

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(51) 。 Int. Cl.⁷
H04B 7/06(11) 공개번호 10-2005-0015731
(43) 공개일자 2005년02월21일(21) 출원번호 10-2003-0054676
(22) 출원일자 2003년08월07일(71) 출원인 삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 매탄동 416학교법인연세대학교
서울 서대문구 신촌동 134번지(72) 발명자 심세준
서울특별시서대문구신촌동134연세대학교

정재학
서울특별시서초구서초2동무지개아파트1동403호

황찬수
경기도용인시기흥읍상갈리금화마을주공아파트303동1704호

이충용
서울특별시서대문구신촌동134연세대학교

(74) 대리인 이건주

심사청구 : 있음

(54) 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 최소 신호대잡음비를 이용한 셔플링 패턴 결정 방법 및 장치

요약

본 발명은 데이터 스트림들을 셔플링하여 전송하는 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 셔플링 패턴을 선택하는 방법 및 장치에 관한 것이다. 이중 시공간 송신 다이버시티(DSTTD) 부호에 의하여 부호화된 데이터 스트림들을 소정 셔플링 패턴에 따라 셔플링하여 전송하는 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 셔플링 패턴을 결정하는 방법 및 장치에 있어서, 채널 추정기는 복수의 전송 안테나들로부터 복수의 수신 안테나들로의 채널 특성을 추정하고, 셔플링 패턴 결정기는 상기 추정된 채널 특성을 이용하여 가능한 모든 셔플링 패턴들 각각에 대한 최소 수신 신호대 잡음비를 구하고, 상기 가능한 모든 셔플링 패턴들 중 상기 최소 수신 신호대 잡음비가 최대인 셔플링 패턴을 상기 최적 셔플링 패턴으로서 선택한다. 이러한 본 발명은 최적의 셔플링 패턴을 효율적으로 결정하여 수신기의 오차 성능을 직접적으로 향상시킬 수 있다.

대표도

도 4

색인어

DSSTTD, TRANSMIT DIVERSITY, SNR, SHUFFLING PATTERN

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 전형적인 다입다출 시스템의 간략화된 전송 모델을 나타낸 도면.

도 2는 전형적인 DSTTD 시스템의 개략적인 구성도를 나타낸 도면.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 서플링 구조를 가지는 DSTTD 시스템의 송신기 구성을 나타낸 도면.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 서플링 구조를 가지는 DSTTD 시스템의 수신기 구성을 나타낸 도면.

도 5는 서플링 구조를 가지는 DSTTD 시스템에서 서플링의 일 예를 나타낸 도면.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따라 서플링 패턴을 결정하는 동작을 나타낸 흐름도.

도 7 내지 도 9는 가능한 모든 서플링 패턴들에 의한 BER 성능을 나타낸 도면.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템(Double Space-Time Transmit Diversity system)에 관한 것으로서, 특히 데이터 스트림들을 서플링하여 전송하는 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 서플링 패턴을 선택하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

현재 무선 이동통신 시장이 급성장하고 무선 환경에서의 다양한 멀티미디어 서비스가 요구되어 지고 있으며 동시에 전송 데이터의 대용량화 및 데이터 전송의 고속화가 진행되고 있다. 따라서 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 방법을 찾는 것이 가장 시급한 과제로 떠오르고 있으며, 이 과제를 해결하기 위해서는 다중 안테나를 이용한 새로운 전송 기술이 필요하다. 3세대 이동통신 표준화 기구인 3GPP(3th Generation Partnerships Project)에서는 이동통신 환경에서 다수의 송신 및 수신 안테나들을 사용하여 데이터를 송수신하는 다입다출(Multiple Input and Multiple Output: MIMO) 기술을 적용한 새로운 데이터 전송 방식들을 활발히 논의하고 있다.

도 1은 전형적인 다입다출 시스템의 간략화된 전송 모델을 나타낸 것으로서, 도시한 바와 같이 MIMO 시스템은 M개의 전송 안테나들(10)과 N개의 수신 안테나들(20)을 가진다. M개의 전송 안테나들을 통해 송신되는 $M \times 1$ 신호 벡터를 s 라고 하고 상기 송신 신호 벡터가 수신단에 수신되기 전 거치게 되는 이동통신 채널(30)의 특성 행렬을 H 라고 할 때 N개의 수신 안테나들을 가지는 수신단에서 수신되는 신호 벡터 r 은 하기의 <수학식 1>과 같다.

수학식 1

$$r = Hs + w$$

여기서 채널 특성 행렬 H 는, 송신단에서 M개의 안테나들을 사용하고 수신단에서 N개의 안테나들을 사용하며 전송 안테나들에서 송신된 신호들은 각각 다른 경로를 거쳐 각각 다른 수신 안테나에 수신되므로 $N \times M$ 행렬이 된다. w 는 가우시안 잡음(Gaussian Noise)을 나타낸 것으로 수신단 각 안테나에 유기되므로 $N \times 1$ 벡터가 된다.

3GPP에서 제시되고 있는 다입다출 기술을 사용하는 전송 기법 중 주목받는 하나는 이중 시공간 송신 다이버시티(Double Space-Time Transmit Diversity: DSTTD)이다. 이러한 DSTTD는 기존의 시공간 송신 다이버시티 코딩(STTD coding)을 기반으로 하는 2개의 STTD 부호기들(102,104)을 사용하기 때문에 송신 다이버시티 효과를 나타낼 수 있으며 따라서 다이버시티 특성을 이용한 성능 개선이 요구되는 상황에 매우 적합하다.

