

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(10) 국제공개번호
WO 2010/077085 A2

(43) 국제공개일
2010년 7월 8일 (08.07.2010)

PCT

- (51) 국제특허분류:
H04B 7/04 (2006.01) *H04B 7/26* (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2009/007947
- (22) 국제출원일: 2009년 12월 30일 (30.12.2009)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2008-0137636 2008년 12월 31일 (31.12.2008) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 포스데이타 주식회사 (POSDATA CO., LTD.) [KR/KR]; 경기도 성남시 분당구 서현동 276-2, 463-775 Gyeonggi-do (KR). 재단법인 서울대학교산학협력재단 (SNU R & DB FOUNDATION) [KR/KR]; 서울시 관악구 신림동 산 56-1, 151-742 Seoul (KR).
- (72) 발명자: 곽
- (75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): 이정우 (LEE, Jung-Woo) [KR/KR]; 서울시 관악구 봉천 7동 산 4-2 교수아파트 122A 동 302호, 151-818 Seoul (KR). 이건균 (LI, Jian-Jun) [CN/KR]; 경기도 성남시 분당구 서현

동 255-1 풍림아이원플러스 T-802, 463-862 Gyeonggi-do (KR).

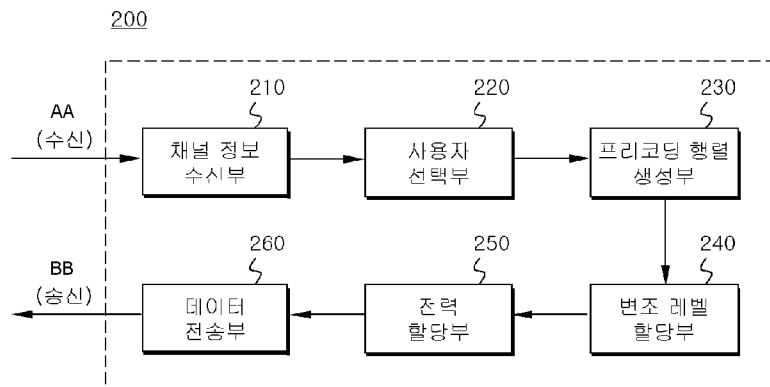
- (74) 대리인: 주봉진 (JU, Bong-Jin); 서울시 강남구 역삼동 601-18 은성빌딩 5층, 135-080 Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF,

[다음 쪽 계속]

(54) Title: USER SELECTION APPARATUS AND METHOD IN MULTIUSER MIMO SYSTEM

(54) 발명의 명칭: 다중사용자 MIMO 시스템에서 사용자 선택 장치 및 방법

[Fig. 2]



AA ... Receiving
BB ... Transmission
210 ... Channel information receiver
220 ... User selector

230 ... Precoding matrix generator
240 ... Modulation level allocator
250 ... Power allocator
260 ... Data transmitter

(57) Abstract: The present invention relates to a user selection apparatus and method in multiuser MIMO system. In the user selection apparatus and method in multiuser MIMO system according to the present invention, channel information is received from a multiplicity of user terminals, and a user terminal for MIMO is selected using the received channel information, or on the basis of the BER (Bit Error Rate) or fast BER.

(57) 요약서: 본 발명은 다중사용자 MIMO 시스템에서 사용자 선택 장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 다중사용자 MIMO 시스템에서 사용자 선택 장치 및 방법은, 복수개의 사용자 단말로부터 채널 정보를 수신하고, 상기 수신된 채널 정보를 이용하여 BER(Bit Error Rate) 또는 패스트(fast) BER에 기반하여 MIMO를 위한 사용자 단말을 선택한다.

WO 2010/077085 A2



BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, **공개:**
SN, TD, TG).

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

명세서

다중사용자 M I M O 시스템에서 사용자 선택 장치 및 방법 기술분야

- [1] 본 발명은 다중사용자(Multiuser) MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템에서 사용자 선택 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식을 지원하는 다중사용자 MIMO 시스템에서 BER(Bit Error Rate)에 기반하여 사용자를 선택하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 최근 무선통신의 전송용량을 높이기 위하여 송신단과 수신단이 다수의 안테나를 사용하는 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템이 큰 각광을 받으며 연구되고 있다.
- [3] 이러한 MIMO 시스템은 크게 개루프(open loop) MIMO와 폐루프(closed loop) MIMO로 구분될 수 있는데, 개루프 MIMO는 송신단이 채널 상황을 모르는 상태로 통신하는 방식이고, 폐루프 MIMO는 송신단이 수신단으로부터 피드백된 채널 정보를 참조하여 통신하는 방식이다. 개루프 MIMO의 경우 이론적 전송용량에 이르기 위해서는 시간영역과 공간영역에서 동시에 적용된 복잡한 코딩 기법을 이용해야 하고 이는 또한 안테나의 수가 증가할수록 검출의 복잡도가 크게 증가하는 단점이 있다. 이에 따라, 실제 시스템에서는 각 송신 안테나별로 채널 상태에 따라 독립적인 변조 및 코딩 기법을 적용함으로써 개루프 방식의 이론적 용량에 근접하는 폐루프 MIMO가 선호된다.
- [4] 한편, 다중사용자 MIMO 시스템의 경우 MIMO를 적용할 사용자 단말들의 선택이 시스템 성능의 중요한 요소가 되는데, 종래 기술에서는 채널 용량을 기준으로 하여 이를 최대화하는 사용자 단말들의 집합을 찾는 방식을 사용해 왔다. 이 경우, 가장 정확한 방법은 조합가능한 모든 사용자 단말들의 집합을 고려해서 채널 용량의 합을 측정하는 방법인데, 이는 전체 사용자 단말의 수가 많으면 계산 복잡도가 매우 커지기 때문에 실제 시스템에는 사용하기가 어려운 문제점이 있다.
- [5] 따라서 낮은 복잡도를 갖는 사용자 선택 기법들이 많이 개발되었는데, 이 방법들은 주로 그리디(greedy) 방법을 기반으로 한 것으로서, 처음에 가장 큰 채널 용량을 가지는 사용자 단말을 선택하고 선택되지 않은 나머지 사용자 단말 중에 먼저 선택된 사용자 단말과 가장 좋은 성능을 보이는 사용자 단말을 선택해 나가는 방식을 사용한다.
- [6] 그러나, 종래 기술에서 주로 사용한 채널 용량에 기반한 사용자 선택 기법은 이상적인 환경(상황)을 가정하여 계산된 것으로 만드실 실제 시스템과 일치하는 것이 아니다. 다시 말해, 종래 기술에서 사용자 선택의 기준이 되는 채널 용량은

이상적인 환경에서 획득할 수 있는 데이터 전송량을 의미하기 때문에, 실제 시스템에서는 채널 용량이 큰 것이 반드시 좋은 성능을 나타내는 것은 아니었다. 따라서 실제 시스템에 적용될 수 있는 보다 나은 성능을 가지는 사용자 선택 기법이 요구된다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [7] 본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여 창안된 것으로, 본 발명의 목적은 다중사용자 MIMO 시스템에서 BER(Bit Error Rate)을 이용하여 사용자를 선택하는 장치 및 방법을 제공하는 것이다.
- [8] 본 발명의 다른 목적은 다중사용자 MIMO 시스템에서 패스트 BER(Fast BER)을 이용하여 사용자를 선택하는 장치 및 방법을 제공하는 것이다.
- [9] 본 발명의 또 다른 목적은 다중사용자 MIMO 시스템에서 BER 또는 패스트 BER에 기초하여 효과적으로 전력을 할당하는 장치 및 방법을 제공하는 것이다.

