpha_2 R_2 R_2^H + \alpha_4^* \alpha_4 R_4 R_4^H \end{bmatrix} = I$$

[62] 모든 n 에 대하여, $R_n R_n^H = I$ 이므로,

$$[63] \begin{aligned} \alpha_2^* R_1 R_2^H + \alpha_3 \alpha_4^* R_3 R_4^H &= 0 \quad \text{또는} \\ \alpha_2 R_2 R_1^H + \alpha_3^* \alpha_4 R_4 R_3^H &= 0 \end{aligned}$$

[64] 가 된다.

[65] 또한, 조건 2를 만족하려면, 아래와 같이, 해당 프리코딩 행렬의 행렬식(Determinant)이 영(zero)이 아니면 된다.

$$[66] \begin{vmatrix} \alpha_1 R_1 & \alpha_3 R_3 \\ \alpha_2 R_2 & \alpha_4 R_4 \end{vmatrix} \neq 0$$

[67] 전술한 바와 같이, $n=8$ 인 경우에 대하여, 4×4 프리코딩 행렬을 조합하여 8×8 프리코딩 행렬을 만들고, 그 중에서 조건 1 및 조건 2를 만족하는 8×8 프리코딩 행렬을 선별하여 정리하여, $c=(\alpha_3^* \alpha_4)/(\alpha_1^* \alpha_2)$ 가 1과 -1인 경우로 나누어 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)을 나타내면 도 4와 같다. 도 4 내지 도 6에서, R_v 은, 4×4 MIMO용 코드북에서, 프리코딩 행렬 지시자(PMI: Precoding Matrix Indicator) $n-1$ 에 대응하는 랭크(Rank) 4 용 코드워드에 대응하는 행렬을 의미한다. 표준에서 사용하는 표기법에 따르면, 도 4 내지 도 6에서 표기된 R_v 은 $R_v=W^{(4)}_{v,1}$ 과 동일하다.

[68] $R_v=W^{(4)}_{v,1}$ 표기와 관련하여, 4개의 안테나 포트들(Antenna Ports, $p \in \{0,1,2,3\}$)에 대하여, 4×4 프리코딩 행렬 W 는, 4×4 MIMO용 코드북을 도시한 도 10으로부터

선택된다. 여기서, $W^{(s)}_v$ 은 $W_v = I - 2u_v u_v^H / u_v^H u_v$ 의 표현으로부터 세트(set) $\{s\}$ 에 의해 주어진 열(Column)에 정의되는 행렬이다. 여기서, I 는 4×4 항등행렬(Identity Matrix)이고, u_v 벡터는 도 10에 주어져 있다.

[69] 한편, 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들을 조합하여 만든 프리코딩 행렬에는, 중복된 조합이 포함될 수 있으며, 안테나 매핑 관계에 있는 조합이 있을 수 있다.

[70] 따라서, $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 포함된 프리코딩 행렬들 각각은, 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들에 의해 조합 가능한 프리코딩 행렬들 중에서 중복된 조합이 제거된 프리코딩 행렬들을 포함할 수 있다. 이와 같이, 도 4에서 중복된 조합을 제거한 프리코딩 행렬을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)은 도 5에 나타낸다.

[71] 또한, $n \times n$ MIMO용 코드북(230)은, 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들에 의해 조합 가능한 프리코딩 행렬들 중에서, 중복된 조합과 안테나 매핑 관계에 있는 조합이 제거된 프리코딩 행렬들을 포함할 수 있다. 이와 같이, 중복된 조합과 안테나 매핑 관계에 있는 조합을 제거한 프리코딩 행렬을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)은 도 6에 나타낸다.

[72] 도 4에 도시된 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 포함된 아래 두 프리코딩 행렬인

[73]
$$\begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_2 & R_4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} R_3 & R_1 \\ R_4 & R_2 \end{bmatrix}$$

[74] 의 경우, 일부 레이어(Layer)에서는 $[R_1 R_2]^T$ 을 사용하여 프리코딩을 수행하고, 나머지 레이어에서는 $[R_3 R_4]^T$ 을 사용하여 프리코딩을 수행하는 동일한 프리코더이다. 이와 같은 방식으로, 도 4의 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 포함된 프리코딩 행렬들 중에서 중복된 조합을 제거한 프리코딩 행렬을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)을 나타내면 도 5와 같다.

[75] 또한, 도 4 또는 도 5에 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 포함된 아래 두 프리코딩 행렬인

[76]
$$\begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_2 & R_4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} R_2 & R_4 \\ R_1 & R_3 \end{bmatrix}$$

[77] 은 동일한 레이어에 대하여 $[R_1 R_2]^T$ 또는 $[R_2 R_1]^T$ 을 사용하여 프리코딩을 수행하고, 나머지 레이어에 대해서는 $[R_3 R_4]^T$ 또는 $[R_4 R_3]^T$ 을 사용하여 프리코딩을 수행하는데, 이 둘 사이의 관계는 안테나 매핑(Antenna Mapping) 또는 안테나 선택(Antenna Selection) 기법이 적용된 것으로 설명될 수 있다. 이와

같이, 도 4에서 도 5로의 중복된 조합을 제거하고, 안테나 매핑 관계에 있는 조합도 더 제거하면 도 6과 같이 나타낼 수 있다.