도 2는 전형적인 DSTTD 시스템의 개략적인 구성도를 나타낸 것으로서, 도시한 바와 같이 송신기(100)는 각각 2개씩의 전송 안테나들(106)에 연결된 2개의 STTD 부호기들(102,104)로 구성되고, 수신기(110)는 $N(N \geq 2)$ 개의 안테나들(112)에 각각 2개씩 연결되는 DSTTD 복호기들(114,116,118,120)로 구성된다.

이상과 같은 DSTTD 기술은 2개의 심볼들마다 하나의 DSTTD 결합과 신호검출 계산을 처리하므로 4개의 전송 안테나들을 사용하는 STTD 기술과 비교하여 볼 때 시간대비 처리 속도가 1/2로 줄게 되며 시스템의 복잡도 역시 감소하게 된다.

안테나간 상관도가 높은 무선 채널 환경에서 DSTTD의 성능을 향상시키기 위한 기술로 안테나 셔플링(shuffling) 기법이 있다. 안테나 셔플링을 위해서는 4개의 전송 안테나들에 기반한 두 STTD 부호기들(102,104)은 출력 심볼들의 최적 순서를 결정한다. 즉 안테나 셔플링은 채널에 대한 선형 변환을 수행하게 되는 것이다. 안테나 셔플링 패턴은 공간적인 채널의 상관도에 따라 수신단에 의해 결정된다.

수신기는 채널 특성을 추정한 후, 채널 추정 정보로부터 송신단과 수신단의 상관도를 나타내는 공간적 상관 행렬(spatial correlation matrix)을 분리하여, 상관도를 최소화할 수 있는 최적의 셔플링 패턴을 찾아낸다. 양호한 채널 독립성을 유지하기 위해서는 상관행렬이 항등행렬(Identity matrix)이 되어야 하지만, 실제로는 잡음과 간섭에 의한 영향 때문에 비대각 성분들(off-diagonal terms)이 발생하게 된다. 따라서 수신기는 비대각 성분들을 최소화하도록 하는 셔플링 패턴을 결정하고, 이를 송신단의 부호기들에게 통보한다.

그러나, 종래의 DSTTD 시스템을 위한 서플링 패턴 선택 기술은 데이터 스트림(data stream)이 전송되는 채널의 공간 상관도를 최소화하는 정보만을 이용할 뿐 수신기의 BER(bit error rate)에 영향을 주는 수신 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio: SNR)를 고려하지 않았다. 게다가 상관 행렬 또한 채널 특성 행렬 자체로부터 1차적으로 구해지는 것이 아니라 2차적 계산에 의하여 구해지는 것이므로 상관 행렬만으로 최적 수신 성능을 나타내는 서플링 패턴을 추정하는 데에는 한계가 있을 수 밖에 없다

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서 상기한 바와 같이 동작되는 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 창안된 본 발명은, 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 수신기의 복잡도를 감소시키면서 최적 수신 성능을 나타내는 서플링 패턴을 결정하는 방법 및 장치를 제공한다.

본 발명은 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 채널 추정 정보로부터 수신 오차 확률을 최소화하는 서플링 패턴을 결정하는 방법 및 장치를 제공한다.

본 발명은 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 채널 추정 정보로부터 수신 신호대 잡음비를 최소화하는 서플링 패턴을 직접적으로 결정하는 방법 및 장치를 제공한다.

본 발명의 실시예는, 이중 시공간 송신 다이버시티(DSTTD) 부호에 의하여 부호화된 데이터 스트림들을 소정 서플링 패턴에 따라 서플링하여 전송하는 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 서플링 패턴을 결정하는 방법에 있어서,

복수의 전송 안테나들로부터 복수의 수신 안테나들의 채널 특성을 추정하는 과정과,

상기 추정된 채널 특성을 이용하여 수신 신호대 잡음비를 최대화하는 최적 서플링 패턴을 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 다른 실시예는, 이중 시공간 송신 다이버시티(DSTTD) 부호에 의하여 부호화된 데이터 스트림들을 소정 서플링 패턴에 따라 서플링하여 전송하는 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 서플링 패턴을 결정하는 장치에 있어서,

복수의 전송 안테나들로부터 복수의 수신 안테나들의 채널 특성을 추정하는 채널 추정기와,

상기 추정된 채널 특성을 이용하여 수신 신호대 잡음비를 최대화하는 최적 서플링 패턴을 결정하는 서플링 패턴 결정기와,

상기 복수의 전송 안테나들로부터 상기 복수의 수신 안테나들로 수신된 신호들을 각각 복호하고 상기 결정된 최적 서플링 패턴에 따라 역-서플링하여 출력하는 복수의 복호기들과,

상기 복호기들로부터 출력되는 신호들을 이용하여 데이터 심볼들을 검출하는 검출기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 구성 및 작용

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. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

후술되는 본 발명은 서플링(shuffling) 구조를 갖는 이중 시공간 송신 다이버시티(DSTTD) 시스템에서 채널 추정 정보로부터 수신기의 오차 확률 성능에 직접적인 영향을 미치는 수신 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio: SNR)의 최소값을 최대로 하는 서플링(shuffling) 패턴을 결정하는 것이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 서플링 구조를 가지는 DSTTD 시스템의 송신기 구성을 나타낸 것이다.