기술적 해결방법

- [10] 상기 목적을 위하여, 본 발명의 일 형태에 따른 다중사용자 MIMO 시스템에서 사용자 선택 장치는, 복수개의 사용자 단말로부터 채널 정보를 수신하는 채널 정보 수신부; 및 상기 수신된 채널 정보를 이용하여 BER(Bit Error Rate)에 기반한 MIMO 사용자 단말을 선택하는 사용자 선택부를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [11] 그리고, 본 발명의 일 형태에 따른 다중사용자 MIMO 시스템에서 사용자 선택 방법은, a) 복수개의 사용자 단말로부터 채널 정보를 수신하는 단계; b) 상기 수신된 채널 정보를 이용하여 각 사용자 단말에 대한 프리코딩 행렬을 구하는 단계; c) 상기 각 사용자 단말에 대하여, 상기 구해진 프리코딩 행렬의 특이값(singular value) 중 최소값을 산출하는 단계; 및 d) 상기 각 사용자 단말에 대하여 산출된 최소값들 중 가장 큰 최소값을 갖는 사용자 단말을 선택하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [12] 또한, 본 발명의 일 형태에 따른 다중사용자 MIMO 시스템에서 사용자 선택 방법은, a) 복수개의 사용자 단말로부터 채널 정보를 수신하는 단계; b) 상기 수신된 채널 정보를 이용하여, 이미 선택된 사용자 단말과 예비적으로 선택된 사용자 단말들의 채널 행렬 집합을 구하는 단계; c) 상기 구해진 채널 행렬 집합의 특이값(singular value) 중 최소값을 산출하는 단계; 및 d) 상기 산출된 최소값들 중 가장 큰 최소값을 갖는 채널 행렬 집합에 해당하는 예비적으로 선택된 사용자 단말을 선택하는 단계를 포함하는 것을 특징을 한다.

유리한 효과

- [13] 본 발명에 따르면, 다중사용자 MIMO 시스템에서 BER 또는 패스트 BER에 기반하여 사용자를 선택함으로써 채널 용량을 이용하는 경우보다 시스템 성능을 높일 수 있는 효과를 가진다.
- [14] 그리고, 본 발명에 따르면, 다중사용자 MIMO 시스템에서 BER 또는 패스트

BER에 기초하여 전력을 할당함으로써 시스템 성능을 향상시킬 수 있는 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

- [15] 도 1은 본 발명이 적용될 수 있는 다중사용자 MIMO 시스템 모델을 예시한 도면이다.
- [16] 도 2는 본 발명에 따른 사용자 선택 장치의 구성도이다.
- [17] 도 3은 도 2의 사용자 선택부의 상세 구성도이다.
- [18] 도 4는 BER 기반 알고리즘을 나타낸 것이다.
- [19] 도 5는 페스트 BER 기반 알고리즘을 나타낸 것이다.
- [20] 도 6은 도 2의 프리코딩 행렬 생성부의 상세 구성도이다.
- [21] 도 7은 본 발명에 따른 사용자 선택 방법의 흐름도이다.
- [22] 도 8 내지 도 10은 안테나 개수의 변화에 따른 다양한 사용자 선택 기법의 BER을 비교한 그래프이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [23] 이하에서는 첨부 도면 및 바람직한 실시예를 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다. 참고로, 하기 설명에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다.
- [24] 먼저, 도 1은 본 발명이 적용될 수 있는 다중사용자 MIMO 시스템의 모델을 예시한 것이다. 참고로, 본 시스템 모델에서 채널은 다운링크(Downlink) 채널이며, 이는 TDD(Time Division Duplex) 및 FDD(Frequency Division Duplex)에 모두 적용될 수 있다.
- [25] 도 1을 참조하면, 본 시스템 모델에서는 M(M은 2 이상의 정수)개의 안테나를 구비한 기지국(송신단)과 각각 N_i (N_i 는 2 이상의 정수; $i=1,2,3,\dots,K_t$)개의 안테나를 구비한 사용자 단말(수신단)을 가정하며, 기지국은 총 K_t (K_t 는 2 이상의 정수)개의 사용자 단말들 중에서 K(K는 1 이상의 정수)개의 사용자 단말을 선택하여 통신한다.
- [26] 그리고, 상기 시스템 모델에서 송수신 신호의 관계는 하기 수학식 1과 같이 표현될 수 있다.
- [27] [수학식 1]
- [28]
$$y_i = \sqrt{P_i} H_i \sum_{j=1}^n V_j x_j + n_i$$
- [29]
- [30] 여기서, i 는 사용자 단말 인덱스이며,
 x_i
 는 i 번째 사용자 단말로의 송신 신호,
 y_i
 는 i 번째 사용자 단말의 수신 신호,

V_i

는 i번째 사용자 단말에 대한 프리코딩 행렬,

H_i

는 i번째 사용자 단말에 대한 채널 행렬,

P_i

는 i번째 사용자 단말에 할당된 전력,

n_i

는 i번째 사용자 단말에 대한 노이즈(noise)이다. 그리고,

H_i

와

n_i

는 각각 독립적이고 동일한 분포(i.i.d.; independently and identically distributed)를 가지며, 평균이 0이고 표준편차가 1인 정규분포 $N(0,1)$ 을 따른다고 가정한다.

[31] 이 경우, 송신단이 완전한 채널을 안다고 가정하면 하기 수학식 2가 성립한다.

[32] [수학식 2]

$$[33] \quad y_i = \sqrt{P_i} H_i V_i x_i + n_i$$

[34]

[35] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 사용자 선택 장치의 구성도이다.

[36] 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 사용자 선택 장치는 채널 정보 수신부(210), 사용자 선택부(220), 프리코딩 행렬 생성부(230), 변조 레벨 할당부(240), 전력 할당부(250), 데이터 전송부(260) 등을 포함한다.

[37] 채널 정보 수신부(210)는 복수(K_i)개의 사용자 단말로부터 각각 피드백된 채널 정보를 수신한다.