- [78] 도 4 내지 도 6에 명시된 조합 가능한 코드워드들 중 일부 또는 전부를 사용하여 보다 큰 어레이를 가지는, 예시에서는 8개의 전송 안테나를 사용하는 MIMO 시스템에 적합한 프리코더 코드북(즉, $n=8$ 인 경우, $n \times n$ MIMO용 코드북(230))을 생성하는게 가능하다.
- [79] 이러한 프리코더 코드북(즉, $n=8$ 인 경우, $n \times n$ MIMO용 코드북(230))의 생성은, 도 7에 도시된 바와 같이 하나의 코드북, 하나의 피드백 인자(프리코딩 행렬 지시자(PMI))를 통해서 구현이 가능하며, 또는 도 8에 도시된 바와 같이 두 개의 코드북 두 개의 피드백 인자(프리코딩 행렬 지시자(PMI), PMI 1과 PMI 2)를 사용하여서도 구현 가능하다. 이때 전자는 3비트가 필요하고 후자는 4비트가 필요할 수 있다. 단, 본 명세서 전체에서 언급된 상수 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 및 α_4 는, 도 7 및 도 8에서는, 아래 첨자를 달리하여 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ 및 α_3 으로 표시한다.
- [80] 전술한 바에 따르면, 실시에는, 작은 크기의 어레이용 코드북(즉, 4×4 MIMO용 코드북)을 활용하여 보다 큰 어레이용 코드북(즉, $n \times n$ MIMO용 코드북(230))을 확장하여 설계하는 방법을 제공하고, 이를 통해, 통신 용량을 확대시킬 수 있는 무선통신 시스템을 제공할 수 있다.
- [81] 이상에서 전술한 실시예에 따른 전송장치(200)가 제공하는 정보 전송방법을 간략히 설명하면 다음과 같다.
- [82] 전송장치(200)는, 전송할 코드워드를 하나 이상의 레이어에 매핑하는 단계와, 4×4 MIMO용 코드북(230)에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북에 포함된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들 중에서 입력된 프리코딩 행렬 지시자(이를 "코드북 지시자"라고도 함)에 대응되는 $n \times n$ 프리코딩 행렬을 이용하여 매핑된 심볼들을 프리코딩하는 단계 등을 포함한다.
- [83] 전술한 바와 같이, 실시예에 따른 전송장치(200)는 정보 전송을 위해, $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 대한 데이터를 기록한 기록매체를 포함하거나 이용할 수 있다. 이러한 기록매체에 기록된 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 대한 데이터는 컴퓨터(여기서, 컴퓨터는 전송장치(200)일 수 있음)에 의해 읽혀질 수 있다.
- [84] 이에, 실시에는, 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들이 조합되고 프리코딩 행렬 지시자(Precoding Matrix Index)에 대응되어 검색되는 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 대한 데이터가 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.
- [85] 이상 전송장치(200)와, 이 전송장치(200)가 이용하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)에 대해 기재하였으나, 이하 수신장치에 대하여 기재한다.
- [86]
- [87] 도 9는 실시예에 따른 수신장치(900)에 대한 블록구성도이다.
- [88] 도 9를 참조하면, 수신장치(900)는, 채널 평가부(910) 및 신호 수신부(920) 등을 포함하고, $n \times n$ MIMO용 코드북(930)에 대한 데이터를 기록한 기록매체를

포함하거나 이용할 수 있다. 이러한 수신장치(900)는, 도 1의 단말(10)의 통신시스템 또는 수신장치일 수 있다.

- [89] 이러한 수신장치(900)에 포함된 채널 평가부(910)는, 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(930)에서 채널 상태에 따라 선택된 프리코딩 행렬 지시자(Precoding Matrix Index)를 도 2의 전송장치(200)로 전송한다. 또한, 신호 수신부(920)는, 채널 평가부(910)에서 전송된 프리코딩 행렬 지시자에 근거하여 프리코딩된 신호를 전송장치(200)로부터 수신한다.
- [90] 전송한 채널 평가부(910)는 채널 상태를 평가하여 그에 맞는 채널 행렬(Channel Matrix)을 얻을 수 있으며, $n \times n$ MIMO용 코드북(930)에 포함된 프리코딩 행렬들 중에서, 채널 상태에 따라 얻어진 채널 행렬과 가장 근접한 프리코딩 행렬을 검색하여 그에 대응되는 프리코딩 행렬 지시자를 선택할 수 있다. 이때, 이용되는 $n \times n$ MIMO용 코드북(930)은, 전송장치(200)가 이용하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)과 동일한 것이다. 따라서, 수신장치(900)가 이용하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(930)은, 이상에서 전송한 전송장치(200)가 이용하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(230)과 동일한 특성을 갖는다.
- [91] 이러한 수신장치(900)가 제공하는 정보 수신방법을 간략하게 설명하면 다음과 같다. 수신장치(900)가 제공하는 정보 수신방법은, 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(930)에서 채널상태정보(예: 채널 행렬 등)에 근거해 선택된 프리코딩 행렬 지시자를 전송하는 단계와, 이렇게 전송된 프리코딩 행렬 지시자에 근거하여 프리코딩된 신호를 수신하는 단계 등을 포함한다.
- [92] 전송한 바와 같이, 실시예에 따른 수신장치(900)는 정보 수신을 위해, $n \times n$ MIMO용 코드북(930)에 대한 데이터를 기록한 기록매체를 포함하거나 이용할 수 있다. 이러한 기록매체에 기록된 $n \times n$ MIMO용 코드북(930)에 대한 데이터는 컴퓨터(여기서, 컴퓨터는 수신장치(900)일 수 있음)에 의해 읽혀질 수 있다.
- [93] 이에, 실시예는, 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들이 조합되고 채널상태정보에 근거해 검색되는 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북(930)에 대한 데이터가 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공할 수 있다.
- [94] 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.