상기 도 3을 참조하면, 변조된 복수의 데이터 심볼들로 이루어지는 하나의 데이터 스트림은 역다중화기(Demultiplexer: DMUX)(110)에 의해 2개의 서로 다른 데이터 스트림들로 분리되어 2개의 STTD 부호기들(STTD ENC)(120, 122)로 각각 입력된다. STTD 부호기들(120, 122) 각각은 기본적으로 1개의 입력 데이터 스트림에 대해 2개의 출력 데이터 스트림을 생성하기 때문에, 2개의 STTD 부호기들(120, 122)에 의해서 모두 4개의 전송 데이터 스트림이 발생한다.

안테나 서플링을 위해서, 서플링기(130)는 4개의 전송 안테나들(150, 152, 154, 156)에 기반하여 상기 2개의 STTD 부호기들(120, 122)에서 나온 출력 신호들의 순서를 서플링한다. 즉 안테나 서플링은 송신단으로부터 수신단으로의 채널에 대한 선형 변환을 수행하게 된다. 상기 서플링을 위한 서플링 패턴은 수신단에 의해 결정되며 서플링 패턴의 결정에 대한 상세한 설명은 후술될 것이다.

4개의 데이터 스트림은 확산기들(140,142,144,146)에 의해 각각 다수의 확산 코드들(Multi-spreading codes)을 가지고 확산되어 전송 안테나들(150 내지 156) 별로 할당된다.

첫 번째 전송 안테나(150)와 두 번째 전송 안테나(152)에 할당된 전송 신호들은 STTD 부호화로 인해 상호 직교하게 된다. 마찬가지로 세 번째 전송 안테나(154)와 네 번째 전송 안테나(156)도 상호 직교하는 전송 신호들이 할당된다. 이 경우에 각 안테나를 통해 전송된 신호는 서로 다른 STTD 부호기를 거친 신호로부터 간접 영향을 받게 되어, 각 데이터 심볼들은 송신 다이버시티 효과를 가진다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 서플링 구조를 가지는 DSTTD 시스템의 수신기 구성을 나타낸 것이다.

상기 도 4를 참조하면, N개의 수신 안테나들(210, 212)을 통해 수신된 신호들은 안테나별 역확산기(220)에 의해 역확산된 후 안테나별로 2개씩의 STTD 복호기들(232,234,236,238)을 통해 직접 시공간 레이크 결합(Direct Space-Time Rake Combining)이 이루어진다.

DSTTD 부호화된 신호가 채널(H)을 통과한 후 n번째 수신 안테나에 입력되는 신호는 다음 <수학식 2>와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$[r_n(0) \ r_n(1)] = \frac{1}{\sqrt{2}} [h_{n1} \ h_{n2} \ h_{n3} \ h_{n4}] \begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ -s_2^* & s_1^* \\ s_3 & s_4 \\ -s_4^* & s_3^* \end{bmatrix} + [w_n(0) \ w_n(1)]$$

여기서, h_{ni} 는 i번째 심볼 시간의 채널 계수이고, s_j 는 j번째 송신 심볼이고, $w_n(.)$ 은 가우시안 잡음이다.

채널 추정기(260)는 수신 안테나들을 통해 수신된 신호들을 가지고 전송 안테나들로부터 수신 안테나들의 채널 특성을 추정하고, 서플링 패턴 선택기(270)는 상기 채널 추정 정보에 따라 최적의 서플링 패턴을 결정한 후 이를 복호기들(232 내지 238)로 제공하는 동시에 송신단으로 피드백한다. 복호기들(232 내지 238)은 상기 결합된 신호들을 상기 서플링 패턴 W에 따라, 원래의 순서대로 역-서플링하여 출력한다.

DSTTD 결합된 출력 신호는 다른 STTD 부호기와 연결된 2개의 전송 안테나들로부터 발생한 간섭 신호에 의해 영향을 받는다. 따라서 검출기(240)는 복호기들(232 내지 238)에 의해 결합된 신호에 대해 반복(Iterative) MMSE(Minimum Mean Square Error)와 같이 간섭에 강한 검출 알고리즘을 적용함으로써 데이터 심볼들을 검출한다. 상기 검출된 심볼들은 다중화기(250)에 의해 직렬 변환되어 복조기(도시하지 않음)로 입력된다.

안테나별 채널 계수가 다음의 <수학식 3>과 같다고 할 때, 안테나 서플링을 통한 새로운 채널 계수는 다음의 <수학식 4>와 같이 된다.

수학식 3

$$h_n = [h_{n1} \ h_{n2} \ h_{n3} \ h_{n4}]^T$$

수학식 4

$$\hat{h}_n = W^T h_n$$

여기서 W는 서플링 패턴을 나타내는 4×4 전치(permutation) 행렬을 의미하며, 위첨자 T는 전치행렬을 의미한다.

도 5는 상기 <수학식 5>에 나타낸 서플링 패턴들 중 (1, 3, 2, 4)의 경우를 나타낸 것이다. 도시한 바와 같이 두 번째 데이터 스트림과 세 번째 데이터 스트림의 경로들이 서플링기(130)에 의해 상호 교환되었다.