[38] 그러면, 사용자 선택부(220)는 각 사용자 단말로부터 피드백된 채널 정보를 이용하여 사용자 선택 기법에 의해 사용자 단말을 선택한다.

[39] 본 발명에서는 BER(Bit Error Rate)을 기반으로 하는 사용자 선택 기법으로 2가지 알고리즘을 제안한다. 도 4는 제1 알고리즘을 나타낸 것으로 이하 이를

'BER 기반 사용자 선택 기법(BER based multiuser MIMO User Selection

Algorithm)'이라 칭하며, 도 5는 제2 알고리즘을 나타낸 것으로 이하 이를 '패스트 BER 기반 사용자 선택 기법(Fast BER based User Selection Algorithm)'이라

칭한다. 참고로, 사용자 선택부(220)는 도 3에 도시된 바와 같이 BER 기반 사용자 선택 기법에 의해 사용자 단말을 선택하는 BER 기반 사용자 선택부(222)와 패스트 BER 기반 사용자 선택 기법에 의해 사용자 단말을 선택하는 패스트 BER 기반 사용자 선택부(224) 중 적어도 하나를 포함하도록 구현될 수 있다.

[40] 먼저, 도 4를 참조하여 BER 기반 사용자 선택 기법을 설명한다.

[41] 단계 1(Step 1)은 초기화 단계이다. 여기서, T는 선택 가능한 사용자 단말의 집합을 나타내고, S는 선택된 사용자 단말의 집합을 나타낸다. 그리고,

H_n

은 n번째 사용자 단말의 채널 행렬을 나타내고,

 $\lambda_{n,\min}^2$

는 채널 행렬

 H_n

의 특이값(singular value) 중 최소값이며, p는 T에 속하는 사용자 단말들에 해당하는

 $\lambda_{n,\min}^2$

중에서 최대값을 나타내는 변수이다.

 $d_{\min}(R, i)$

는 심볼 할당 함수(symbol allocation function)이며, 여기서 R은 총 전송 비트(total transmit bits) 수이고, i는 사용자 단말 인덱스이다. 그리고,

 $G_{CD}^{EG}(S, d_i)$

는 등최소거리함수(equal minimum distance function)이다.

- [42] 참고로, 초기화 단계에서 T는 모든 사용자 단말을 포함하게 되며, 즉 $T=\{1,2,\dots,K\}$, S는 아직 선택된 단말이 없으므로 공집합이 된다. 그리고, d_1 및 G_1 이 설정된다.

- [43] 단계 2(Step 2)는 사용자 단말을 선택하는 단계이다.

- [44] 초기화 단계에서 d_1 및 G_1 이 설정되어 있으므로, $i=2$ 부터 시작하여 K개의 사용자 단말이 선택될 때까지 루프(Loop)가 계속된다. 이 경우, 사용자 단말을 선택하는 기준은 각 사용자 단말에 대한 프리코딩 행렬

 V_j

을 구하여 행렬

 $\overline{H}_j$
 $=$
 $H_j V_j$

를 구한 후, 다시

 $\overline{H}_j$

의 특이값(singular value) 중 최소값을 구하고, T에 속하는 사용자 단말들 중

 $\lambda_{n,\min}^2$

이 가장 큰 사용자 단말을 선택한다. 그러면, 선택된 사용자 단말은 T에서 삭제되고, S에 속하게 된다.

- [45] 그리고, 이와 같은 과정을 반복하여 K개의 사용자 단말을 선택하면, 사용자 선택 과정이 완료되며, 단계 3(Sept 3)에서는 최종적으로 선택된 K개의 사용자 단말이 남게 된다.

- [46]

- [47] 이하, 도 5를 참조하여 페스트 BER 기반 사용자 선택 기법을 설명한다.
- [48] 단계 1(Step 1)은 초기화 단계이다. 여기서, T는 선택 가능한 사용자 단말의 집합을 나타내고, S는 선택된 사용자 단말의 집합을 나타낸다. 그리고, A는 임시 선택된 사용자 단말의 채널 행렬 집합이다.
- [49] 참고로, 초기화 단계에서 T는 모든 사용자 단말을 포함하게 되며, 즉 $T=\{1,2,\dots,K\}$, S와 A는 아직 선택된 단말이 없으므로 공집합이 된다.
- [50] 단계 2(Step 2)는 사용자 단말을 선택하는 단계이다.
- [51] 여기서,
- H_n
- 은 n번째 사용자 단말의 채널 행렬을 나타내고,
- $\lambda_{n,\min}^2$
- 는 임시 선택된 사용자 단말의 채널 행렬 집합
- A_n
- 의 특이값(singular value) 중 최소값이며, p는 T에 속하는 사용자 단말들에 해당하는
- $\lambda_{n,\min}^2$
- 중에서 최대값을 나타내는 변수이다.
- $d_{\min}(R,i)$
- 는 심볼 할당 함수(symbol allocation function)이며, 여기서 R은 총 전송 비트의 수이고, i는 사용자 단말 인덱스이다. 그리고,
- $G_{CD}^{EG}(S,d_i)$
- 는 등최소거리함수(equal minimum distance function)이다.
- [52] 제2 알고리즘은 제1 알고리즘과 달리, i=1 부터 시작하여 K개의 사용자 단말이 선택될 때까지 루프(Loop)가 계속된다. 이 경우, 사용자 단말을 선택하는 기준은 임시 선택된 사용자 단말(즉, 이미 선택된 사용자 단말들과 예비적으로 선택된 사용자 단말)의 채널 행렬 집합
- A_n
- (
- A_n
- 는 물론 행렬임)의 특이값(singular value) 중 최소값
- $\lambda_{n,\min}^2$
- 을 구하고, T에 속하는 사용자 단말들 중에서(즉, 예비적으로 선택된 단말들 중에서)
- $\lambda_{n,\min}^2$
- 이 가장 큰 사용자 단말을 선택한다. 그러면, 선택된 사용자 단말은 T에서 삭제되고, S에 속하게 된다.

[53] 그리고, 이와 같은 과정을 반복하여 K개의 사용자 단말을 선택하면, 사용자 선택 과정이 완료되며, 단계 3(Sept 3)에서는 최종적으로 선택된 K개의 사용자 단말이 남게 된다.

[54] 참고로, 제2 알고리즘인 패스트 BER 기반 사용자 선택 기법은 제1 알고리즘(BER 기반 사용자 선택 기법)과는 달리 프리코딩 행렬을 구하지 않기 때문에 계산량을 크게 줄일 수 있으며, 또한 제1 알고리즘과 거의 동일한 시스템 성능을 나타내기 때문에 매우 효과적이다(도 8 내지 도 10 참조).