[95] **CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATION**

- [96] 본 특허출원은 2010년 4월 6일 한국에 출원한 특허출원번호 제 10-2010-0031304 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] 코드워드를 하나 이상의 레이어에 매핑하는 레이어 매퍼; 및
 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북에 포함된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들 중에서 입력된 프리코딩 행렬 지시자에 대응되는 $n \times n$ 프리코딩 행렬을 이용하여 상기 레이어 매퍼에 의해 매핑된 심볼들을 프리코딩하는 프리코더를 포함하는 무선통신시스템에서의 전송장치.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
 상기 4×4 MIMO용 코드북은,
 LTE 표준에 정의된 4×4 MIMO용 코드북으로서, 4×4 프리코딩 행렬들이 포함된 랭크 4 코드북, 4×3 프리코딩 행렬들이 포함된 랭크 3 코드북, 4×2 프리코딩 행렬들이 포함된 랭크 2 코드북 및 4×1 프리코딩 행렬들이 포함된 랭크 1 코드북을 포함하는 것을 특징으로 하는 무선통신시스템에서의 전송장치.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
 상기 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들은,
 유니타리 행렬(Unitary Matrix)인 것을 특징으로 하는
 무선통신시스템에서의 전송장치.
- [청구항 4] 제1항에 있어서,
 상기 $n \times n$ MIMO용 코드북에 포함된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들은,
 유니타리 행렬(Unitary Matrix)인 것을 특징으로 하는
 무선통신시스템에서의 전송장치.
- [청구항 5] 제1항에 있어서,
 상기 n 은,
 8 이상의 4의 배수인 것을 특징으로 하는 무선통신시스템에서의 전송장치.
- [청구항 6] 제1항에 있어서,
 상기 $n \times n$ MIMO용 코드북은,
 상기 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들 각각에 $(n/4)^2$ 개의 상수 각각을 곱함으로써 상기 4×4 프리코딩 행렬들이 조합된 프리코딩 행렬들을 포함하는 것을 특징으로 하는
 무선통신시스템에서의 전송장치.
- [청구항 7] 제6항에 있어서,
 상기 n 이 8인 경우, 상기 $n \times n$ MIMO용 코드북에 포함된 프리코딩 행렬들은,
 R_1, R_2, R_3 및 R_4 를 포함하는 4개의 4×4 프리코딩 행렬들 각각에 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 및 α_4 를 곱하여 생성된 것을 특징으로 하는 무선통신시스템에서의 전송장치.

α_2, α_3 및 α_4 을 포함하는 4개의 상수 각각이 곱해져서,

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 R_1 & \alpha_3 R_3 \\ \alpha_2 R_2 & \alpha_4 R_4 \end{bmatrix}$$

의 형식을 갖고,
상기 4개의 상수는,

$$\frac{\alpha_3^* \alpha_4}{\alpha_1 \alpha_2} = \pm 1, \quad \alpha_3^* : \alpha_3 \text{의 켤레 (conjugate)}$$

의 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는 무선통신시스템에서의 전송장치.

[청구항 8]

제1항에 있어서,

상기 $n \times n$ MIMO용 코드북에 포함된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들 각각은, 각각의 에르미트(Hermitian) 행렬과의 행렬 곱이 단위행렬이 되고, 역행렬이 존재하는 것을 특징으로 하는 무선통신시스템에서의 전송장치.

[청구항 9]

제1항에 있어서,

상기 $n \times n$ MIMO용 코드북은,

상기 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들에 의해 조합 가능한 $n \times n$ 프리코딩 행렬들 중에서 중복된 조합이 제거된 프리코딩 행렬들을 포함하는 것을 특징으로 하는 무선통신시스템에서의 전송장치.

[청구항 10]

제9항에 있어서,

상기 $n \times n$ MIMO용 코드북은,

상기 4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들에 의해 조합 가능하고 중복된 조합이 제거된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들 중에서, 안테나 매핑 관계에 있는 조합이 제거된 프리코딩 행렬들을 포함하는 것을 특징으로 하는 무선통신시스템에서의 전송장치.

[청구항 11]