무선 채널 환경이 가장 열악한 경우에 해당하는 최소 수신 SNR은 수신기의 비트 오류(Bit Error Rate: BER) 성능을 좌우하는 직접적인 요인이다. 따라서 서플링 패턴 선택기(270)는 최소 수신 SNR을 가장 크게 할 수 있는 서플링 패턴을 찾아낸다.

DSTTD 시스템의 수신기는 기본적으로 ZF(zero forcing) 또는 MMSE 검출 알고리즘을 사용하며 각 검출 알고리즘은 데이터 스트림 별로 데이터를 검출하게 된다. 이때, 검출 알고리즘을 거친 k번째 데이터 스트림의 수신 SNR은 다음 <수학식 5>와 같다.

수학식 5

$$SNR_k = \frac{P}{M} \frac{1}{[(H^H H)^{-1}]_{k,k}}$$

여기서 ρ 는 송신 신호의 전체 전력 대 잡음 비를 나타내고, M 은 전송 안테나들의 개수를 나타내고, H 는 채널 특성 행렬을 나타내고, 위첨자 H 는 허미시안 행렬(Hermitian matrix)을 나타낸다. 또한 아래첨자 k, k 는 데이터 스트림의 인덱스를 나타내는 것이다.

H 는 DSTTD 시스템에 따라 변형된 채널 특성, 즉 송신단에 의해 서플링이 적용된 채널 특성을 나타내는 행렬로서, 4개의 전송 안테나들과 2개의 수신 안테나들에 대해 <수학식 2>로부터 다음 <수학식 6>과 같이 시간에 대해서 확장된 형태를 갖는다.

$$\begin{aligned} & \text{수학식 6} \\ & \begin{bmatrix} r_1(0) \\ r_1(1) \\ r_2(0) \\ r_2(1) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} h_{11} & -h_{12} & h_{13} & -h_{14} \\ h_{12}^* & h_{11}^* & h_{14}^* & h_{13}^* \\ h_{21} & -h_{22} & h_{23} & -h_{24} \\ h_{22}^* & h_{21}^* & h_{24}^* & h_{23}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1(0) \\ w_1(1) \\ w_2(0) \\ w_2(1) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

상기 <수학식 6>로부터 최소 수신 SNR은 다음 <수학식 7>과 같이 전개된다.

$$\begin{aligned} & \text{수학식 7} \\ & SNR_{\min} = \frac{\rho}{M} \frac{1}{\max[(H^H H)^{-1}]_{k,k}} \\ & \geq \frac{\rho}{M} \frac{1}{\lambda_{\max} \max[(H^H H)^{-1}]_{k,k}} \\ & = \frac{\rho}{M} \lambda(H^H H) \end{aligned}$$

여기서, $\lambda_{\max}(\cdot)$ 와 $\lambda_{\min}(\cdot)$ 은 각각 채널 특성 행렬에서 가장 큰 고유치(Eigen value)와 가장 작은 고유치를 구하는 함수이다.

결과적으로 안테나의 서플링 패턴은 서플링 방식에 따라 여러 가지로 나올 수 있는 채널 특성 행렬 H 에 대해서 상기 <수학식 7>을 최대화 만들어 주는 서플링 패턴 W_{\min} 을 찾는 것이 된다. 이를 수학식으로 표현하면 하기 <수학식 8>와 같다.

$$\begin{aligned} & \text{수학식 8} \\ & W_{\min} = \arg \max_W [\lambda_{\min}(W^H H^H H W)] \end{aligned}$$

여기서, W 는 서플링 패턴에 고려할 수 있는 행렬들이다. 시스템의 대칭구조로 인해, 가능한 모든 서플링 패턴들은 다음 <수학식 9>에 나타난 6가지로 표현 가능하다.

$$\begin{aligned} & \text{수학식 9} \\ & W_{1234} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad W_{1243} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad W_{1324} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ & W_{1342} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad W_{1423} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad W_{1432} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

서플링 패턴 선택기(270)는 상기한 서플링 패턴들 중에서 상기한 <수학식 8>을 만족하는 W_{\min} 을 선택한 후, 상기 선택된 패턴에 대한 정보를 송신기로 피드백하게 된다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따라 서플링 패턴을 결정하는 동작을 나타낸 흐름도이다. 여기서 나타낸 동작은 DSTTD 부호에 의하여 부호화된 데이터 스트림들을 소정 서플링 패턴에 따라 서플링하여 전송하는 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템의 수신기에 의해 수행되는 것이다.

상기 도 6을 참조하면, 수신기는 과정(310)에서 복수의 전송 안테나들로부터 복수의 수신 안테나들로의 채널 특성을 추정하고, 과정(320)에서 상기 추정된 채널 특성을 이용하여 가능한 모든 서플링 패턴들 각각에 대하여 최소 수

신 신호대 잡음비를 구한다. 과정(330)에서 수신기는 상기 상기 가능한 모든 서플링 패턴들 중 상기 최소 수신 신호대 잡음비가 최대인 서플링 패턴을 최적 서플링 패턴으로서 선택한다. 과정(340)에서 상기 선택된 서플링 패턴에 대한 정보는 송신기로 피드백된다.

본 발명에 따른 서플링 패턴 결정 알고리즘을 이용한 수신기의 성능을, 다양한 채널 상관도를 갖는 환경에 대해서 시뮬레이션한 결과를 설명하면 다음과 같다.