[55]

[56] 한편, 사용자 선택부(220)에 의해 선택된 K개의 사용자 단말에 대한 채널 정보

$\tilde{\mathbf{H}}$

(K×M 행렬)는 하기 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다. 참고로, 하기 수학식 3에서

$\hat{\mathbf{H}}_i$

(i=1,2,...,K)는 i번째 사용자 단말의 채널 정보(1×M 행렬)이다.

[57] [수학식 3]

[58]
$$\tilde{\mathbf{H}} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{H}}_1 \\ \hat{\mathbf{H}}_2 \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{H}}_K \end{bmatrix}$$

[59]

[60] 프리코딩 행렬 생성부(230)는 사용자 선택부(220)에서 선택된 사용자 단말들에 대한 프리코딩 행렬을 생성한다. 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 프리코딩 행렬 생성부(230)는 도 6에 도시된 바와 같이 제1 프리코딩 행렬 생성부(232) 및 제2 프리코딩 행렬 생성부(234)를 포함한다.

[61] 제1 프리코딩 행렬 생성부(232)는 사용자간 간섭(inter-user interference)을 없애기 위한 제1 프리코딩 행렬

$\mathbf{T}$

(

$$M \times \sum_{i=1}^K N_{sel,i}$$

행렬)를 생성한다. 여기서, 제1 프리코딩 행렬

$\mathbf{T}$

는 블록 대각화(BD; Block Diagonalization) 프리코딩 기법을 이용하여 생성할 수 있으며,

$$\mathbf{T} = [\mathbf{T}_1 \ \mathbf{T}_2 \ \cdots \ \mathbf{T}_K]$$

으로 이루어져 있으며, 이때

T_i

는 i 번째 사용자 단말의 제1 프리코딩 행렬

 $M \times n_i$

행렬,

$$n_i = M - \sum_{j=1, j \neq k}^K N_j$$

)이다. 따라서 제1 프리코딩 행렬

 $\mathbf{T}$

는 수학적식 4를 만족한다.

[62] [수학적식 4]

[63] $\hat{H}_i T_j = 0 \quad (i \neq j)$

[64]

[65] 제2 프리코딩 행렬 생성부(234)는 각 사용자 단말을 고유모드(eigenmode)로 분리하기 위한 제2 프리코딩 행렬

 $\mathbf{R}_i$

($n_i \times M_i$ 행렬)를 생성한다. 여기서, 제2 프리코딩 행렬

 $\mathbf{R}_i$

는

 $\hat{\mathbf{H}}_i \mathbf{T}_i$

를 특이값 분해하여 얻을 수 있으며, 이를 상술하면 다음과 같다.

[66] 먼저, 하기 수학적식 5와 같이

 $\hat{\mathbf{H}}_i \mathbf{T}_i$

를 특이값 분해한다.

[67] [수학적식 5]

[68] $\hat{H}_i T_i = L_i \cdot \Sigma_i \cdot Y_i^H = L_i \cdot \Sigma_i \cdot [R_i \hat{R}_i]^H \text{ for } i = 1, \dots, K$

[69]

[70] 여기서,

 $\mathbf{L}_i$

는

 $\hat{\mathbf{H}}_i \mathbf{T}_i$

의 좌측 유니타리 행렬이며,

 Σ_i

는

 $\hat{\mathbf{H}}_i \mathbf{T}_i$

의 대각선 행렬이며,

$$\mathbf{Y}_i^H$$

는

$$\hat{\mathbf{H}}_i \mathbf{T}_i$$

의 우측 유니타리 행렬이다. 그리고,

$$\mathbf{R}_i$$

는

$$\mathbf{Y}_i^H$$

의 왼쪽의 첫번째부터 N_i 번째까지 열이며이며

$$\hat{\mathbf{R}}_i$$

는

$$\mathbf{Y}_i^H$$

의 나머지 열에 해당하는 행렬이다.

[71] 그러면, 최종적인 프리코딩 행렬은 수학식 6과 같다.

[72] [수학식 6]

$$[73] \quad \mathbf{V}_i = \mathbf{T}_i \mathbf{R}_i$$

[74]

[75] 이에 따라, 제1 프리코딩 행렬

$$\mathbf{T}_j$$

는 사용자간의 간섭을 제거시키는 행렬로서 전체 시스템을 K개의 독립적인 다중 안테나 시스템으로 분해시키고, 제2 프리코딩 행렬

$$\mathbf{R}_i$$

는 K개의 독립적인 다중 안테나 시스템을 고유모드(eigenmode)로, 즉 MIMO를 SISO(Single Input Single Output)로 분해시킨다.

[76]

[77] 참고로, 각 선택된 사용자 단말의 수신 신호는 하기 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

[78] [수학식 7]

$$[79] \quad \hat{y}_i = L_i^H y_i = \sqrt{P_i} S_i x_i + L_i^H n_i = \sqrt{P_i} S_i x_i + \hat{n}_i$$

$$\hat{y}_{k,i} = \sqrt{P_{k,i}} \lambda_{k,i} x_{k,i} + \hat{n}_{k,i} \quad \text{for } k = 1, \dots, N$$

[80]

[81] 여기서,

$$S_{k,j}$$

는 S_i 의 (k,k)성분이고,

$$\hat{y}_{k,i}$$

는 i번째 사용자 단말의 k번째 SISO 채널의 수신 신호이다.

[82] 그리고, 전력 P에 대하여는 하기 수학식 8과 같은 방정식이 만족된다.

[83] [수학식 8]

$$[84] \quad \sum_{k=1}^N P_{k,i} = P_i \quad \therefore \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N P_{k,i} = P$$

[85]

[86] 다시 도 2를 참조하면, 변조 레벨 할당부(240)는 선택된 사용자 단말에 대하여 변조 레벨(Modulation level)을 할당하고, 전력 할당부(250)는 선택된 사용자 단말에 대하여 전력(power)을 할당하는데, 이하에서는 이를 상술한다.

[87] 도 4 및 도 5를 참조하면, 등최소거리함수(equal minimum distance function)

$$G_{CD}^{EG}(S, d_i)$$

는 선택된 사용자 단말의 집합 S에서 다음과 같은 방식으로 전력(power)을 적절히 할당해 주고, 등최소거리레벨(equal minimum distance level) a 값을 리턴(return)한다.

[88] [수학식 9]

$$[89] \quad D_1^2 P_{1,1} \lambda_{1,1}^2 = \dots = D_1^2 P_{N,1} \lambda_{N,1}^2 = D_2^2 P_{1,2} \lambda_{1,2}^2 = \dots = D_2^2 P_{N,2} \lambda_{N,2}^2 = D_n^2 P_{1,n} \lambda_{1,n}^2 = \dots = D_n^2 P_{N,n} \lambda_{N,n}^2 = a$$

[90]

[91] 여기서 D_i 는 i번째 사용자 단말에 대한 변조 레벨(modulation level)의 최소 거리(minimum distance)로써 하기 표 1과 같은 값을 가진다.

