



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년09월10일
(11) 등록번호 10-0981554
(24) 등록일자 2010년09월03일

(51) Int. Cl.

H04B 7/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2003-0080354
(22) 출원일자 2003년11월13일
심사청구일자 2008년07월30일
(65) 공개번호 10-2005-0046306
(43) 공개일자 2005년05월18일
(56) 선행기술조사문헌
US20030125040 A1
US20040209579 A1
US7151951 B2

(73) 특허권자

한국과학기술원

대전 유성구 구성동 373-1

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 매탄동 416

(72) 발명자

김응선

경기도수원시팔달구영통동황골마을신명아파트21동904호

이중혁

경기도성남시분당구야탑동탑마을주공8

단지아파트808동901호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이건주

전체 청구항 수 : 총 16 항

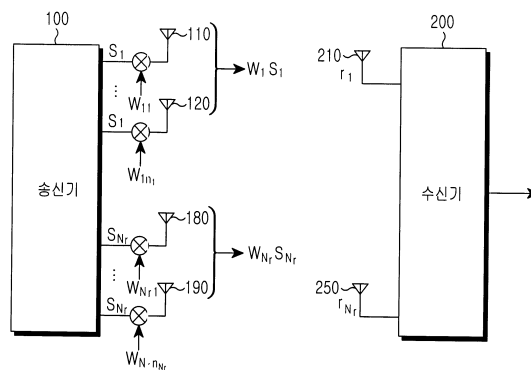
심사관 : 성경아

(54) 다중 송수신 안테나들을 구비하는 이동통신시스템에서, 송신 안테나들을 그룹핑하여 신호를 전송하는 방법

(57) 요약

본 발명은 N_t 개의 송신 안테나를 구비하는 송신기와, N_r 개의 수신 안테나를 구비하는 수신기를 포함하는 이동통신시스템에서, 상기 송신기가 상기 N_t 개의 송신 안테나들을 그룹화하여 상기 N_r 개의 수신 안테나로 해당 심볼을 송신하는 방법에 있어서, 상기 N_r 개의 수신 안테나에 대응하여 $N_r \times N_r$ 의 크기를 가지는 제1행렬을 상기 수신기로부터 피드백 받는 과정과, 상기 N_r 개의 수신 안테나에 대응하여 상기 제1행렬이 포함하는 서브 행렬들 각각에 대해 고유값 분해를 수행하는 과정과, 상기 서브 행렬들 각각에 대한 고유값 분해 결과들을 합하여 최대 고유값의 합을 계산하는 과정과, 상기 서브 행렬들 각각에 대한 최대 고유값의 합 중에서 최대값을 가지는 서브 행렬이 포함하는 엘리먼트에 대응하는 송신 안테나들의 조합을 송신 안테나 그룹으로 결정하는 과정과, 상기 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신 안테나들 각각을 통해 서로 다른 심볼을 송신하는 과정을 포함한다.

대표도 - 도2a



(72) 발명자

정재학

서울특별시서초구서초동무지개아파트1동403호

김호진

서울특별시강남구압구정동현대아파트62동405호

전주환

대전광역시유성구구성동373-1한국과학기술원전기전자공학과

이경천

대전광역시유성구구성동373-1한국과학기술원전기전자공학과

김일한

대전광역시유성구구성동373-1한국과학기술원전기전자공학과

특허청구의 범위

청구항 1

N_t 개의 송신 안테나를 구비하는 송신기와, N_r 개의 수신 안테나를 구비하는 수신기를 포함하는 이동통신시스템에서, 상기 송신기가 상기 N_t 개의 송신 안테나들을 그룹화하여 상기 N_r 개의 수신 안테나로 해당 심볼을 송신하는 방법에 있어서,

상기 N_r 개의 수신 안테나에 대응하여 $N_r \times N_r$ 의 크기를 가지는 제1행렬을 상기 수신기로부터 피드백 받는 과정과,

상기 N_r 개의 수신 안테나에 대응하여 상기 제1행렬이 포함하는 서브 행렬들 각각에 대해 고유값 분해를 수행하는 과정과,

상기 서브 행렬들 각각에 대한 고유값 분해 결과들을 합하여 최대 고유값의 합을 계산하는 과정과,

상기 서브 행렬들 각각에 대한 최대 고유값의 합 중에서 최대값을 가지는 서브 행렬이 포함하는 엘리먼트에 대응하는 송신 안테나들의 조합을 송신 안테나 그룹으로 결정하는 과정과,

상기 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신 안테나들 각각을 통해 서로 다른 심볼을 송신하는 과정을 포함하는 송신기의 심볼 송신 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신 안테나들 각각을 통해 서로 다른 심볼을 송신하는 과정은,

동일한 심볼에 서로 다른 가중치를 곱하여 상기 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신안테나들 각각을 통해서 동시에 송신하는 과정을 포함하는 송신기의 심볼 송신 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 고유값 분해를 수행하는 과정은,

상기 서브 행렬들 각각에 대해 하기 수학식에 의해서 계산된 횟수만큼 고유값 분해를 수행함으로써, 상기 서브 행렬 별로 하기 수학식에 의해서 계산된 횟수에 상응하는 개수의 고유값 분해 결과를 획득하는 과정을 포함하는 송신기의 심볼 송신 방법.

<수학식>

$$\frac{N_r^{N_t}}{N_r!} - \frac{(N_r - 1)^{N_t}}{(N_r - 1)!} - \dots - \frac{1^{N_t}}{1!}$$

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 고유값 분해를 수행하는 과정은,

상기 서브 행렬들 각각에 대해 하기 수학식에 의해서 계산된 횟수만큼 고유값 분해를 수행함으로써, 상기 서브 행렬 별로 하기 수학식에 의해서 계산된 횟수에 상응하는 개수의 고유값 분해 결과를 획득하는 과정을 포함하는 송신기의 심볼 송신 방법.

<수학식>

$$\begin{pmatrix} N_1 - 1 \\ N_r - 1 \end{pmatrix}$$

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 최대 고유값의 합들을 계산하는 과정은,

상기 제1행렬이 포함하는 서브 행렬들 중 하나인 제1서브 행렬의 고유값 분해 결과들을 합하여 제 1 최대고유값을 계산하는 과정과,

상기 제1행렬이 포함하는 서브 행렬들 중 하나이며, 상기 제1서브 행렬과 다른 제2서브 행렬의 고유값 분해 결과들을 합하여 제 2 최대고유값을 계산하는 과정과,

상기 제 1 최대고유값과 상기 제 2 최대고유값을 비교하여 최대값을 갖는 서브행렬이 포함하는 엘리먼트에 대응하는 송신 안테나들의 조합을 상기 송신 안테나 그룹으로 결정하는 과정을 포함하는 송신기의 심볼 송신 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 최대값을 갖는 서브 행렬은,

상기 수학식을 사용하여 상기 송신 안테나 그룹으로 결정됨을 특징으로 하는 송신기의 심볼 송신 방법.