상관도를 갖는 채널 모델은 다음 <수학식 10>과 같이 주어진다.

$$\text{수학식 10} \\ H = R_{RX}^{1/2} H_{iid} R_{TX}^{1/2}$$

여기서, 전송 안테나 개수는 M이고 수신 안테나 개수는 N이며, H_{iid} 는 영평균과 단위 분산을 갖는 $N \times M$ i.i.d.(independent and identically distributed) 복소 가우시안 채널 행렬이고, R_{RX} 와 R_{TX} 는 각각 수신 상관 행렬($N \times N$)과 송신 상관 행렬($M \times M$)이다.

시뮬레이션에서 사용된 채널 상관도 모델들은 다음 <표 1>와 같다. 일반적으로 수신기 주변에는 충분한 산란(scatterer)이 존재하여 수신 안테나들 간에 독립적인 채널을 보장할 수 있으므로 수신기의 상관도는 없다고 간주될 수 있고, 따라서 $R_{RX} = I$ 인 것으로 하였다.

표 1.

모델	파라미터
S1	one transmit cluster, AOD= $\pi/2$, AOS= $\pi/30$; $R_{RX}=1$
S2	two equally transmit cluster, AOD= $[\pi/6, \pi/2]$, AOS= $[\pi/30, \pi/20]$; $R_{RX}=1$
S3	$R_{TX} = \text{toeplitz}([1.075 \ 0.5 \ 0.25])$; $R_{RX}=1$

S1 채널은 수신 상관(receive correlation)이 존재하지 않고, 송신 상관도(transmit correlation)는 1개의 클러스터(cluster)에 의해 발생하는 채널로서 AOD(angle of departure)가 $\pi/2$ 이며 AOS(angle of spread)가 $\pi/30$ 인 채널이다. 이러한 S1 채널에 대해서 이상적인 최적 안테나 서플링 패턴은 (1,4) (3,2)이다. 도 7은 S1 채널 모델에서 가능한 모든 서플링 패턴들에 의한 BER 성능을 나타낸 것이다.

S1 채널 모델에 대해, 가능한 모든 서플링 패턴들에 따른 본 발명과 종래 기술의 서플링 패턴 결정 기준 값들을 비교하면 다음 <표 2>과 같다. 하기의 값들은 각각 100000번의 독립 시행에 의한 평균치를 나타낸 것이다.

표 2.

서플링 패턴	본 발명 (최소 SNR)	종래 기술 (채널 상관도)
(1,2) (3,4)	0.6770	0.0010
(1,3) (2,4)	0.2411	0.0050
(1,4) (2,3)	0.3302	0.0022
(1,2) (4,3)	0.7609	0.0028
(1,3) (4,2)	0.7786	0.0004 (선택됨)
(1,4) (3,2)	0.8021 (선택됨)	0.0030

상기 <표 2>에 따르면 본 발명은 판별 기준값들 중 최대값 0.8021에 해당하는 서플링 패턴(1,4) (3,2)를 선택하는 반면, 종래 기술은 최소값인 0.0004에 해당하는 서플링 패턴 (1,3) (4,2)을 선택한다. 즉 본 발명은 수신 SNR의 관점에서 가장 좋은 SNR 특성을 찾으므로 시뮬레이션 결과와 같은 (1,4) (3,2)의 안테나 서플링 패턴을 찾을 수 있다.

S2 채널 모델은 2개의 클러스터에 의해 송신 상관도가 발생하는 채널로서 AOD가 각각 $\pi/6$ 과 $\pi/2$ 이며 AOS가 각각 $\pi/30$ 과 $\pi/20$ 인 채널이다. 도 8은 S2 채널 모델에서 가능한 모든 서플링 패턴들에 의한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이고, 다음 <표 3>은 S2 채널 모델에 대해, 본 발명과 종래 기술의 서플링 패턴 결정 기준 값들을 비교한 것이다.

표 3.

서플링 패턴	본 발명 (최소 SNR)	종래 기술 (채널 상관도)
--------	------------------	-------------------

(1,2) (3,4)	1.0226	0.0021
(1,3) (2,4)	1.1186	0.0044
(1,4) (2,3)	1.1152	0.0045
(1,2) (4,3)	1.1321 (선택됨)	0.0065
(1,3) (4,2)	1.1109	0.0018 (선택됨)
(1,4) (3,2)	1.0154	0.0050

도 8에 따르면 S2 채널 모델에 대해 서플링 패턴이 (1,2) (4,4)와 (1,3) (4,2)일 때 가장 양호한 BER 성능을 얻을 수 있다. 이에 대해 상기 <표 3>을 참조하면 본 발명은 판별 기준값들 중 최대값 1.1321에 해당하는 서플링 패턴 (1,3) (4,2)을 선택하는 반면, 종래 기술은 최소값인 0.0018에 해당하는 서플링 패턴 (1,3) (4,2)을 선택한다.

S3 채널 모델은 강제적으로 송신 상관도를 적용한 경우로서 송신 상관도 행렬은 $R_{TX} = \text{toeplitz}(1 \ 0.75 \ 0.5 \ 0.25)$ 로 주어진다. 도 9는 S3 채널 모델에서 가능한 모든 서플링 패턴들에 의한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이고, 다음 <표 4>은 S3 채널 모델에 대해, 본 발명과 종래 기술의 서플링 패턴 결정 기준 값들을 비교한 것이다.