[92] [표 1]

[93]

변조 레벨 [비트수]	BPSK [1]	QPSK [2]	16QAM [4]	64QAM [6]	256QAM [8]
최소 거리 (D_i)	2	$2/\sqrt{2}$	$2/\sqrt{10}$	$2/\sqrt{42}$	$2/\sqrt{170}$

[94]

[95] 그러면, 하기 수학식 10과 같이 전력이 할당된다.

[96] [수학식 10]

$$[97] \quad P_{k,i} = \frac{1}{D_i^2 \lambda_{k,i}^2} a \quad \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N P_{k,i} = a \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N \frac{1}{D_i^2 \lambda_{k,i}^2} = P$$

[98]

[99] 여기서, N개의 안테나를 가지는 각 사용자 단말이 N개의 스트림(stream)을 받는다고 가정하고, 사용자 단말의 안테나끼리는 같은 변조 레벨(modulation level)의 신호를 받는다고 가정한다.

[100] 그러면, 하기 수학식 11과 같이 전력이 할당된다.

[101] [수학식 11]

[102]

$$a = \frac{P}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N \frac{1}{D_i^2 \lambda_{k,i}^2}}$$

[103]

[104] 그리고, 최종적으로 사용자 단말 i의 k번째 채널에서 할당된 전력은 하기 수학식 12와 같다.

[105] [수학식 12]

[106]

$$\therefore P_{k,i} = \frac{P}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^N \frac{1}{D_i^2 \lambda_{k,i}^2}} \cdot \frac{1}{D_i^2 \lambda_{k,i}^2}$$

[107]

[108] 그리고, 예컨대 N=2일 경우 심볼 할당 함수(symbol allocation function)

$d_{\min}(R, i)$

는 하기 표 2와 같은 값을 가진다.

[109] [표 2]

[110]

$\begin{matrix} \text{Rate(BPCU)} \\ \backslash \\ i \end{matrix}$	1	2	3	4
8	4	(2,2)	(2,1,1)	(1,1,1,1)
12	6	(4,2)	(2,2,2)	(2,2,1,1)

[111]

[112] 표 2에 대해 상술하면, Rate 또는 BPCU(Bit Per Channel Use)가 8이고 i=1(선택된 사용자 단말이 1개)인 경우

$d_{\min}(R, i)$

는 4가 되며, 따라서 4비트씩 변조하는 변조 레벨인 16QAM(표 1 참조)을 하나의 선택된 사용자 단말에 대하여 할당한다. 그리고, Rate(BPCU)가 8이고 i=3인 경우

$d_{\min}(R, i)$

는 (2,1,1)이 되는데, 이는 3개의 선택된 사용자 단말에 대하여 하나의 단말에는 QPSK(2비트씩 변조)를 할당하고 나머지 2개의 단말에는 BPSK(1비트씩 변조)를 할당한다

[113] 그리고, 이와 같은 방식으로

$d_{\min}(R, i)$

을 구하면 각 사용자 단말에 할당할 전력이 결정된다.

[114] 마지막으로, 데이터 전송부(260)는 각 사용자 단말로 전송할 데이터에 대해 프리코딩, 변조, 전력 할당 등이 수행된 최종적인 신호(데이터)를 송신한다.

[115]

[116] 이하에서는 도 7을 참조하여 본 발명에 따른 사용자 선택 방법을 설명한다. 참고로, 본 발명에 따른 사용자 선택 방법에 대한 구체적 과정 또는 동작 원리는 전술한 사용자 선택 장치에 대한 설명을 참조할 수 있으므로 중복적인 설명은 생략하고 간단히 설명한다.

[117] 단계 S710에서, 기지국(송신단)은 복수(K_i)개의 사용자 단말(수신단)로부터 각각 피드백된 채널 정보를 수신한다. 참고로, 사용자 단말로부터 피드백된 채널 정보는 채널 벡터

$$\hat{\mathbf{H}}_i$$

가 된다.

[118] 단계 S720에서, 기지국은 각 사용자 단말로부터 피드백된 채널 정보를 이용하여 사용자 선택 기법에 의해 사용자 단말을 선택한다. 이 때, 사용자 선택 기법은 전술한 BER 기반 사용자 선택 기법 또는 페스트 BER 기반 사용자 선택 기법을 이용할 수 있다.

[119] 단계 S730에서, 기지국은 선택된 사용자 단말에 대한 프리코딩 행렬을 생성한다. 이 경우, 프리코딩 행렬은 사용자간 간섭(inter-user interference)을 제거하기 위한 제1 프리코딩 행렬

$$\mathbf{T}_j$$

및 각 사용자 단말을 고유모드(eigenmode)로 분리하기 위한 제2 프리코딩 행렬

$$\mathbf{R}_i$$

를 생성한다. 그리고, 상기 제1 프리코딩 행렬과 제2 프리코딩 행렬을 곱하여 최종 프리코딩 행렬

$$\mathbf{V}_i = \mathbf{T}_i \mathbf{R}_i$$

을 생성한다.

[120] 단계 S740에서, 기지국은 선택된 사용자 단말에 대한 변조 레벨을 할당한다. 이 경우, 각 사용자 단말에 할당할 변조 레벨은 전술한 바와 같이 선택된 사용자 단말의 수, Rate(BPCU), 심볼 할당 함수

$$d_{\min}(R, i)$$

등에 의해 구할 수 있다(표 1 및 표 2 참조).

[121] 단계 S750에서, 기지국은 선택된 사용자 단말에 대한 전력을 할당한다. 이 경우, 사용자 단말에 할당할 전력은 전술한 바와 같이 심볼 할당 함수

$$d_{\min}(R, i)$$

, 등최소거리함수

$$G_{CD}^{EG}(S, d_i)$$

, 등최소거리레벨 a 등에 의해 구할 수 있다(수학식 9 내지 12 참조).

[122] 마지막으로, 단계 S760에서, 기지국은 이와 같이 생성된 신호(데이터)를 각 사용자 단말로 송신한다

[123]

[124] 한편, 도 8 내지 도 10은 안테나 개수의 변화에 따른 다양한 사용자 선택 기법의 BER을 비교한 그래프이다.

[125] 구체적으로, 도 8은 $M=4$, $N=2$, $K_t=30$, $BPCU=8$ 일 때 BER 기반, 패스트 BER 기반, 채널 용량 기반, TDMA(즉, 단일 사용자 MIMO) 기반 사용자 선택 기법에 대한 SNR 대 BER을 나타낸 그래프이고, 도 9는 $M=8$, $N=2$, $K_t=30$, $BPCU=8$ 일 때 BER 기반, 패스트 BER 기반, 채널 용량 기반, TDMA 기반 사용자 선택 기법에 대한 SNR 대 BER을 나타낸 그래프이며, 도 10은 $M=4$, $N=1$, $K_t=30$, $BPCU=8$ 일 때 BER 기반, 패스트 BER 기반, 채널 용량 기반, TDMA 기반 사용자 선택 기법에 대한 SNR 대 BER을 나타낸 그래프이다(여기서, M 은 송신 안테나의 수, N 은 수신 안테나의 수, K_t 는 셀(cell) 내의 전체 사용자 단말의 수이다).