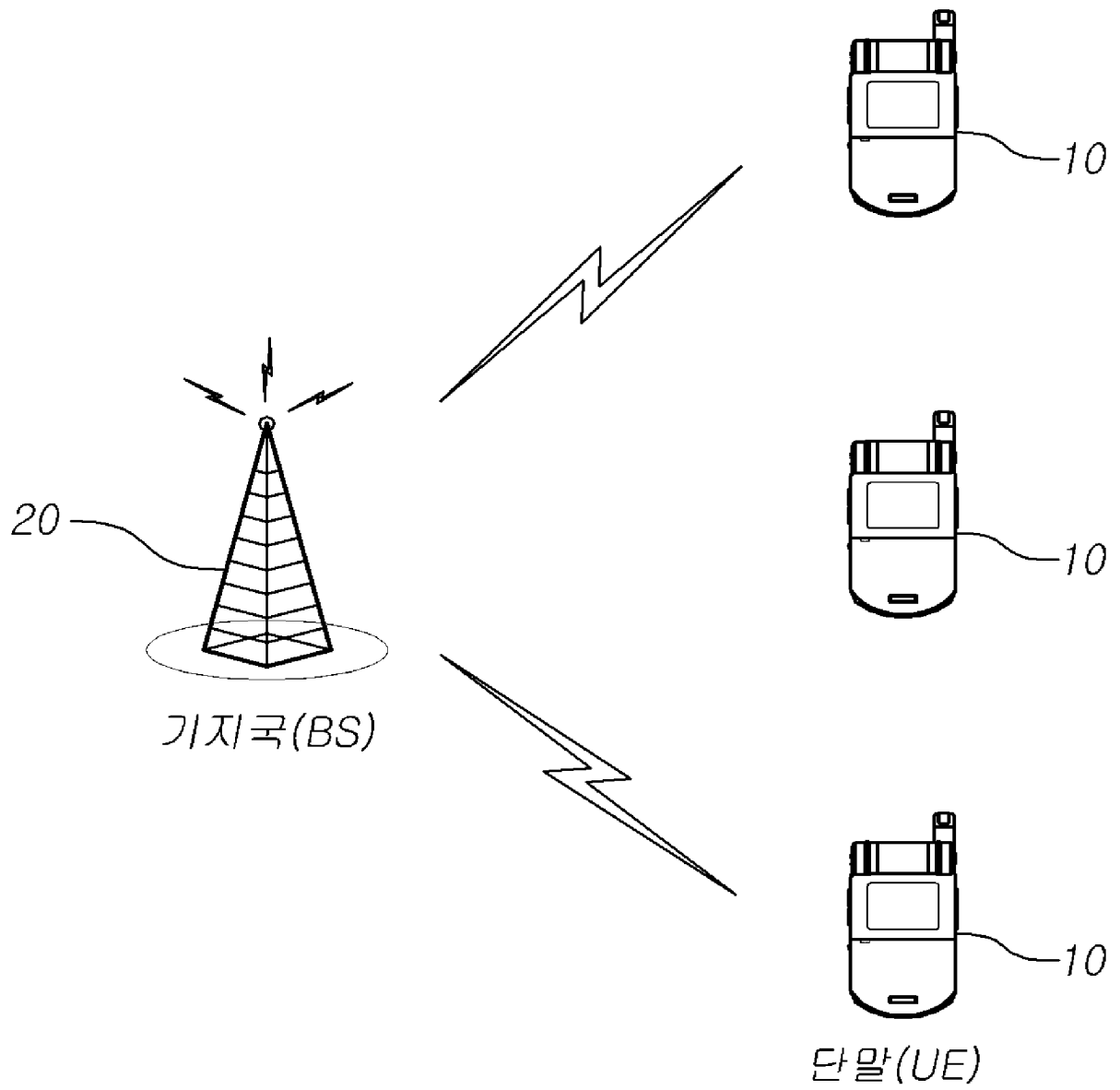
전송할 코드워드를 하나 이상의 레이어에 매핑하는 단계; 및

4×4 MIMO용 코드북에 포함된 4×4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n \times n$ MIMO용 코드북에 포함된 $n \times n$ 프리코딩 행렬들 중에서 입력된 프리코딩 행렬 지시자에 대응되는 $n \times n$ 프리코딩 행렬을 이용하여 상기 레이어 매퍼에 의해 매핑된 심볼들을 프리코딩하는 단계

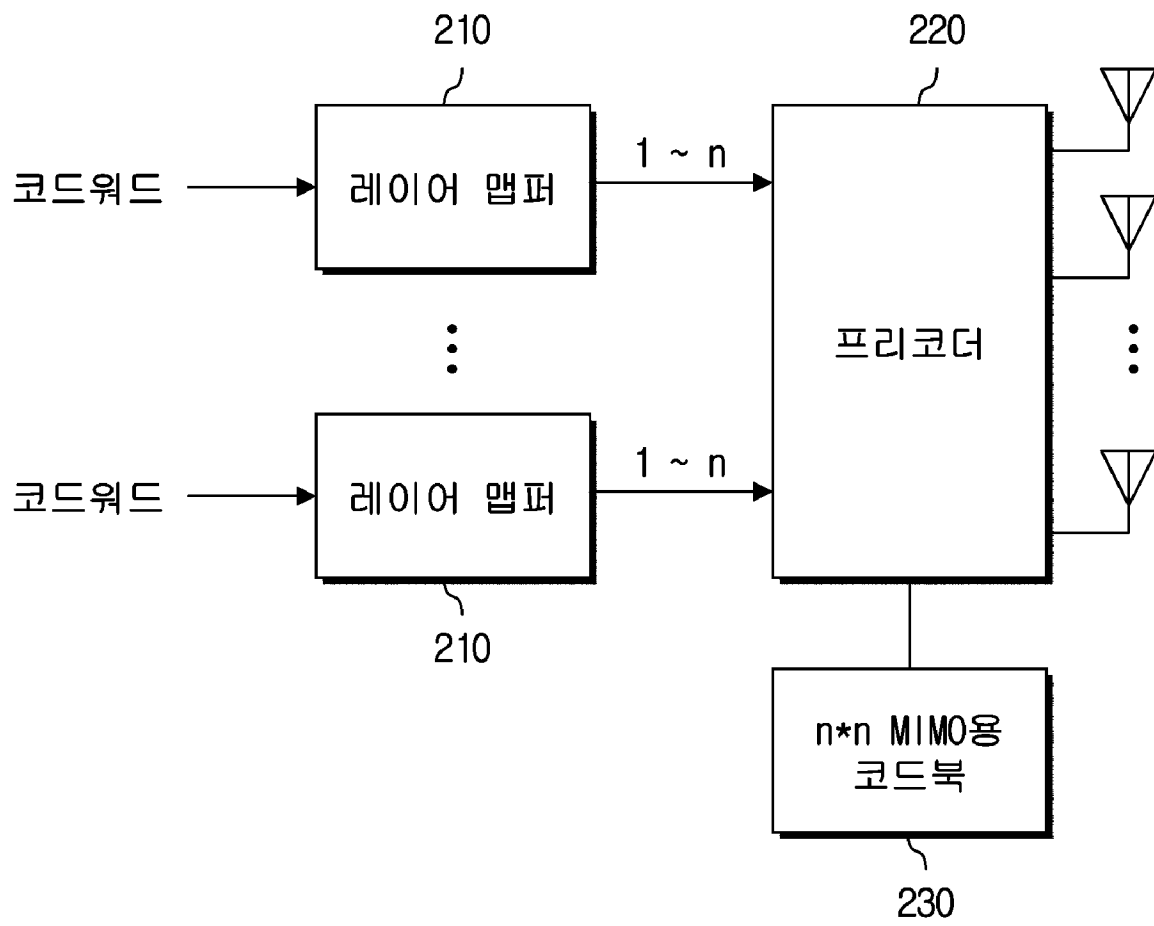
를 포함하는 무선통신시스템에서의 정보 전송방법.