표 4.

서플링 패턴	본 발명 (최소 SNR)	종래 기술 (채널 상관도)
(1,2) (3,4)	0.3381	0.0064
(1,3) (2,4)	0.7509	0.0042
(1,4) (2,3)	0.7940	0.0018 (선택됨)
(1,2) (4,3)	0.3437	0.0044
(1,3) (4,2)	0.7426	0.0105
(1,4) (3,2)	0.7952 (선택됨)	0.0041

상기 <표 3>을 참조하면 본 발명은 판별 기준값들 중 최대값 0.7952에 해당하는 서플링 패턴 (1,4) (3,2)를 선택하는 반면, 종래 기술은 최소값인 0.0018에 해당하는 서플링 패턴 (1,4) (2,3)을 선택한다.

시뮬레이션을 통한 수신 성능을 보면, 종래의 기술은 수신 성능이 비슷한 서플링 패턴들 W_{1324} , W_{1423} , W_{1342} , W_{1432} 등에 대해서 균일한 판별 기준을 제시하지 못하고 있는 반면에, 본 발명은 상기 서플링 패턴들에 대해 비슷한 판별 기준을 제시하고 있으므로, 본 발명이 종래의 기술에 비해 보다 객관적인 판별 기준을 제시하고 있음을 알 수 있다.

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

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

본 발명은, 서플링 구조를 사용하는 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 최적의 서플링 패턴을 효율적으로 결정할 수 있다. 즉 본 발명에 따른 서플링 패턴 결정 알고리즘에서는 수신기에서 채널 추정을 한 후, 공간적 채널 상관행렬의 재구성을 하지 않고, 직접 추정된 채널 정보로부터 수신기의 오차 성능에 직접적인 영향을 미치는 수신 신호 대 잡음비를 구하여 사용함으로써 수신 성능을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

이중 시공간 송신 다이버시티(DSTTD) 부호에 의하여 부호화된 데이터 스트림들을 소정 서플링 패턴에 따라 서플링하여 전송하는 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 서플링 패턴을 결정하는 방법에 있어서,

복수의 전송 안테나들로부터 복수의 수신 안테나들로의 채널 특성을 추정하는 과정과,

상기 추정된 채널 특성을 이용하여 수신 신호대 잡음비를 최대화하는 최적 서플링 패턴을 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 상기 방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서, 상기 최적 서플링 패턴을 결정하는 과정은,

가능한 모든 서플링 패턴들 각각에 대하여 최소 수신 신호대 잡음비를 구하고, 상기 가능한 모든 서플링 패턴들 중 상기 최소 수신 신호대 잡음비가 최대인 서플링 패턴을 상기 최적 서플링 패턴으로서 선택하는 것을 특징으로 하는 상기 방법.

청구항 3.

제 2 항에 있어서, 상기 최적 서플링 패턴을 결정하는 과정은,

하기의 수학식을 최대로 하는 서플링 패턴 W_{\min} 을 상기 최적 서플링 패턴으로서 선택하는 것을 특징으로 하는 상기 방법.

$$W_{\min} = \arg \max_W [\lambda_{\min}(W^H H^H W)]$$

여기서 λ_{\min} 은 가장 작은 고유치를 구하는 함수이고, W는 가능한 모든 서플링 패턴들을 나타내는 전치 행렬이고, H는 채널 특성을 나타내는 채널 특성 행렬임.

청구항 4.

이중 시공간 송신 다이버시티(DSTTD) 부호에 의하여 부호화된 데이터 스트림들을 소정 서플링 패턴에 따라 서플링하여 전송하는 이중 시공간 송신 다이버시티 시스템에서 서플링 패턴을 결정하는 장치에 있어서,

복수의 전송 안테나들로부터 복수의 수신 안테나들로의 채널 특성을 추정하는 채널 추정기와,

상기 추정된 채널 특성을 이용하여 수신 신호대 잡음비를 최대화하는 최적 서플링 패턴을 결정하는 서플링 패턴 결정기와,

상기 복수의 전송 안테나들로부터 상기 복수의 수신 안테나들로 수신된 신호들을 각각 복호하고 상기 결정된 최적 서플링 패턴에 따라 역-서플링하여 출력하는 복수의 복호기들과,

상기 복호기들로부터 출력되는 신호들을 이용하여 데이터 심볼들을 검출하는 검출기를 포함하는 것을 특징으로 하는 상기 장치.

청구항 5.

제 4 항에 있어서, 상기 서플링 패턴 결정기는,

가능한 모든 서플링 패턴들 각각에 대하여 최소 수신 신호대 잡음비를 구하고, 상기 가능한 모든 서플링 패턴들 중 상기 최소 수신 신호대 잡음비가 최대인 서플링 패턴을 상기 최적 서플링 패턴으로서 선택하는 것을 특징으로 하는 상기 장치.

청구항 6.

제 5 항에 있어서, 상기 서플링 패턴 결정기는,

하기의 수학식을 최대로 하는 서플링 패턴 W_{\min} 을 상기 최적 서플링 패턴으로서 선택하는 것을 특징으로 하는 상기 장치.

$$W_{\min} = \arg \max_W [\lambda_{\min}(W^H H^H W)]$$

여기서 λ_{\min} 은 가장 작은 고유치를 구하는 함수이고, W는 가능한 모든 서플링 패턴들을 나타내는 전치 행렬이고, H는 채널 특성을 나타내는 채널 특성 행렬임.