<수학식 >

$$\arg \max_{n_1, \dots, n_{N_r}} \sum_{i=1}^{N_r} \max(\text{eig}(\mathbf{R}_{ii})) \text{ such that } \sum_{i=1}^{N_r} n_i = N_r$$

여기서, n_i 는 i 번째 그룹 내에서 송신 안테나의 개수를 나타내고, R_{ii} 는 상기 제1행렬이 포함하는 서브 행렬을 나타내고, $\sum_{i=1}^{N_r} n_i = N_r$ 이다.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신 안테나들의 수는 상기 수신기의 수신 안테나의 수인 N_r 과 동일함을 특징으로 하는 송신기의 심볼 송신 방법.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 수신기는 널링 앤 캔슬링(nulling and canceling)방식을 사용함으로써 상기 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신 안테나들을 통해서 송신되는 심볼을 검출하는 수신기임을 특징으로 하는 송신기의 심볼 송신 방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

N_t 개의 송신 안테나를 구비하는 송신기와, N_r 개의 수신 안테나를 구비하는 수신기를 포함하는 이동통신시스템에서, 상기 N_t 개의 송신 안테나들을 그룹화하여 상기 N_r 개의 수신 안테나로 해당 심볼을 송신하는 상기 송신기는,

상기 N_r 개의 수신 안테나에 대응하여 $N_r \times N_r$ 의 크기를 가지는 제1행렬을 상기 수신기로부터 피드백 받고, 상기 N_r 개의 수신 안테나에 대응하여 제1행렬이 포함하는 서브 행렬들 각각에 대해 고유값 분해를 수행하고, 상기 서브 행렬들 각각에 대한 고유값 분해 결과를 합하여 최대 고유값의 합을 계산하고, 상기 서브 행렬들 각각에 대한 최대 고유값의 합 중에서 최대값을 가지는 서브 행렬이 포함하는 엘리먼트에 대응하는 송신 안테나들의 조합을 송신 안테나 그룹으로 결정하고, 상기 결정된 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신 안테나들 각각을 통해 서로 다른 해당 심볼을 송신함을 특징으로 하는 송신기.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신 안테나들 각각은,

동일한 심볼에 서로 다른 가중치를 곱한 신호를 동시에 송신함을 특징으로 하는 송신기.

청구항 13

제 11항에 있어서,

상기 송신기는,

상기 서브 행렬들 각각에 대해 하기 수학식에 의해서 계산된 횟수만큼 고유값 분해를 수행함에 의해서, 상기 서브 행렬 별로 하기 수학식에 의해서 계산된 횟수에 상응하는 개수의 고유값 분해 결과를 획득함을 특징으로 하는 송신기.

<수학식 >

$$\frac{N_r^{N_t}}{N_r!} - \frac{(N_r - 1)^{N_t}}{(N_r - 1)!} - \dots - \frac{1^{N_t}}{1!}$$

청구항 14

제 11항에 있어서,

상기 송신기는,

상기 서브 행렬들 각각에 대해 하기 수학식에 의해서 계산된 횟수만큼 고유값 분해를 수행함으로써, 상기 서브 행렬 별로 하기 수학식에 의해서 계산된 횟수에 상응하는 개수의 고유값 분해 결과를 획득함을 특징으로 하는 송신기.

<수학식>

$$\binom{N_r - 1}{N_r - 1}$$

청구항 15

제 11항에 있어서,

상기 송신기는,

상기 제1행렬이 포함하는 서브 행렬들 중 하나인 제1서브 행렬의 고유값 분해 결과들을 합하여 제 1 최대고유값을 계산하고, 상기 제1행렬이 포함하는 서브 행렬들 중 하나이며, 상기 제1서브 행렬과 다른 제2서브 행렬의 고유값 분해 결과들을 합하여 제 2 최대고유값을 계산하고, 상기 제 1 최대고유값과 상기 제 2 최대고유값을 비교하여 최대값을 갖는 서브 행렬이 포함하는 엘리먼트에 대응하는 송신 안테나들의 조합을 상기 송신 안테나 그룹으로 결정함을 특징으로 하는 송신기.

청구항 16

제 11항에 있어서,

상기 송신기는,

하기 수학적식을 사용하여 상기 최대값을 갖는 서브 행렬을 상기 송신 안테나 그룹으로 결정함을 특징으로 하는 송신기.

<수학적식>

$$\arg \max_{n_1, \dots, n_{N_r}} \sum_{i=1}^{N_r} \max(\text{eig}(\mathbf{R}_{ii})) \text{ such that } \sum_{i=1}^{N_r} n_i = N_t$$

여기서, n_i 는 i 번째 그룹 내에서 송신 안테나의 개수를 나타내고, R_{ii} 는 상기 제1행렬의 서브 행렬을 나타내고, $\sum_{i=1}^{N_r} n_i = N_t$ 이다.

청구항 17

제 11항에 있어서,

상기 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신 안테나들의 수는 상기 수신기의 수신 안테나의 수인 N_r 과 동일함을 특징으로 하는 송신기.

청구항 18

제 11항에 있어서,

상기 수신기는,

널링 앤 캔슬링(nulling and canceling)방식을 사용함으로써 상기 송신 안테나 그룹을 구성하는 송신 안테나들을 통해서 송신되는 심볼을 검출함을 특징으로 하는 송신기.

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

[0007] 본 발명은 다중 송수신 안테나를 구비하는 이동통신시스템에서, 상기 다중 송수신 안테나들을 그룹화하여 통신 용량을 증가시키는 전송 방법을 제공함에 있다.

[0008] 기존의 이동통신시스템은 음성 위주의 서비스가 발달하고 상기 음성 서비스에 대한 무선 환경의 채널 열악성을 극복하기 위하여 채널 코딩 기술이 발전하였다. 그러나, 현재 이동통신시스템은 상기 음성 서비스는 물론 고품질의 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증대되고 있다. 따라서, 기존의 채널 코딩 기술에 의존하였던 통신 기술은 더 많은 데이터를 더 낮은 오류율로 전송하기 위한 기술이 요구되는 실정이다. 특히, 데이터 요구량의 급증으로 인해 순방향 링크에서 고속 데이터의 전송은 더욱 중요해지고 있다.