- [청구항 12] 4*4 MIMO용 코드북에 포함된 4*4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n*n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n*n$ MIMO용 코드북에서 채널 상태에 따라 선택된 프리코딩 행렬 지시자를 전송하는 채널 평가부; 및
상기 전송된 프리코딩 행렬 지시자에 근거하여 프리코딩된 신호를 수신하는 신호 수신부를 포함하는 무선통신시스템에서의 수신장치.
- [청구항 13] 4*4 MIMO용 코드북에 포함된 4*4 프리코딩 행렬들이 조합된 $n*n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n*n$ MIMO용 코드북에서 채널상태정보에 근거해 선택된 프리코딩 행렬 지시자를 전송하는 단계; 및
상기 전송된 프리코딩 행렬 지시자에 근거하여 프리코딩된 신호를 수신하는 단계
를 포함하는 무선통신시스템에서의 정보 수신방법.
- [청구항 14] 4*4 MIMO용 코드북에 포함된 4*4 프리코딩 행렬들이 조합되고 프리코딩 행렬 지시자에 대응되어 검색되는 $n*n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n*n$ MIMO용 코드북의 데이터가 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.
- [청구항 15] 4*4 MIMO용 코드북에 포함된 4*4 프리코딩 행렬들이 조합되고 채널상태정보에 근거해 검색되는 $n*n$ 프리코딩 행렬들을 포함하는 $n*n$ MIMO용 코드북의 데이터가 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

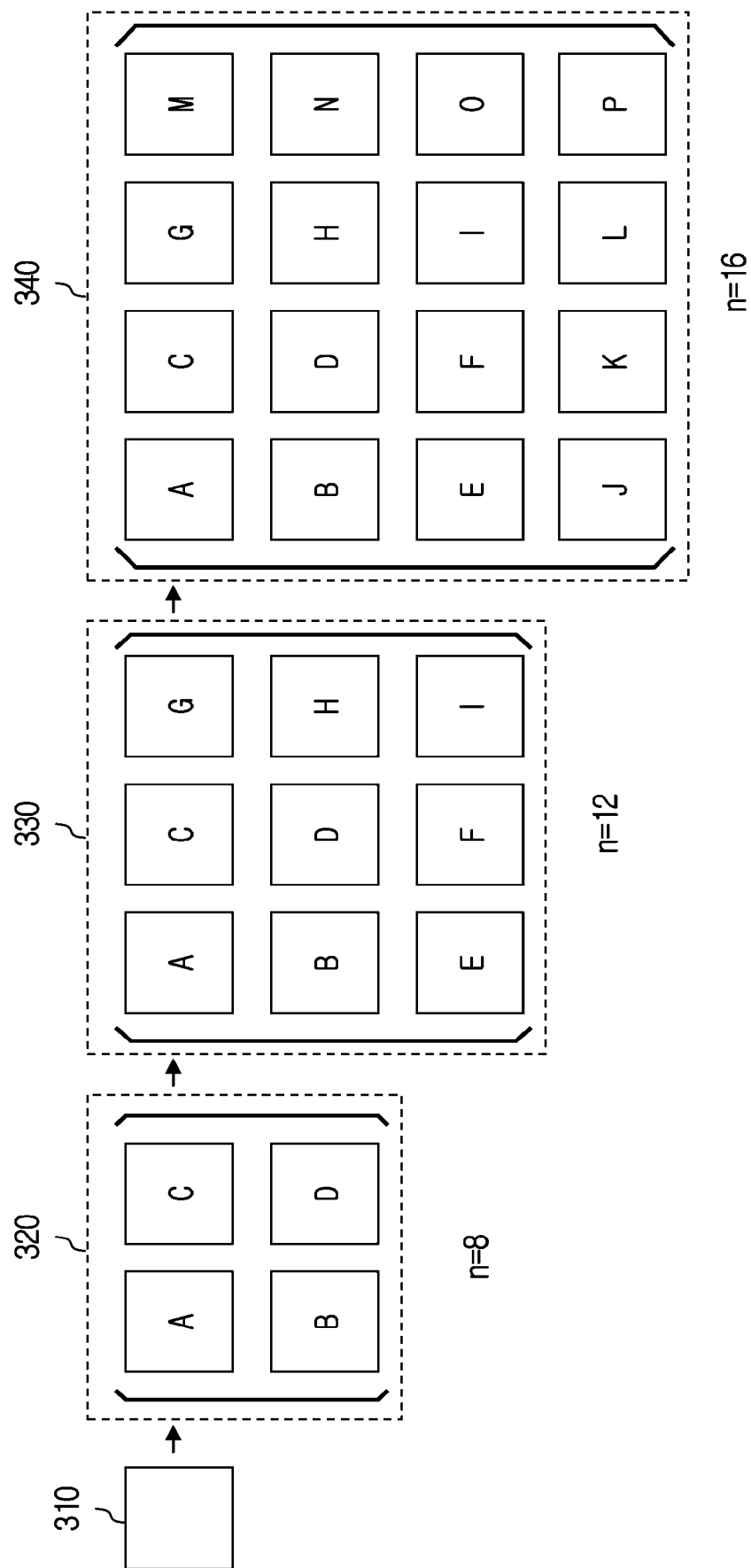
[Fig. 1]



[Fig. 2]

200

[Fig. 3]



[Fig. 4]