[126] 그래프에 나타난 바와 같이, 본 발명에 따른 BER 기반 사용자 선택 기법과 패스트 BER 기반 사용자 선택 기법이 기존의 채널 용량 기반 사용자 선택 기법이나 TDMA 기반 사용자 선택 기법보다 BER이 훨씬 좋은 것을 알 수 있다. 그리고, BER 기반 사용자 선택 기법과 BER 기반 사용자 선택 기법은 둘 다 비슷한 성능을 가지는 것을 알 수 있다.

[127]

[128] 지금까지 본 발명을 바람직한 실시예를 참조하여 상세히 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 당업자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적 특징들을 변경하지 않고서 다른 구체적인 다양한 형태로 실시할 수 있는 것이므로, 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해해야만 한다.

[129] 그리고, 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 특정되는 것이며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

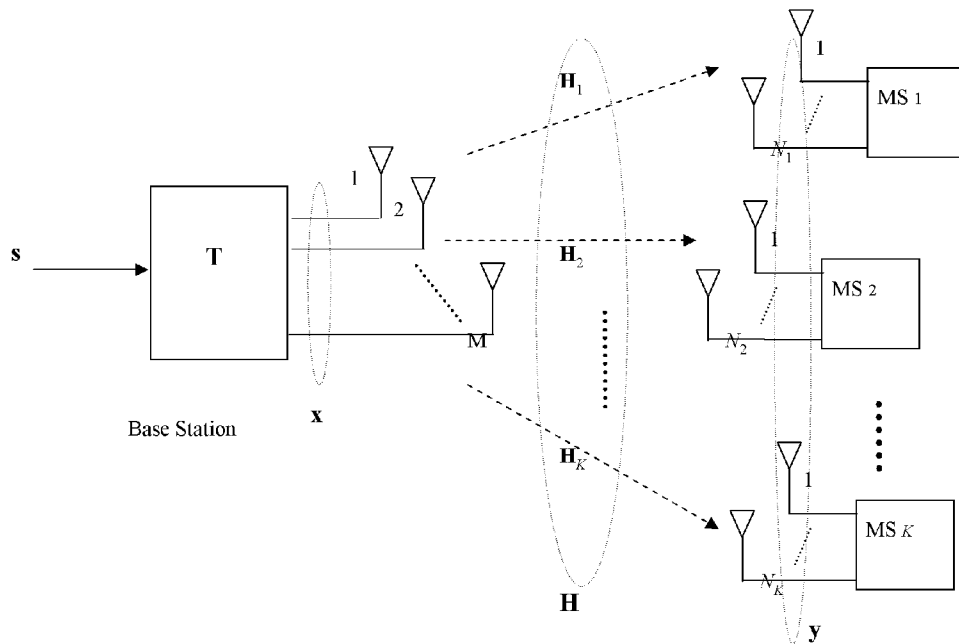
청구범위

- [1] 다중사용자 MIMO 시스템에서 사용자 선택 장치로서,
복수개의 사용자 단말로부터 채널 정보를 수신하는 채널 정보 수신부; 및
상기 수신된 채널 정보를 이용하여 BER(Bit Error Rate)에 기반한 MIMO
사용자 단말을 선택하는 사용자 선택부를 포함하는 사용자 선택 장치.
- [2] 제1항에 있어서, 상기 사용자 선택부는,
각 사용자 단말의 채널 행렬을 이용하여 프리코딩 행렬을 구한 후, 상기
프리코딩 행렬의 특이값(singular value) 중 최소값을 기준으로 사용자
단말을 선택하는 BER 기반 사용자 선택부를 포함하는 것을 특징으로 하는
사용자 선택 장치.
- [3] 제1항에 있어서, 상기 사용자 선택부는,
각 사용자 단말의 채널 행렬을 이용하여 임시 선택된 사용자 단말의 채널
행렬 집합을 구한 후, 상기 채널 행렬 집합의 특이값(singular value) 중
최소값을 기준으로 사용자 단말을 선택하는 패스트(fast) BER 기반 사용자
선택부를 포함하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 장치.
- [4] 제1항에 있어서,
상기 선택된 사용자 단말 각각에 대한 채널 벡터를 합성하여 상기 선택된
사용자 단말 전체에 대한 채널 행렬을 생성하고, 상기 채널 행렬을
이용하여 프리코딩(precoding) 행렬을 생성하는 프리코딩 행렬 생성부를 더
포함하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 장치.
- [5] 제4항에 있어서,
상기 프리코딩 행렬 생성부는,
상기 채널 행렬을 이용하여, 사용자간 간섭(inter-user interference) 제거를
위한 제1 프리코딩 행렬을 생성하는 제1 프리코딩 행렬 생성부; 및
상기 채널 행렬과 제1 프리코딩 행렬을 이용하여, 각 사용자 단말을
고유모드(eigenmode)로 분리하기 위한 제2 프리코딩 행렬을 생성하는 제2
프리코딩 행렬 생성부를 포함하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 장치.
- [6] 제4항에 있어서,
상기 선택된 사용자 단말에 대하여 변조 레벨을 할당하는 변조 레벨
할당부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 장치.
- [7] 제6항에 있어서,
상기 변조 레벨은 선택된 사용자 단말의 수, BPCU(Bit Per Channel Use), 및
심볼 할당 함수(symbol allocation function)에 기초하여 설정되는 것을
특징으로 하는 사용자 선택 장치.
- [8] 제6항에 있어서,
상기 선택된 사용자 단말에 대하여 상기 할당된 변조 레벨에 상응하여
전력을 할당하는 전력 할당부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 사용자