[0009] 이에 상기 고속의 데이터를 송신하기 위하여 이동통신시스템의 통신 용량을 증가시키기 위한 기술이 대두되고 있으며 특히, 다수의 송수신 안테나를 이용하는 다중입력 다중출력(Multi-Input, Multi-output: 이하 'MIMO'라 칭함) 기술이 제안되고 있다. 상기 MIMO 방식은 송신기와 수신기가 다중 안테나를 구비하여 서로 다른 데이터를 전송하는 기술이다. 상기 MIMO 방식과 관련하여 하기의 도 1a에서는 공간 다중화 방식에 따른 송신기의 구조를 설명하고, 도 1b에서는 빔포밍 방식에 대하여 설명하고자 한다.

[0010] 도 1a는 일반적인 공간 다중화 방식에 따른 송신기의 송신 구조를 도시한 도면이다.

[0011] 도 1a를 참조하면, 공간 다중화(Spatial Multiplexing)방식은 다수의 송신 안테나들(11, 12, 13, 14)을 구비한 송신기(10)가 서로 다른 심볼 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_N$ 을 동시에 전송하는 기술로, 상기 각각의 송신 안테나들이 서로 다른 심볼들을 전송한다. 이에 따라 송신 안테나 11은 S_1 을 전송하고, 송신 안테나 12는 S_2 를 전송한다. 송신 안테나 13은 S_3 을 전송하고, 송신 안테나 14는 S_N 를 전송한다. 즉, 서로 다른 심볼을 다수의 송신 안테나를 통해 전송함으로써, 다른 MIMO 구조에 비하여 통신 용량이 좋은 장점을 가진다.

[0012] 그러나, 일반적으로 공간 다중화 방식을 사용하기 위한 송신기의 안테나 수는 수신기의 안테나 수보다 작아야 하는 제약이 있다. 이는 공간 다중화 방식의 적용과 관련하여 수신기(20)가 Nulling and canceling 검출 방식을 사용하기 때문이다. 즉, 상기 공간 다중화 방식의 적용과 관련하여 수신기(20)의 안테나의 수가 상기 송신기의 안테나의 수에 비하여 더 많아야만 상기 전송된 심볼들에 대하여 낮은 복잡도의 검파가 가능하기 때문이다.

반면에, 실제 이동통신 환경에서는 기지국(10)이 상기 이동단말(20)보다 더 많은 안테나(11, 12, 13, 14)를 구비하고 있다. 따라서,

도 1b는 이동통신시스템에서 빔포밍 방식을 적용한 송신기의 개략적인 구조를 도시한다.

[0014] 도 1b를 참조하면, 빔포밍(BeamForming)방식은 다수의 안테나(31, 32, 33, 34)를 구비한 송신기(30)가 동일한 심볼 S_1 에 대하여 서로 다른 가중치($W_1, W_2, W_3, \dots, W_N$)를 곱하여 동시에 동일한 심볼 S_1 을 전송하는 기술로, 수신기(20)의 수신 성능이 최대가 되도록 하는 기술이다.

이때, 이동단말은 기지국으로부터 전송된 심볼에 대하여 수신 성능이 좋아지는 장점을 가지나, 동일한 심볼 S_1 을 다수의 안테나들을 통해 동시에 전송함에 따른 주파수 효율이 떨어지는 단점이 존재한다. 즉, 통신 용량이 상대적으로 낮아지는 단점을 가진다. 따라서, 고속 데이터 전송이 요구되는 차세대 이동통신시스템에서, 상기 빔포밍 방식에 따른 송신 구조는 통신 용량에 비효율적인 문제점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

[0015] 따라서 상기한 바와 같이 동작되는 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 창안된 본 발명의 목적은, 다중 송수신 안테나들을 구비하는 이동통신시스템에서, 상기 다중 송수신 안테나를 그룹화하여 통신 용량을 증가시키는 전송 방법을 제공함에 있다.

[0016] 본 발명의 다른 목적은, 다중 송수신 안테나들을 구비하는 이동통신시스템에서, 채널 공분산 행렬을 이용하여

채널에 적응적인 송신 안테나를 그룹핑하는 방법을 제공함에 있다.

[0017] 본 발명의 또 다른 목적은, 다중 송수신 안테나들을 구비하는 이동통신시스템에서, 기지국이 다중 송수신 안테나를 그룹화하고, 상기 그룹화된 송신 안테나간에 공간 다중화를 수행하는 방법을 제공함에 있다.

[0018] 본 발명에서 제안하는 방법은, N_t 개의 송신 안테나를 구비하는 송신기와, N_r 개의 수신 안테나를 구비하는 수신기를 포함하는 이동통신시스템에서, 상기 송신기가 상기 N_t 개의 송신 안테나들을 그룹화하여 상기 N_r 개의 수신 안테나로 해당 심볼을 송신하는 방법에 있어서, 상기 N_r 개의 수신 안테나에 대응하여 $N_r \times N_r$ 의 크기를 가지는 제1행렬을 상기 수신기로부터 피드백 받는 과정과, 상기 N_r 개의 수신 안테나에 대응하여 상기 제1행렬이 포함하는 서브 행렬들 각각에 대해 고유값 분해를 수행하는 과정과, 상기 서브 행렬들 각각에 대한 고유값 분해 결과들을 합하여 최대 고유값의 합을 계산하는 과정과, 상기 서브 행렬들 각각에 대한 최대 고유값의 합 중에서 최대값을 가지는 서브 행렬이 포함하는 엘리먼트에 대응하는 송신 안테나들의 조합을 송신 안테나 그룹으로 결정하는 과정과, 상기 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신 안테나들 각각을 통해 서로 다른 심볼을 송신하는 과정을 포함한다.

본 발명의 실시 예에 따른 장치는, 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여 창안된 본 발명의 실시 예에 따른 장치는, N_t 개의 송신 안테나를 구비하는 송신기와, N_r 개의 수신 안테나를 구비하는 수신기를 포함하는 이동통신시스템에서, 상기 N_t 개의 송신 안테나들을 그룹화하여 상기 N_r 개의 수신 안테나로 해당 심볼을 송신하는 상기 송신기는, 상기 N_r 개의 수신 안테나에 대응하여 $N_r \times N_r$ 의 크기를 가지는 제1행렬을 상기 수신기로부터 피드백 받고, 상기 N_r 개의 수신 안테나에 대응하여 상기 제1행렬이 포함하는 서브 행렬들 각각에 대해 고유값 분해를 수행하고, 상기 서브 행렬들 각각에 대한 고유값 분해 결과를 합하여 최대 고유값의 합을 계산하고, 상기 서브 행렬들 각각에 대한 최대 고유값의 합 중에서 최대값을 가지는 서브 행렬이 포함하는 엘리먼트에 대응하는 송신 안테나들의 조합을 송신 안테나 그룹으로 결정하고, 상기 결정된 송신 안테나 그룹이 포함하는 송신 안테나들 각각을 통해 서로 다른 해당 심볼을 송신함을 특징으로 한다.