	Possible set of R_n
$C = 1$	$\begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_2 & R_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 & R_4 \\ R_2 & R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_4 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_2 & R_3 \\ R_1 & R_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_2 & R_4 \\ R_1 & R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_2 & R_4 \\ R_3 & R_1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_3 & R_1 \\ R_2 & R_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_3 & R_1 \\ R_4 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_3 & R_2 \\ R_4 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_4 & R_2 \\ R_1 & R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_4 & R_1 \\ R_3 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_4 & R_2 \\ R_3 & R_1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_5 & R_7 \\ R_6 & R_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_5 & R_8 \\ R_6 & R_7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_6 & R_7 \\ R_5 & R_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_6 & R_8 \\ R_5 & R_7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_7 & R_5 \\ R_8 & R_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_7 & R_6 \\ R_8 & R_5 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_8 & R_5 \\ R_7 & R_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_8 & R_6 \\ R_7 & R_5 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_9 & R_{11} \\ R_{10} & R_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_9 & R_{12} \\ R_{10} & R_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{10} & R_{11} \\ R_9 & R_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{10} & R_{12} \\ R_9 & R_{11} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_{11} & R_9 \\ R_{12} & R_{10} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & R_{10} \\ R_{12} & R_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{12} & R_9 \\ R_{11} & R_{10} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{12} & R_{10} \\ R_{11} & R_9 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_{14} & R_{13} \\ R_{16} & R_{14} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{16} & R_{14} \\ R_{14} & R_{13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{13} & R_{14} \\ R_{14} & R_{16} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{14} & R_{16} \\ R_{13} & R_{14} \end{bmatrix}$
$C = -1$	$\begin{bmatrix} R_1 & R_2 \\ R_2 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_2 & R_1 \\ R_1 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_3 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_3 & R_1 \\ R_1 & R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 & R_9 \\ R_9 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_9 & R_1 \\ R_1 & R_9 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_1 & R_{11} \\ R_{11} & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & R_1 \\ R_1 & R_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_2 & R_4 \\ R_4 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_4 & R_2 \\ R_2 & R_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_2 & R_{10} \\ R_{10} & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{10} & R_2 \\ R_2 & R_{10} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_3 & R_4 \\ R_4 & R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_4 & R_3 \\ R_3 & R_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_5 & R_6 \\ R_6 & R_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_6 & R_5 \\ R_5 & R_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_7 & R_8 \\ R_8 & R_7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_8 & R_7 \\ R_7 & R_8 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_9 & R_{10} \\ R_{10} & R_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{10} & R_9 \\ R_9 & R_{10} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{12} & R_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{12} & R_{11} \\ R_{11} & R_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{13} & R_{15} \\ R_{15} & R_{13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{15} & R_{13} \\ R_{13} & R_{15} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_{16} & R_{13} \\ R_{13} & R_{16} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{13} & R_{16} \\ R_{16} & R_{13} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_1 & R_{13} \\ R_3 & R_{15} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 & R_{15} \\ R_3 & R_{13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_3 & R_{13} \\ R_1 & R_{15} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_3 & R_{15} \\ R_1 & R_{13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{13} & R_1 \\ R_{15} & R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{13} & R_3 \\ R_{15} & R_1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_{15} & R_1 \\ R_{13} & R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{15} & R_3 \\ R_{13} & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_n & R_n \\ R_n & R_n \end{bmatrix} \text{ for } n = 1 \sim 16$

[Fig. 5]

	Possible set of R_n
$C = I$	$\begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_2 & R_4 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_4 \\ R_2 & R_3 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_4 & R_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_2 & R_3 \\ R_1 & R_4 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_2 & R_4 \\ R_1 & R_3 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_2 & R_4 \\ R_3 & R_1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_5 & R_7 \\ R_6 & R_8 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_5 & R_8 \\ R_6 & R_7 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_6 & R_7 \\ R_5 & R_8 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_6 & R_8 \\ R_5 & R_7 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_9 & R_{11} \\ R_{10} & R_{12} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_9 & R_{12} \\ R_{10} & R_{11} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_{10} & R_{11} \\ R_9 & R_{12} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_{10} & R_{12} \\ R_9 & R_{11} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_{14} & R_{13} \\ R_{16} & R_{14} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_{16} & R_{14} \\ R_{14} & R_{13} \end{bmatrix}$
	Possible set of R_n
$C = -I$	$\begin{bmatrix} R_1 & R_2 \\ R_2 & R_1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_3 & R_1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_9 \\ R_9 & R_1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_{11} \\ R_{11} & R_1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_2 & R_4 \\ R_4 & R_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_2 & R_{10} \\ R_{10} & R_2 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_3 & R_4 \\ R_4 & R_3 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_5 & R_6 \\ R_6 & R_5 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_7 & R_8 \\ R_8 & R_7 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_9 & R_{10} \\ R_{10} & R_9 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{12} & R_{11} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_{13} & R_{15} \\ R_{15} & R_{13} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_{16} & R_{13} \\ R_{13} & R_{16} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_1 & R_{13} \\ R_3 & R_{15} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_{15} \\ R_3 & R_{13} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_3 & R_{13} \\ R_1 & R_{15} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_3 & R_{15} \\ R_1 & R_{13} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_n & R_n \\ R_n & R_n \end{bmatrix} \quad for \quad n = 1 \sim 16$

[Fig. 6]

	Possible set of R_n
$C = 1$	$\begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_2 & R_4 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_4 \\ R_2 & R_3 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_4 & R_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_2 & R_4 \\ R_3 & R_1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_5 & R_7 \\ R_6 & R_8 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_5 & R_8 \\ R_6 & R_7 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_9 & R_{11} \\ R_{10} & R_{12} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_9 & R_{12} \\ R_{10} & R_{11} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_{14} & R_{13} \\ R_{16} & R_{14} \end{bmatrix}$
	Possible set of R_n
$C = -1$	$\begin{bmatrix} R_1 & R_2 \\ R_2 & R_1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_3 \\ R_3 & R_1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_9 \\ R_9 & R_1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_{11} \\ R_{11} & R_1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_2 & R_4 \\ R_4 & R_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_2 & R_{10} \\ R_{10} & R_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_3 & R_4 \\ R_4 & R_3 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_5 & R_6 \\ R_6 & R_5 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_7 & R_8 \\ R_8 & R_7 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_9 & R_{10} \\ R_{10} & R_9 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{12} & R_{11} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_{13} & R_{15} \\ R_{15} & R_{13} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_{16} & R_{13} \\ R_{13} & R_{16} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_1 & R_{13} \\ R_3 & R_{15} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R_1 & R_{15} \\ R_3 & R_{13} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} R_n & R_n \\ R_n & R_n \end{bmatrix} \quad for \quad n = 1 \sim 16$