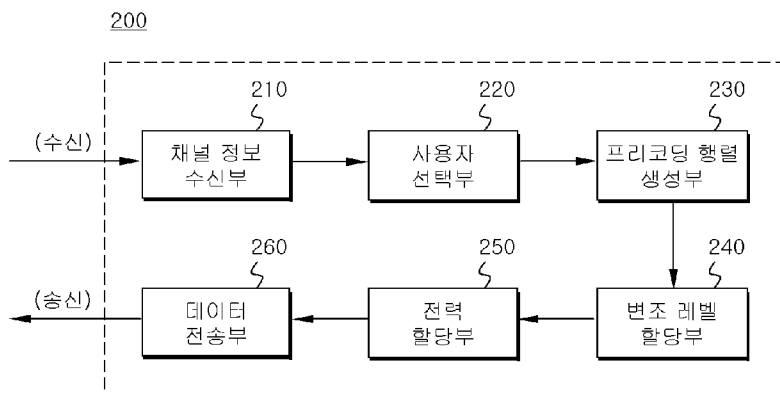
- 선택 장치.
- [9] 제8항에 있어서,
상기 전력은 심볼 할당 함수, 등최소거리함수(equal minimum distance function), 및 등최소거리레벨(equal minimum distance level)에 기초하여 설정되는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 장치.
- [10] 제8항에 있어서,
상기 선택된 사용자 단말로 해당 데이터를 전송하는 데이터 전송부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 장치.
- [11] 다중사용자 MIMO 시스템에서 사용자 선택 방법으로서,
a) 복수개의 사용자 단말로부터 채널 정보를 수신하는 단계;
b) 상기 수신된 채널 정보를 이용하여 각 사용자 단말에 대한 프리코딩 행렬을 구하는 단계;
c) 상기 각 사용자 단말에 대하여, 상기 구해진 프리코딩 행렬의 특이값(singular value) 중 최소값을 산출하는 단계; 및
d) 상기 각 사용자 단말에 대하여 산출된 최소값들 중 가장 큰 최소값을 갖는 사용자 단말을 선택하는 단계를 포함하는 사용자 선택 방법.
- [12] 제11항에 있어서,
상기 단계 d)에서 선택된 사용자 단말을 제외한 나머지 사용자 단말들에 대하여, 상기 단계 b) 내지 d)를 반복하여 수행하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 방법.
- [13] 제12항에 있어서,
상기 선택된 사용자 단말에 대해 선택된 사용자 단말의 수, BPCU(Bit Per Channel Use), 및 심볼 할당 함수(symbol allocation function)에 기초하여 변조 레벨을 할당하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 방법.
- [14] 제13항에 있어서,
상기 선택된 사용자 단말에 대해 심볼 할당 함수, 등최소거리함수(equal minimum distance function), 및 등최소거리레벨(equal minimum distance level)에 기초하여 전력을 할당하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 방법.
- [15] 다중사용자 MIMO 시스템에서 사용자 선택 방법으로서,
a) 복수개의 사용자 단말로부터 채널 정보를 수신하는 단계;
b) 상기 수신된 채널 정보를 이용하여, 이미 선택된 사용자 단말과 예비적으로 선택된 사용자 단말들의 채널 행렬 집합을 구하는 단계;
c) 상기 구해진 채널 행렬 집합의 특이값(singular value) 중 최소값을 산출하는 단계; 및
d) 상기 산출된 최소값들 중 가장 큰 최소값을 갖는 채널 행렬 집합에 해당하는 예비적으로 선택된 사용자 단말을 선택하는 단계를 포함하는

- 사용자 선택 방법.
- [16] 제15항에 있어서,
상기 단계 d)에서 선택된 사용자 단말을 제외한 나머지 사용자 단말들에 대하여, 상기 단계 b) 내지 d)를 반복하여 수행하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 방법.
- [17] 제16항에 있어서,
상기 선택된 사용자 단말에 대해 선택된 사용자 단말의 수, BPCU(Bit Per Channel Use), 및 심볼 할당 함수(symbol allocation function)에 기초하여 변조 레벨을 할당하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 방법.
- [18] 제17항에 있어서,
상기 선택된 사용자 단말에 대해 심볼 할당 함수, 등최소거리함수(equal minimum distance function), 및 등최소거리레벨(equal minimum distance level)에 기초하여 전력을 할당하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 사용자 선택 방법.

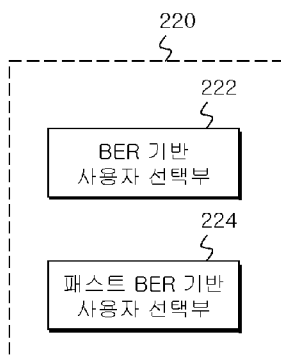
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]

Step 1) Initialization

$$T = \{1, 2, \dots, K_T\}, \quad S = \phi$$

$$p = \arg \max_{n \in T} \lambda_{n, \min}^2, \text{ where } \lambda_{n, \min}^2 \text{ is minimum singular value of } H_n$$

$$d_1 = d_{\min}(R, i);$$

$$G_1 = G_{CD}^{RG}(S, d_1), \text{ where } S = S + \{p\}; \quad T = T - \{p\};$$

Step 2) Loop

For i=2 to K

For every $k \in T$ Let $\gamma_k = S + \{k\}$, where $k \in T$ Find the precoding matrix V_j for each $j \in \gamma_k$, the effective channel

$$\overline{H}_j = H_j V_j \text{ for each } j \in \gamma_k$$

$$r_k = \arg \max_{j \in T} \lambda_{j, \min}^2, \text{ where } \lambda_{j, \min}^2 \text{ is minimum singular value of } \overline{H}_j$$

END-FOR

$$p = \arg \max_{k \in T} r_k$$

$$d_i = d_{\min}(R, i); \text{ where } R \text{ is the number of total transmit bits}$$

$$G_i = G_{CD}^{EG}(S_{temp}, d_i), \text{ where } S_{temp} = S + \{p\};$$

$$T = T - \{p\};$$

END-FOR

Step 3) Select Users

$$index = \arg \max_i G_i;$$

$$FS = S(1 : index);$$

[Fig. 5]

Step 1) Initialization

$$T = \{1, 2, \dots, K_T\}, \quad S = \phi, \quad A = \phi,$$

Step 2) Loop

For i=1 to K

$$A_n = [A; H_n], \text{ where } n \in T$$

$$p = \arg \max_{n \in T} \lambda_{n, \min}^2, \text{ where } \lambda_{n, \min}^2 \text{ is minimum singular value of } A_n$$

$$d_i = d_{\min}(R, i); \text{ where } R \text{ is the number of total transmit bits}$$