발명의 구성 및 작용

[0020] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 동작 원리를 상세히 설명한다. 하기에서 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 후술되는 용어들의 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0021] 본 발명에서는 다중 송수신 안테나를 구비하는 이동통신시스템에서, 기지국이 다수의 송수신 안테나를 그룹화하는 방법을 제공하고자 한다.

[0022] 이에 따라 본 발명에서 기지국은 채널 공분할 행렬을 통해 상기 다수의 송수신 안테나들을 그룹화하여 그룹간에는 서로 다른 심볼들을 전송하고, 정해진 그룹내에서는 동일한 심볼을 전송한다. 즉, 기지국이 상기 구별된 그룹을 통해 서로 다른 심볼을 전송하여 이동통신시스템의 통신 용량을 증가시키고, 정해진 그룹내에서는 동일한 심볼에 대하여 서로 다른 가중치 할당하여 전송함으로써 상기 이동단말의 수신 성능을 향상시키는 것이다. 도 2는 본 발명에서 제안하는 송신기의 송신 구조를 도시한 도면이다.

[0023] 도 2a를 참조하면, 송신기의 송신 안테나의 수를 N_t 라 하고, 수신기의 수신 안테나의 수를 N_r 라고 할 때, 순방향 링크 환경에서 $N_t > N_r$ 이다. 이때, 상기 송신기의 통신 용량을 가능한 한 최대화하기 위해서 채널 공분산을 이용하여 상기 송신 안테나들을 N_r 개의 그룹으로 나눈다. 즉 상기 송신 안테나들을 상기 수신 안테나의 개수에 대응하여 그룹화하여 구분한다.

이때, 상기 채널 공분산 행렬은 수신기, 즉 이동단말에서 추정된 채널값으로 상기 채널 공분산 행렬은 피드백 정보로 기지국으로 전송된다. 상기 피드백 정보로는 그룹핑 정보도 존재가능하나, 상기 그룹핑 정보만 전송하는

경우, 상기 기지국의 수신기가 별도로 고유값 분해를 수행해야 하기 때문에 상기 기지국 수신기의 계산량이 증가된다. 따라서, 상기 이동 단말은 상기 채널을 통해 추정된 채널 공분산 행렬을 기지국으로 전송한다.

[0024] 삭제

[0025] 상기와 같이 N_r 개의 수신 안테나에 따라 상기 채널 공분산 행렬은 하기의 <수학식 1>과 같다.

수학식 1

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{11} & \mathbf{R}_{12} & \cdots & \mathbf{R}_{1N_r} \\ \mathbf{R}_{21} & \mathbf{R}_{22} & \cdots & \mathbf{R}_{2N_r} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{R}_{N_r,1} & \mathbf{R}_{N_r,2} & \cdots & \mathbf{R}_{N_r,N_r} \end{bmatrix}$$

[0026]

[0027] 여기서, 상기 공분산 행렬 \mathbf{R} 은 $N_r \times N_r$ 개의 서브 행렬 \mathbf{R}_i 들로 구성되며, 상기 각각의 서브 행렬 \mathbf{R}_i 는 $n_i \times n_i$ 행렬이다. 또한, 상기 n_i 는 i 번째 그룹 내에서의 송신 안테나의 개수를 나타낸다. 상기 서브 행렬 \mathbf{R}_i 의 최대 고유값을 각각 구한 후, 상기 최대 고유값들을 합이 최대값이 되도록 상기 송신 안테나를 그룹화한다.

[0028] 이를 수학식으로 표현하면, 하기의 <수학식 2>와 같다.

수학식 2

$$\arg \max_{n_1, \dots, n_{N_r}} \sum_{i=1}^{N_r} \max(\text{eig}(\mathbf{R}_{ii})) \text{ such that } \sum_{i=1}^{N_r} n_i = N_r$$

[0029]

[0030] 즉, 상기 각각의 서브 행렬 \mathbf{R}_i 의 최대 고유값을 구한 후, 최대값을 가지는 송신 안테나의 조합을 송신 안테나의 그룹으로 결정하는 것이다.

[0031] 이와 같이 상기 서브 행렬 \mathbf{R}_i 의 최대값을 가지는 송신 안테나 그룹 $N_1, N_2, N_3, \dots, N_{N_r}$ 을 구하면, 상기 송신 안테나 그룹을 통해 전송된 심볼에 대한 수신기의 신호는 하기의 <수학식 3>와 같이 표현된다.

수학식 3

$$\mathbf{r} = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{n} = \frac{1}{\sqrt{N_r}} \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 & \mathbf{H}_2 & \cdots & \mathbf{H}_{N_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{w}_1 s_1 \\ \mathbf{w}_2 s_2 \\ \vdots \\ \mathbf{w}_{N_r} s_{N_r} \end{bmatrix} + \mathbf{n}$$

[0032]

[0033] 여기서, 각 \mathbf{H}_i 는 $N_r \times n_i$ 행렬이고, \mathbf{w}_i 는 각 그룹 내에서의 $n_i \times 1$ 빔포밍 가중치 벡터로, 상기 서브 행렬 \mathbf{R}_i 의 최대 고유값에 해당하는 고유 벡터를 나타낸다. $s_1, s_2, s_3, \dots, s_{N_r}$ 은 상기 송신 단에서 전송하고자 하는 송신 심볼이다. \mathbf{n} 은 잡음이다.

[0034] 상기 수신 안테나를 통해 수신되는 수신 신호의 평균 파워는 <수학식 4>과 같다.

수학식 4

$$E[\mathbf{r}^H \mathbf{r} | \mathbf{H}] = \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_r} \mathbf{w}_i^H \mathbf{H}_i^H \mathbf{H}_i \mathbf{w}_i E_s + \sigma^2 \mathbf{I}$$

[0035]

$$\mathbf{H}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1^H \\ \vdots \\ \mathbf{h}_{N_r}^H \end{bmatrix}$$

[0036]

여기서, E_s 는 심볼의 평균 전력이고, \mathbf{H}_i 를 와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 상기 <수학식 4>은 하기의 <수학식 5>와 같이 변경가능하다.