[Fig. 7]

PMI1	matrix
0	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_0^{(4)} & \alpha_2 W_2^{(4)} \\ \alpha_1 W_1^{(4)} & \alpha_3 W_3^{(4)} \end{bmatrix}$
1	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_4^{(4)} & \alpha_2 W_6^{(4)} \\ \alpha_1 W_5^{(4)} & \alpha_3 W_7^{(4)} \end{bmatrix}$
2	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_0^{(4)} & \alpha_2 W_3^{(4)} \\ \alpha_1 W_1^{(4)} & \alpha_3 W_2^{(4)} \end{bmatrix}$
3	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_4^{(4)} & \alpha_2 W_7^{(4)} \\ \alpha_1 W_5^{(4)} & \alpha_3 W_6^{(4)} \end{bmatrix}$
4	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_0^{(4)} & \alpha_2 W_2^{(4)} \\ \alpha_1 W_3^{(4)} & \alpha_3 W_1^{(4)} \end{bmatrix}$
5	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_8^{(4)} & \alpha_2 W_{10}^{(4)} \\ \alpha_1 W_9^{(4)} & \alpha_3 W_{11}^{(4)} \end{bmatrix}$
6	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_1^{(4)} & \alpha_2 W_3^{(4)} \\ \alpha_1 W_2^{(4)} & \alpha_3 W_0^{(4)} \end{bmatrix}$
7	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_8^{(4)} & \alpha_2 W_{11}^{(4)} \\ \alpha_1 W_9^{(4)} & \alpha_3 W_{10}^{(4)} \end{bmatrix}$

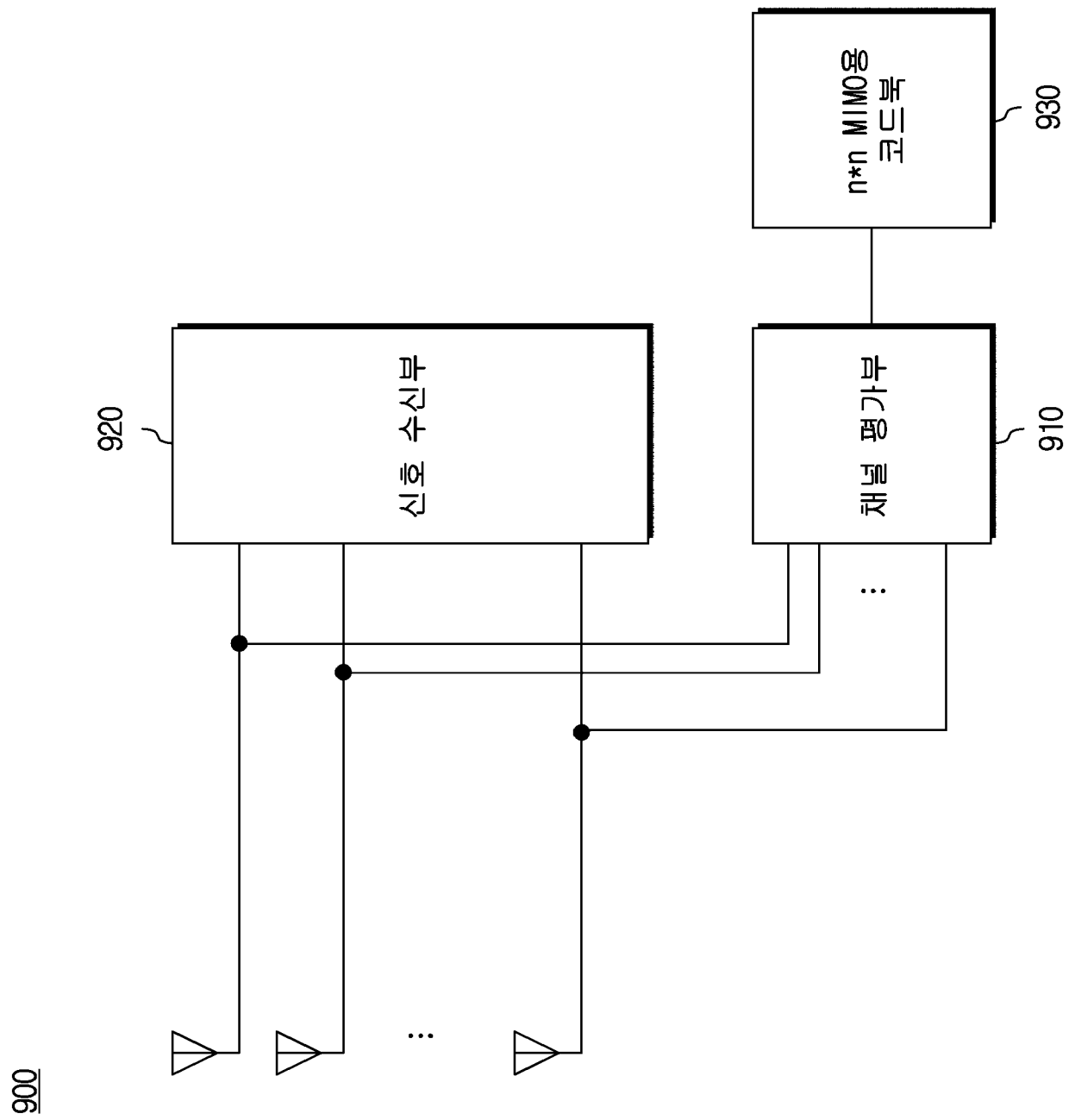
$$\begin{bmatrix} \alpha_0 & \alpha_2 \\ \alpha_1 & \alpha_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

[Fig. 8]

PMI2	matrix
0	$\begin{bmatrix} \alpha_0 & \alpha_2 \\ \alpha_1 & \alpha_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$
1	$\begin{bmatrix} \alpha_0 & \alpha_2 \\ \alpha_1 & \alpha_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$