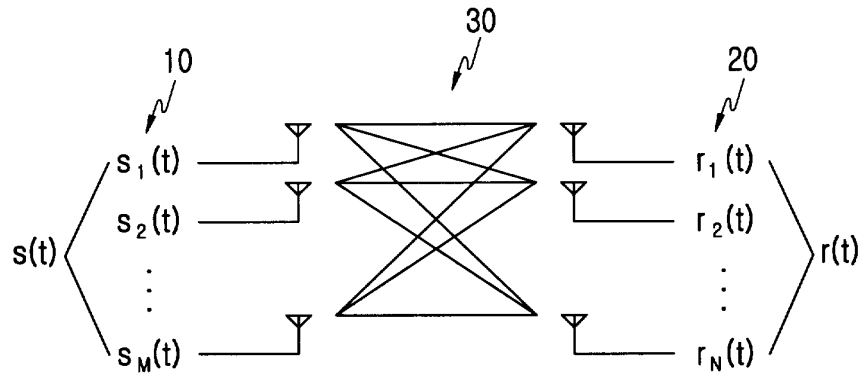
청구항 7.

제 4 항에 있어서, 상기 서플링 패턴 결정기는,

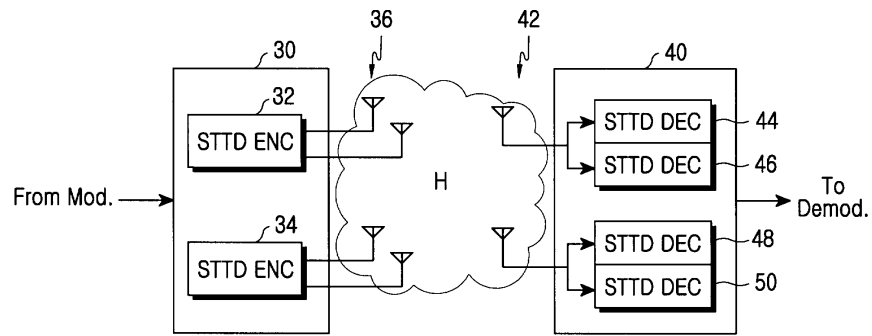
상기 최적 서플링 패턴에 대한 정보를 송신단으로 피드백하는 것을 특징으로 하는 상기 장치.