수학식 5

$$E[\mathbf{H}_i^H \mathbf{H}_i] = \sum_{j=1}^{N_r} E[\mathbf{h}_j \mathbf{h}_j^H] = \sum_{j=1}^{N_r} \mathbf{R}_{jj} = N_r \mathbf{R}_{jj}$$

[0037]

[0038]

여기서, \mathbf{w}_i 는 채널 공분산 서브 행렬 \mathbf{R}_{jj} 의 최대 고유값에 해당하는 고유 벡터이므로, 수신기에서 받는 최대

평균 파워는 $\frac{N_r}{N_t} \sum_{i=1}^{N_r} \lambda_i E_s$ 가 된다. 여기서 λ_i 는 \mathbf{R}_{jj} 의 최대 고유값을 나타낸다. 따라서 채널 공분산 서브 행렬의 최대 고유값들의 합을 최대화하면 수신기에서 최대 평균 파워를 얻을 수 있다.

[0039]

상기와 같이 최대 평균 파워를 가지는 송신 안테나의 그룹을 구하고자 송신기는 <수학식 6>의 횡수만큼 고유값 분해를 수행한다.

수학식 6

$$\frac{N_r^{N_t}}{N_r!} - \frac{(N_r - 1)^{N_t}}{(N_r - 1)!} - \dots - \frac{1^{N_t}}{1!}$$

[0040]

[0041]

이때, 수신기의 안테나 수가 작기 때문에 상기 안테나 그룹의 N_r 도 작아지고, 따라서, 상기 최대 평균 파워에 대한 고유값 분해의 계산량도 작아진다. 또한 상기 송신기는 채널 환경의 변화가 적은 상황에서 긴 주기를 가지고 주기적으로 고유값 분해를 수행하기에 상기 최대 평균 파워를 계산하기 위한 복잡도도 감소한다.

[0042]

반면에, 상기 기지국이 송신 안테나들의 인접한 순서대로 그룹핑을 수행한다면, 상기 고유값 분해는 하기의 <수학식 7>의 횡수만큼 수행된다.

수학식 7

$$\begin{pmatrix} N_t - 1 \\ N_r - 1 \end{pmatrix}$$

[0043]

[0044]

이는 물리적으로 가까운 거리에 위치한 송신 안테나간의 채널 상관도가 큰 것을 이용하는 것으로, 상기 <수학식 6>에 비하여 상기 고유값 분해를 수행하는 횡수가 줄어드는 효과가 있다.

[0045]

이와 관련하여 도 2b에서는 본 발명의 일 실시 예에 따라 송신 안테나의 수가 4이고, 수신 안테나의 수가 2인 경우를 예를 들어 설명한다. 상기 송신 안테나의 수에 따라 전체 4x4의 공분산 행렬이 존재하며, 상기 공분산 행렬에 따라 인접한 송신 안테나들에 대하여 그룹핑을 수행함은 하기와 같다.

- [0046] 먼저, 경우 1(case 1)에서, 송신 안테나 그룹 1을 R^{11} 로 이루어진 1×1 행렬로 설정하고, 송신 안테나 그룹 2을 $R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{32}, R_{33}, R_{34}, R_{42}, R_{43}, R_{44}$ 로 이루어진 3×3 행렬로 설정한다.
- [0047] 즉, 송신 안테나 110을 송신 안테나 그룹 1로 설정하고, 상기 송신 안테나 120, 180, 190을 송신 안테나 그룹 2로 설정한다. 그 후, 상기 송신 안테나 그룹 1과 상기 송신 안테나 그룹 2에 대하여 각각 고유값 분해를 수행한다. 상기 각각의 고유값 분해 결과를 더하여 상기 경우 1의 최대 고유값의 합으로 설정한다.
- [0048] 경우 2(case 2)에서, 송신 안테나 그룹 1을 $R_{11}, R_{12}, R_{21}, R_{22}$ 의 2×2 행렬로 설정하고, 송신 안테나 그룹 2를 $R_{33}, R_{34}, R_{43}, R_{44}$ 의 2×2 행렬로 설정한다. 상기 송신 안테나 110과 송신 안테나 120을 송신 안테나 그룹 1로 설정하고, 상기 송신 안테나 180, 190을 송신 안테나 그룹 2로 설정한다. 그 후, 상기 송신 안테나 그룹 1과 상기 송신 안테나 그룹 2에 대하여 각각 고유값 분해를 수행한다. 상기 각각의 고유값 분해 결과를 더하여 상기 경우 2의 최대 고유값의 합으로 설정한다.
- [0049] 경우 3(case 3)에서, 송신 안테나 그룹 1을 $R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{21}, R_{32}, R_{33}$ 의 3×3 행렬로 설정하고, 송신 안테나 그룹 2를 R_{44} 의 1×1 행렬로 설정한다. 즉, 상기 송신 안테나 110과 송신 안테나 120과 송신 안테나 180을 송신 안테나 그룹 1로 설정하고, 상기 송신 안테나 190을 송신 안테나 그룹 2로 설정한다. 그 후, 상기 송신 안테나 그룹 1과 상기 송신 안테나 그룹 2에 대하여 각각 고유값 분해를 수행한다. 상기 각각의 고유값 분해 결과를 더하여 상기 경우 3의 고유값으로 설정한다.
- [0050] 상기 경우 1과 상기 경우 2와, 상기 경우 3의 각각의 고유값을 비교한 결과, 상기 경우 2의 고유값이 가장 크면, 기지국은 상기 경우 2를 송신 안테나 그룹으로 결정한다. 즉, 기지국은 2개씩의 안테나들로 그룹화한다.
- [0051] 도 2a,b에 도시된 바와 같이, 기지국(100)은 4개의 송신 안테나(110, 120, 130, 140)를 구비하고, 상기 이동단말(200)은 2개의 수신 안테나(210, 250)를 구비한다. 따라서, 이동단말은 상기 <수학식 6>를 통해 총 7번의 고유값 분해를 수행한다. 반면에, 인접한 안테나별로 상관 관계만을 고려한다면 <수학식 7>에 의해 총 3번의 고유값 분해를 수행해도 무방하다.
- [0052] 상기 전술한 바와 같이, 기지국은 상기 송신 안테나(110, 120, 180, 190)들의 수를 고려하여 하기의 <수학식 8>와 같은 공분산 행렬을 이동단말로부터 피드백받게 된다.