PMI1	matrix
0	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_0^{(4)} & \alpha_2 W_2^{(4)} \\ \alpha_1 W_1^{(4)} & \alpha_3 W_3^{(4)} \end{bmatrix}$
1	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_4^{(4)} & \alpha_2 W_6^{(4)} \\ \alpha_1 W_5^{(4)} & \alpha_3 W_7^{(4)} \end{bmatrix}$
2	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_0^{(4)} & \alpha_2 W_3^{(4)} \\ \alpha_1 W_1^{(4)} & \alpha_3 W_2^{(4)} \end{bmatrix}$
3	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_4^{(4)} & \alpha_2 W_7^{(4)} \\ \alpha_1 W_5^{(4)} & \alpha_3 W_6^{(4)} \end{bmatrix}$
4	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_0^{(4)} & \alpha_2 W_2^{(4)} \\ \alpha_1 W_3^{(4)} & \alpha_3 W_1^{(4)} \end{bmatrix}$
5	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_8^{(4)} & \alpha_2 W_{10}^{(4)} \\ \alpha_1 W_9^{(4)} & \alpha_3 W_{11}^{(4)} \end{bmatrix}$
6	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_1^{(4)} & \alpha_2 W_3^{(4)} \\ \alpha_1 W_2^{(4)} & \alpha_3 W_0^{(4)} \end{bmatrix}$
7	$\begin{bmatrix} \alpha_0 W_8^{(4)} & \alpha_2 W_{11}^{(4)} \\ \alpha_1 W_9^{(4)} & \alpha_3 W_{10}^{(4)} \end{bmatrix}$

[Fig. 9]



[Fig. 10]

Codebook index	u_n	Number of layers ν			
		1	2	3	4
0	$u_0 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}^T$	$W_0^{\{1\}}$	$W_0^{\{14\}} / \sqrt{2}$	$W_0^{\{124\}} / \sqrt{3}$	$W_0^{\{1234\}} / 2$
1	$u_1 = \begin{bmatrix} 1 & -j & 1 & j \end{bmatrix}^T$	$W_1^{\{1\}}$	$W_1^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$W_1^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_1^{\{1234\}} / 2$
2	$u_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}^T$	$W_2^{\{1\}}$	$W_2^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$W_2^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_2^{\{3214\}} / 2$
3	$u_3 = \begin{bmatrix} 1 & j & 1 & -j \end{bmatrix}^T$	$W_3^{\{1\}}$	$W_3^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$W_3^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_3^{\{3214\}} / 2$
4	$u_4 = \begin{bmatrix} 1 & (-1-j)/\sqrt{2} & -j & (1-j)/\sqrt{2} \end{bmatrix}^T$	$W_4^{\{1\}}$	$W_4^{\{14\}} / \sqrt{2}$	$W_4^{\{124\}} / \sqrt{3}$	$W_4^{\{1234\}} / 2$
5	$u_5 = \begin{bmatrix} 1 & (1-j)/\sqrt{2} & j & (-1-j)/\sqrt{2} \end{bmatrix}^T$	$W_5^{\{1\}}$	$W_5^{\{14\}} / \sqrt{2}$	$W_5^{\{124\}} / \sqrt{3}$	$W_5^{\{1234\}} / 2$
6	$u_6 = \begin{bmatrix} 1 & (1+j)/\sqrt{2} & -j & (-1+j)/\sqrt{2} \end{bmatrix}^T$	$W_6^{\{1\}}$	$W_6^{\{13\}} / \sqrt{2}$	$W_6^{\{134\}} / \sqrt{3}$	$W_6^{\{1324\}} / 2$
7	$u_7 = \begin{bmatrix} 1 & (-1+j)/\sqrt{2} & j & (1+j)/\sqrt{2} \end{bmatrix}^T$	$W_7^{\{1\}}$	$W_7^{\{13\}} / \sqrt{2}$	$W_7^{\{134\}} / \sqrt{3}$	$W_7^{\{1324\}} / 2$
8	$u_8 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T$	$W_8^{\{1\}}$	$W_8^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$W_8^{\{124\}} / \sqrt{3}$	$W_8^{\{1234\}} / 2$
9	$u_9 = \begin{bmatrix} 1 & -j & -1 & -j \end{bmatrix}^T$	$W_9^{\{1\}}$	$W_9^{\{14\}} / \sqrt{2}$	$W_9^{\{134\}} / \sqrt{3}$	$W_9^{\{1234\}} / 2$
10	$u_{10} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}^T$	$W_{10}^{\{1\}}$	$W_{10}^{\{13\}} / \sqrt{2}$	$W_{10}^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_{10}^{\{1324\}} / 2$
11	$u_{11} = \begin{bmatrix} 1 & j & -1 & j \end{bmatrix}^T$	$W_{11}^{\{1\}}$	$W_{11}^{\{13\}} / \sqrt{2}$	$W_{11}^{\{134\}} / \sqrt{3}$	$W_{11}^{\{1324\}} / 2$
12	$u_{12} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}^T$	$W_{12}^{\{1\}}$	$W_{12}^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$W_{12}^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_{12}^{\{1234\}} / 2$
13	$u_{13} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}^T$	$W_{13}^{\{1\}}$	$W_{13}^{\{13\}} / \sqrt{2}$	$W_{13}^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_{13}^{\{1324\}} / 2$
14	$u_{14} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}^T$	$W_{14}^{\{1\}}$	$W_{14}^{\{13\}} / \sqrt{2}$	$W_{14}^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_{14}^{\{3214\}} / 2$
15	$u_{15} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T$	$W_{15}^{\{1\}}$	$W_{15}^{\{12\}} / \sqrt{2}$	$W_{15}^{\{123\}} / \sqrt{3}$	$W_{15}^{\{1234\}} / 2$