도면

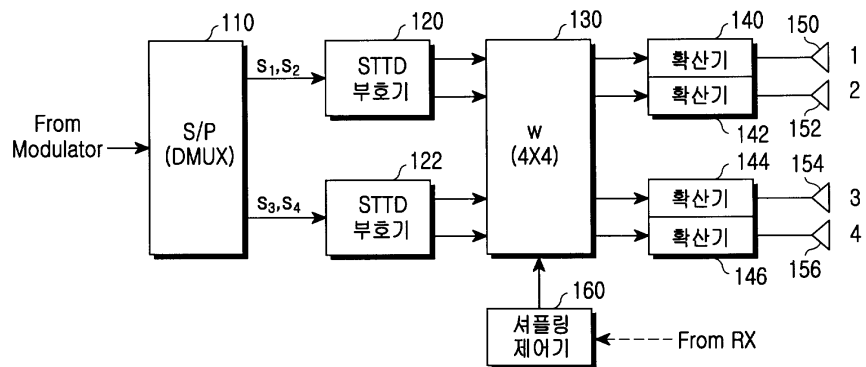
도면1



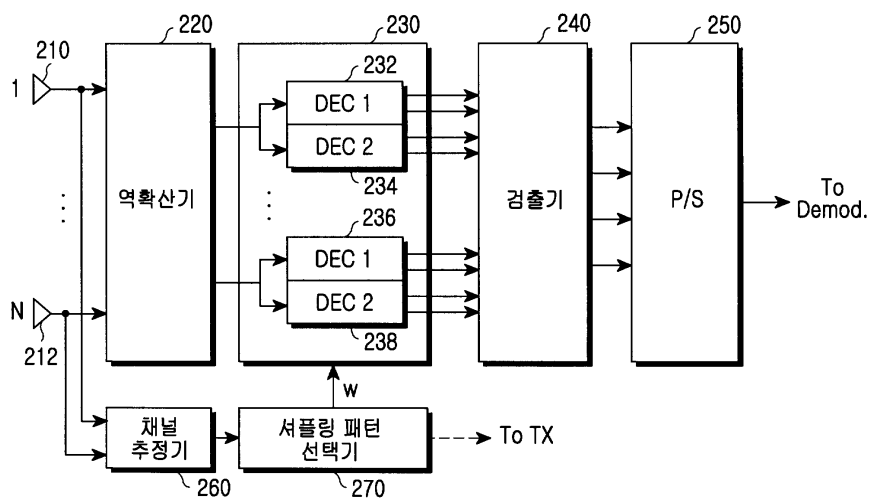
도면2



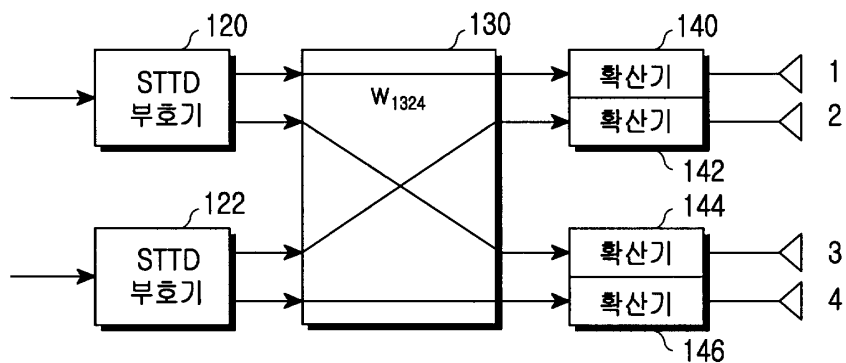
도면3



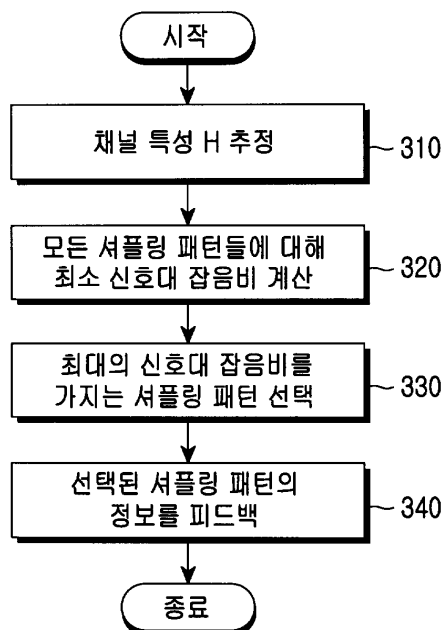
도면4



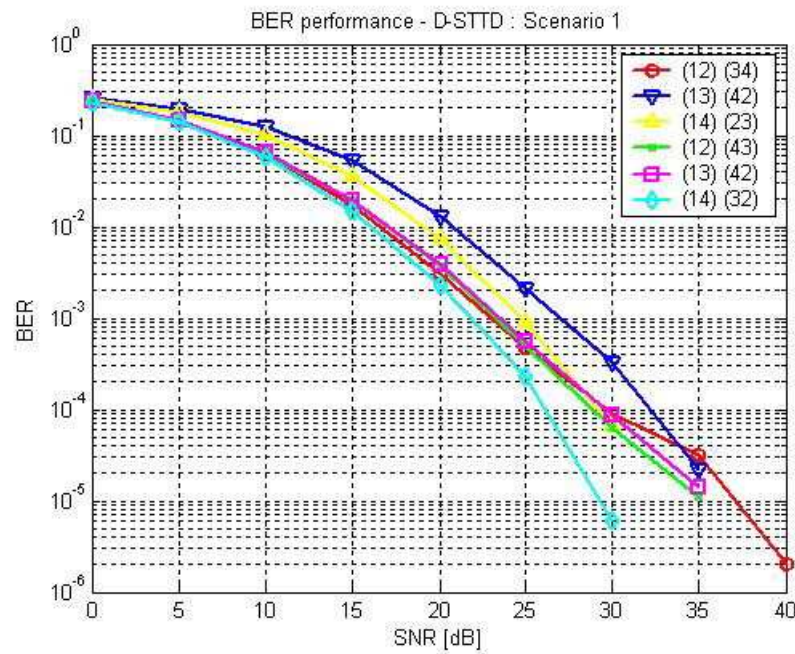
도면5



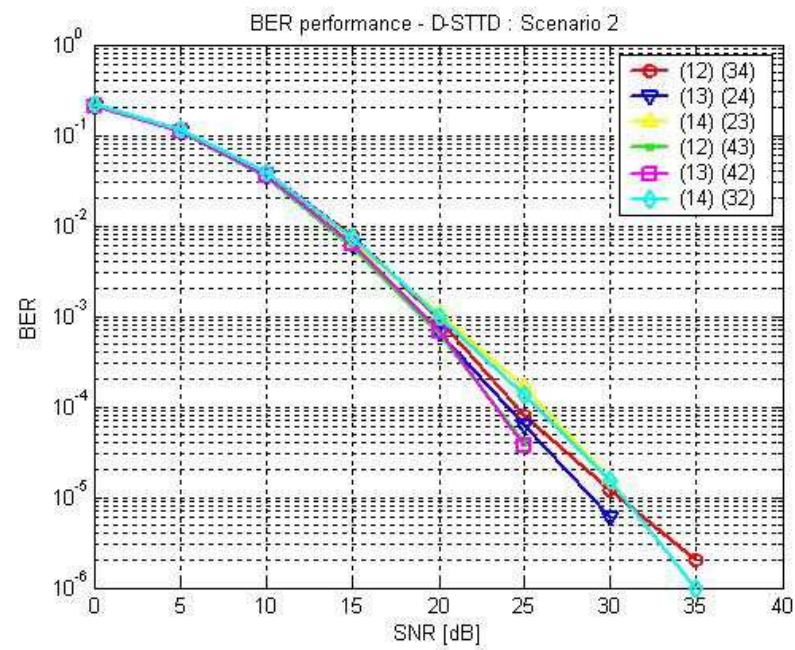
도면6



도면7



도면8



도면9