수학식 8

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \rho^3 \\ \rho^* & 1 & \rho & \rho^2 \\ \rho^{*2} & \rho^* & 1 & \rho \\ \rho^{*3} & \rho^{*2} & \rho^* & 1 \end{bmatrix}$$

- [0053]
- [0054] 상기 피드백된 공분산 행렬은 각각의 안테나를 통해 전송될 신호의 채널 특성으로, 상기 안테나 그룹들중에서 최대 고유값의 합을 가지는 채널들을 그룹핑하여 상기 수신 안테나(210, 250)에 대하여 분배한다. 따라서, 상기 기지국은 4개의 송신 안테나들을 2개의 그룹으로 분할하고, 상기 송신 안테나 그룹 1(110, 120)를 통해 심볼 S_1 을 전송하고, 송신 안테나 그룹 2(130, 140)를 통해 S_2 을 전송한다. 즉 상기 송신 안테나 그룹별로 서로 상이한 심볼들의 신호를 전송한다. 즉, 송신 안테나 그룹 1에서 상기 안테나 110은 심볼 S_1 에 대하여 W_{11} 을 곱하여 송하고, 안테나 120은 심볼 S_1 에 대하여 W_{12} 를 곱하여 전송한다. 또한 송신 안테나 그룹 2에서 상기 안테나 180은 심볼 S_2 에 대하여 W_{21} 를 곱하여 전송하고, 안테나 190은 심볼 S_2 에 대하여 W_{22} 를 곱하여 전송한다.
- [0055] 따라서, 채널이 서로 상관되어 있을 때에도 빔 포밍 방식에 따라 동일한 그룹내에서 동일한 심볼을 전송함으로써 수신 성능이 보장되고, 또한 상기 기지국의 송신 안테나 수가 이동단말의 수신 안테나 수보다 많음에도 불구하고 공간 다중화 방식에 따라 서로 독립된 심볼들을 전송함으로써 기지국의 최대 주파수 효율을 제공하게 된다. 즉, 상기 기지국은 송신 안테나의 수에 따라 채널 공분산 행렬을 생성하여 이동단말로부터 피드백받아 채널 상관도 측정을 하고 그게 맞게 적응적 안테나 그룹핑을 수행하여 심볼을 전송한다.

[0056] 따라서, 상기 기지국의 송신 안테나의 수가 상기 이동단말의 수신 안테나의 수에 비하여 크더라도 계산량이 적은 Nulling and canceling 검파방식을 통해 수신 신호의 검출이 가능하다. 즉, 상기 기지국의 송신 안테나의 수가 상기 이동단말의 수신 안테나의 수에 비하여 많더라도 그룹화에 따라 수신 안테나의 수와 동일한 채널이 존재하여 상기 Nulling and canceling 검파 방식의 적용이 가능하다.

[0057] 도 3a,b는 본 발명에 따른 채널 용량과 종래 기술에 따른 채널 용량을 비교한 도면이다.

[0058] 도 3a,b를 참조하면, 기지국에서 송신 안테나들을 통해 신호 전송시 최대 통신 용량은 <수학식 9>과 같이 표현 가능하다. 이때, 상기 기지국은 상기 이동단말로부터 채널 정보를 수신하지 않은 경우이다.

수학식 9

$$C = E \log_2 \det \left(I_{N_r \times N_t} + \frac{SNR}{N_t} H Q H^H \right)$$

[0059]

[0060] 여기서, N_t 는 기지국의 송신 안테나수의 수이고, N_r 은 이동단말의 수신 안테나수의 수이다. H 는 채널 행렬을 나타내는 것으로, 상기 N_t 개의 송신 안테나들 각각으로부터 송신된 신호들이 각각 다른 경로를 거쳐 각각의 N_r 수신 안테나로 수신되는 것을 나타낸다. 이때, 상기 H 는 $N_r \times N_t$ 의 행렬이 된다. 또한, Q 는 각각의 송신 안테나에서의 송신 신호에 대한 공분산을 나타내는 행렬로, $N_t \times N_t$ 의 행렬이다. SNR은 신호대 잡음비를 나타낸다.

[0061] 도 3a는 p 가 0.5인 경우를 도시하고, 도 3b는 p 가 0.8인 경우를 도시한다.

[0062] 본 발명에 따른 송신 구조에서 기지국은 송신 안테나의 수에 따라 채널 공분산 행렬을 이동단말로부터 피드백받아, 채널 상관도 측정을 하고 그에 맞게 적응적 안테나 그룹핑을 수행하여 심볼을 전송한다. 즉, 동일한 그룹내에서 동일한 심볼을 전송함으로써 수신 성능을 보장하고, 상기 그룹간에는 서로 다른 심볼들을 전송함에 따라 종래의 공간 다중화 방식에 따른 송신 구조에 비하여 동일하거나, 증가한 이동통신시스템의 통신 용량을 가짐을 확인 할 수 있다. 또한, 채널 상관도가 증가함에도 불구하고, 다른 MIMO 방식에 비하여 통신 용량이 우수함을 알 수 있다.

[0063] 도 4a,b는 본 발명에 따른 송신 구조에 대하여 최대 우도 검출 방식에 따라 비트 에러율을 도시한 상태도이다.

[0064] 도 4a,b를 참조하면, 상기 기지국의 송신 안테나들의 수는 4이고, 수신 안테나들의 수는 2이다. 이때, 데이터 전송률 $R=8\text{bit/c.u}$ (channel use)이다. 또한, 구속장은 $k=9$ 이고, 부호화율 $r=1/4$ 인 경우의 비트 에러율을 검사한 경우이다. 여기서, 최대 우도 검출(Maximum Likelihood Detection)은 모든 송신 안테나에서 송신 가능한 심볼들을 모두 대입하여 최소 Squared Euclidean Distance를 가지는 심볼을 선택하는 방식이다.

[0065] 상기 데이터 전송률 $R=8\text{bit/c.u}$ 를 맞추기 위하여 공간 다중화(Spatial Multiplexing) 방식은 QPSK를 사용하고, 빔 포밍(Beam-Forming)은 256QAM을 사용한다. 본 발명에서는 16QAM을 사용한다.

[0066] 상기 도 4a는 p 가 0.5이고, 도 4b는 p 가 0.8인 경우, 최대 우도 검출이다. 상기 도 4a 및 도 4b에서 도시된 바와 같이 본 발명에서 제안한 송신 구조가 상기 공간 다중화 방식 및 빔 포밍 방식에 비하여 더 낮은 BER을 성능을 나타냄을 알 수 있다.

[0067] 이는 본 발명에서 제안한 송신 구조에 따라 송신 안테나 그룹간에 서로 다른 심볼을 전송하고, 동일한 그룹내의 송신 안테나들은 서로 다른 가중치를 실어 동일한 심볼을 전송함으로써 다른 MIMO 송신 구조에 비하여 E_b/N_0 이 있음을 알 수 있다. 또한, 채널 상관도가 크게 존재할때에도 다른 MIMO 구조에 비해 수신 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

[0068] 도 5a,b는 본 발명에 따른 송신 구조에 대하여 Nulling and canceling 검출 방식을 적용하고 비트 에러율을 도시한 상태도이다.