$$G_i = G_{CD}^{BG}(S_{temp}, d_i), \text{ where } S_{temp} = S + \{p\};$$

$$T = T - \{p\};$$

$$A = [A; A_p];$$

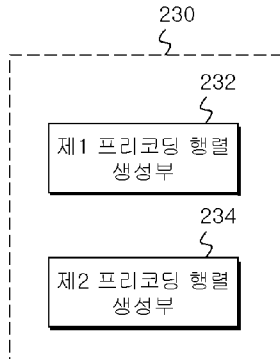
END-FOR

Step 3) Select Users

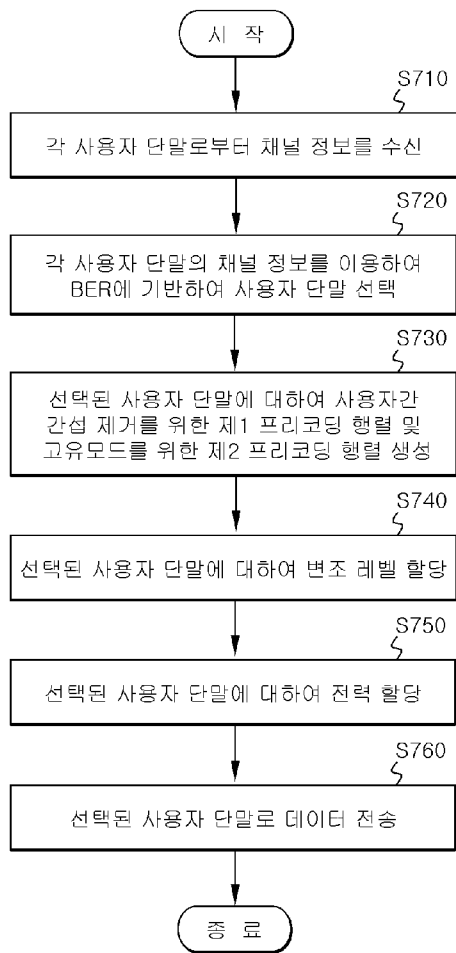
$$index = \arg \max_i G_i;$$

$$FS = S(1:index);$$

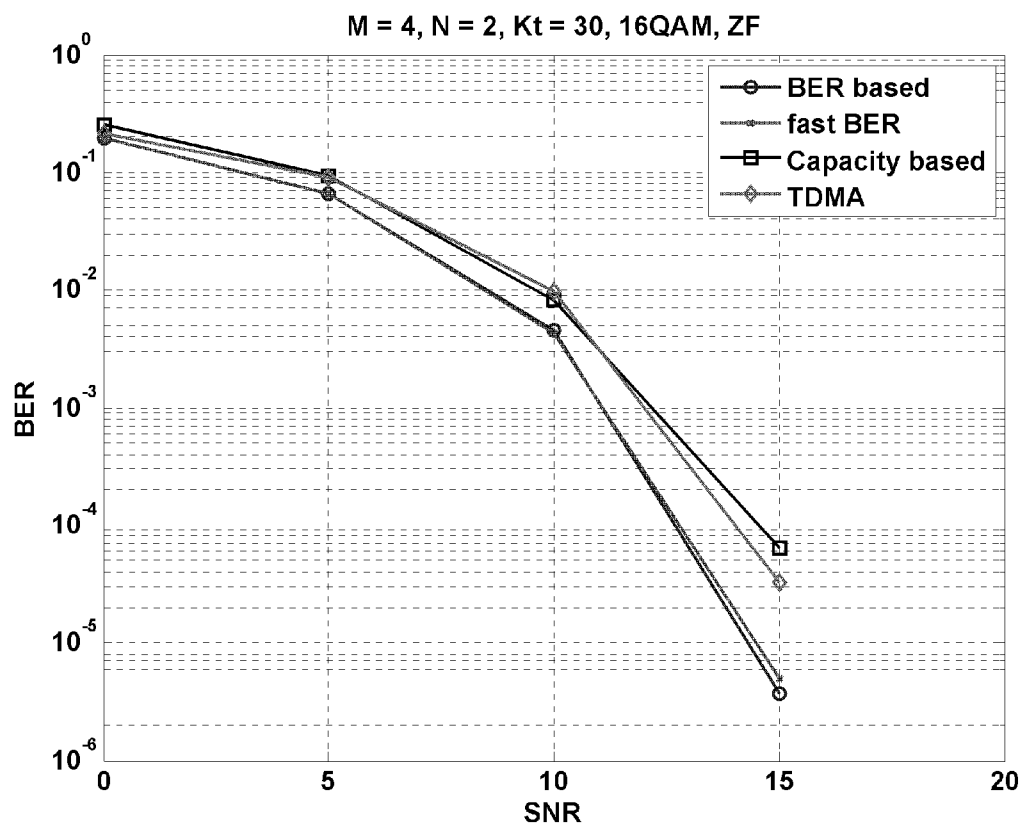
[Fig. 6]



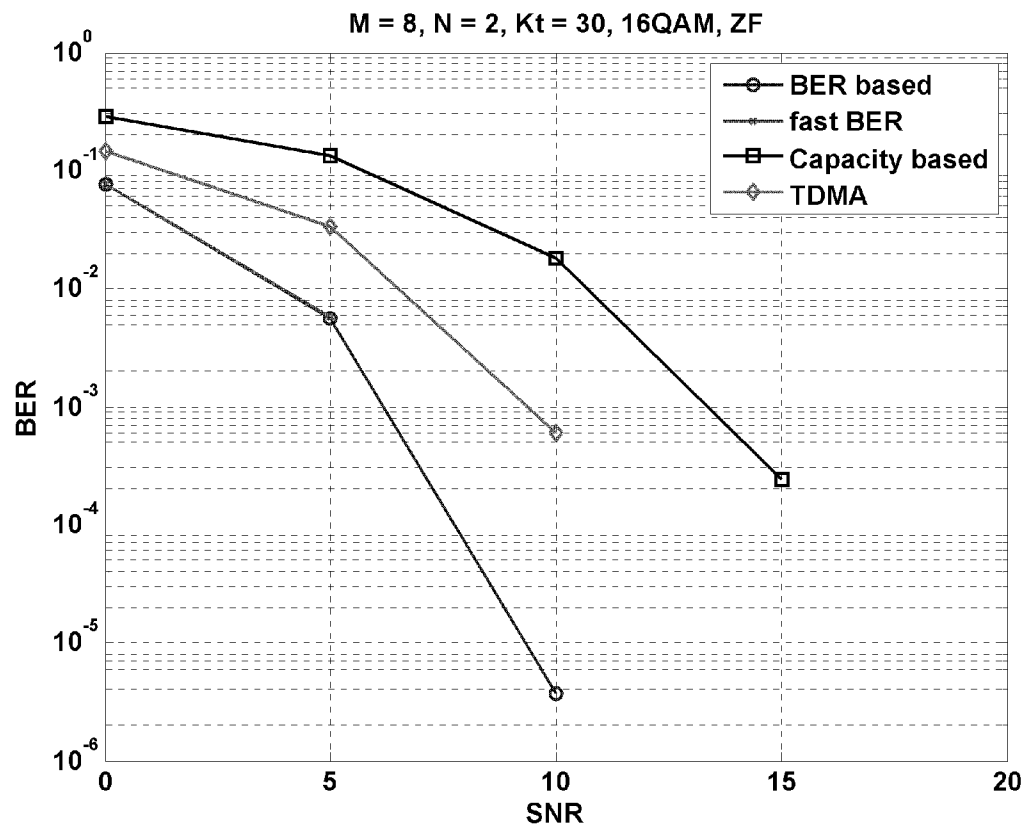
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]