[0069] 도 5a는 p 가 0.5이고, 도 5b는 p 가 0.8의 널링 앤 캔슬링(nulling and canceling)검출 방식을 사용한 예이다. 여기서, 상기 데이터 전송률을 맞추기 위하여 빔 포밍(Beam-Forming)은 256QAM을 사용하고, 이중 시공간 전

송 다이버시티(Double Space-Time transmit Diversity) 송신 구조는 16QAM을 사용하고, 본 발명에서는 16QAM을 사용한다. 또한, 구속장은 k=9이고, 부호화율 r=1/4인 경우의 비트 에러율을 검사한 경우이다.

[0070] 본 발명에서 제안한 송신 구조는 기지국의 송신 안테나 수가 이동단말의 수신 안테나 수보다 많음에도 불구하고 nulling and canceling 방식의 적용이 가능하다. 다시 설명하면, 종래의 상기 nulling and canceling 검파 방식에 따라 수신된 신호 \mathbf{r} 을 하기의 <수학식 10>과 같이 표현가능하다.

수학식 10

$$\mathbf{r} = \frac{1}{\sqrt{N_t}} \sum_{i=1}^{N_r} \mathbf{H}_i \mathbf{w}_i s_i + \mathbf{n}$$

[0071]

[0072] 여기서, $H_i w_i = a_i$ 라고 정의하면 상기의 <수학식 10>은 하기의 <수학식 11>로 표현 가능하다.

수학식 11

$$\mathbf{r} = \frac{1}{\sqrt{N_t}} \sum_{i=1}^{N_r} \mathbf{a}_i s_i + \mathbf{n}$$

[0073]

[0074] 따라서, 상기 널링 앤 캔슬링(nulling and canceling) 방식의 검파 방식을 사용하여 비교적 간단하게 수신 신호에 대하여 검파가 가능하다.

[0075] 또한, 본 발명의 송신 구조에 따라 송신 안테나 그룹간에 서로 다른 심볼을 전송할때, 상기 그룹에 따른 채널들은 서로 가능한 독립적으로 설계됨으로, 상기 nulling and canceling 방식을 사용하여 검출을 수행하는 경우, 서로 다른 그룹 간의 채널은 직교할 확률이 커짐에 따라 잡음 증폭 효과가 없어진다.

[0076] 따라서, 채널 상관도가 증가함에도 불구하고, 기존의 D-STTD보다 약 1~2 dB 정도의 E_b/N_0 이득이 있음을 알 수 있다.

[0077] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되지 않으며, 후술되는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

발명의 효과

[0078] 이상에서 상세히 설명한 바와 같이 동작하는 본 발명에 있어서, 개시되는 발명중 대표적인 것에 의하여 얻어지는 효과를 간단히 설명하면 다음과 같다.

[0079] 본 발명은, 수신기의 안테나의 수에 관계없이 낮은 복잡도를 가지는 검출 알고리즘 사용이 가능하다. 즉, 상기 송신기의 안테나 수가 상기 수신기의 안테나의 수보다 큼에도 불구하고 기존의 널링 앤 캔슬링 방식에 따른 알고리즘의 사용이 가능하다. 따라서, 상기 수신기의 안테나 수와 관계없이 이동통신시스템의 전체 통신 용량을 증대시키는 효과를 가진다. 또한, 적절한 길쌈 부호를 사용하여 전체 BER을 낮추는 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

[0001] 도 1a는 일반적인 공간 다중화 방식에 따른 송신기의 송신 구조를 도시한 도면.

[0002] 도 1b는 일반적인 빔 포밍 방식에 따른 송신기의 송신 구조를 도시한 도면.

[0003] 도 2a는 본 발명에서 제안하는 송신기의 송신 구조를 도시한 도면..

도 2b는 상기 도 2a에 따라 4개의 송신 안테나와 2개의 수신 안테나를 구비한 시스템의 일예를 도시한 도면.

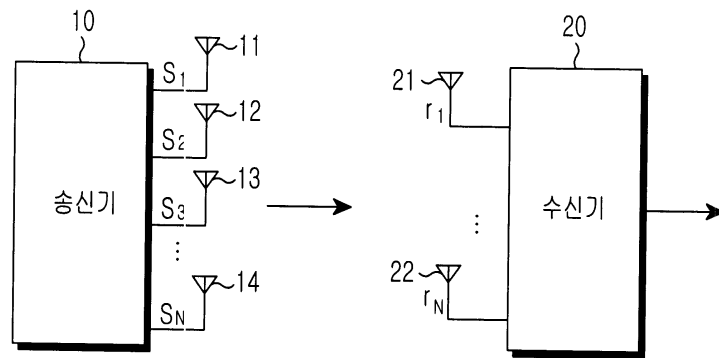
[0004] 도 3a,b는 본 발명에 따른 채널 용량과 종래 기술에 따른 채널 용량을 비교한 상태도.

[0005] 도 4a,b는 본 발명에 따른 송신 구조에 대하여 최대 우도 검출 방식에 따라 비트 에러율을 도시한 상태도.

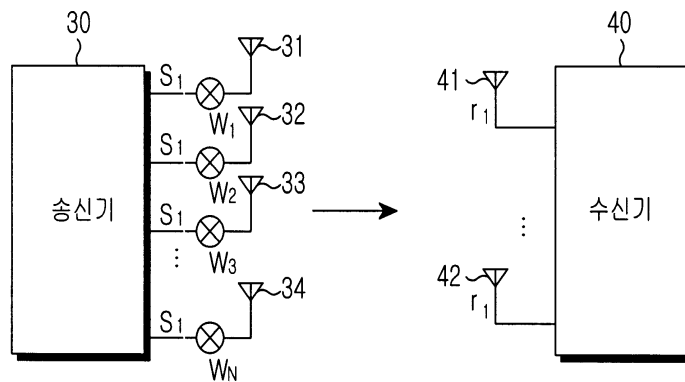
[0006] 도 5a,b는 본 발명에 따라 향상된 비트 에러율을 널링 앤 캔슬링(Nulling and canceling) 검출 방식에 따라 도시한 상태도.

도면

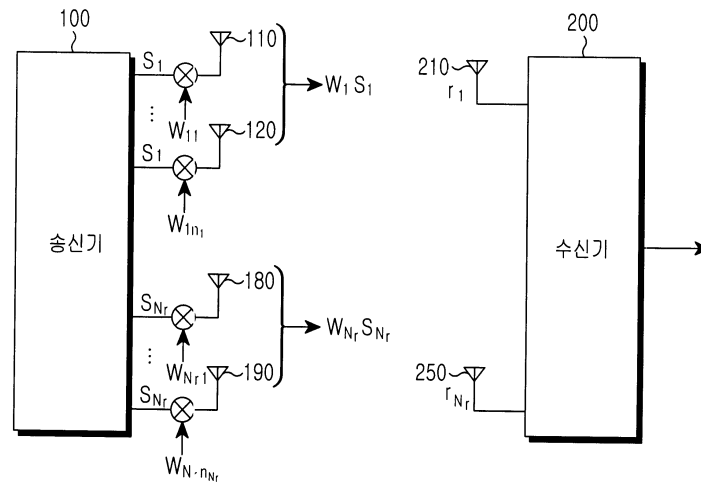
도면1a



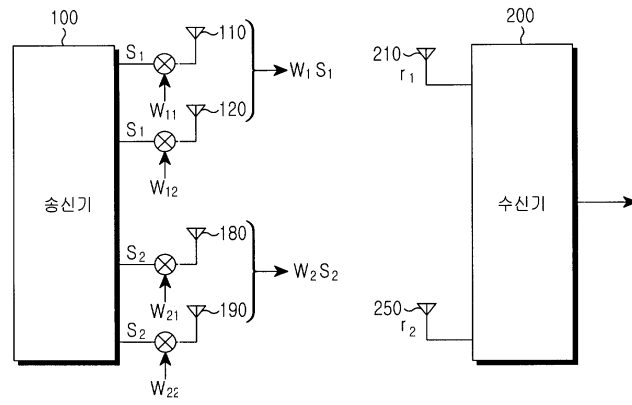
도면1b



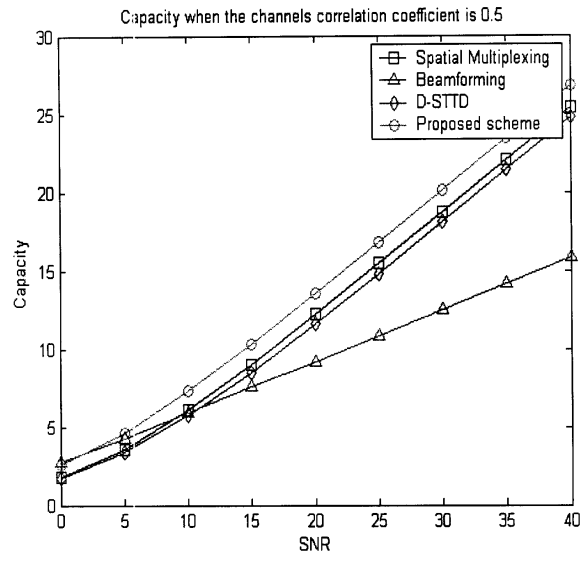
도면2a



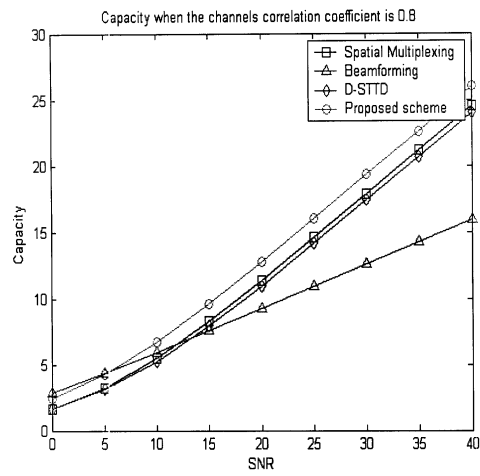
도면2b



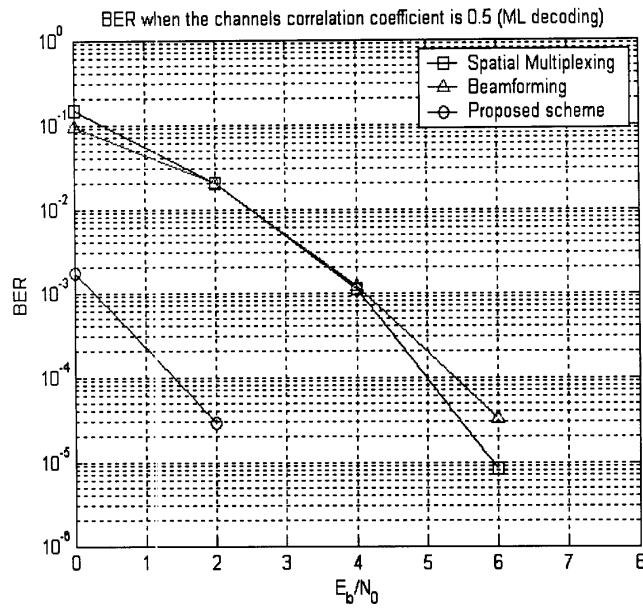
도면3a



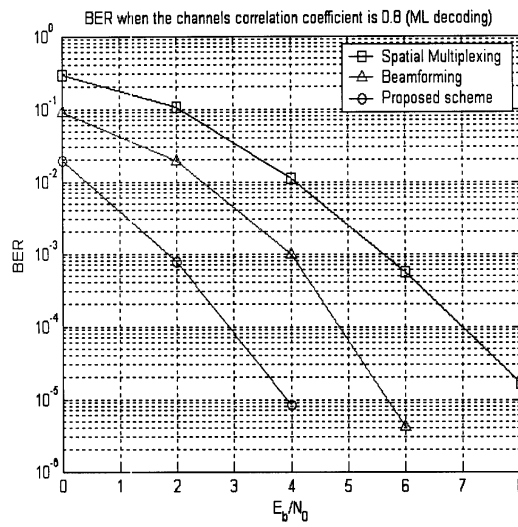
도면3b



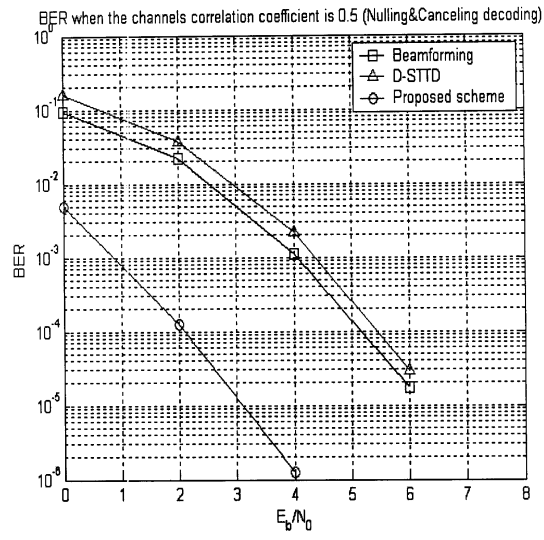
도면4a



도면4b



도면5a



도면5b

