

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. H04B 7/02 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2006년09월27일 10-0630108 2006년09월22일
--------------------------------------	-------------------------------------	--

(21) 출원번호	10-2003-0021364	(65) 공개번호	10-2004-0032730
(22) 출원일자	2003년04월04일	(43) 공개일자	2004년04월17일

(30) 우선권주장 60/417,466 2002년10월10일 미국(US)

(73) 특허권자 삼성전자주식회사
 경기도 수원시 영통구 매탄동 416

(72) 발명자 황찬수
 경기도용인시기흥읍상갈리금화마을주공아파트303동1704호

 타로크바히드
 미합중국02478마이에미주벨먼트시킹스트리트16번지

 남승훈
 서울특별시양천구신정1동목동아파트1022-504

 정재학
 서울특별시서초구서초동무지개아파트1동403호

 김영수
 경기도성남시분당구미금동(까치마을)1단지대우아파트109-2401

(74) 대리인 이진주

심사관 : 김광식

(54) 공간-시간 블럭부호를 사용하여 송신 안테나 다이버시티를지원하는 송수신 장치

요약

본 발명은 무선통신 시스템에서 공간-시간 블럭부호를 사용하여 송신 안테나 다이버시티를 지원하는 송신기와 수신기를 개시한다. 송신기는 송신 부호화 행렬의 적어도 2개의 열들이 서로간에 직교하고 다이버시티 이득이 최대화되도록, 입력 되는 심볼들에 반전 및 공액을 적용한 후 각각 1회씩 위상 회전시켜 전송한다. 수신기는 수신되는 신호들과 다중 송신 안테나로부터의 채널 이득들을 가지고 가능한 모든 심볼들에 대해 ML 복호화를 위한 메트릭 값을 최소화하는 심볼들을 검출한다. 또한 수신기는 송신기에 의해 전송된 변조심볼들의 특징에 따라 가능한 모든 심볼들 중 후보 심볼들을 선택하고, 상기 선택된 후보 심볼들에 대해 메트릭 값을 최소화하는 심볼들을 검출한다. 이러한 본 발명은 부호화와 복호화가 간단한 공간-시간 블럭부호를 사용하여 전송율의 손실없이 복소 심볼들을 전송하면서 최대의 다이버시티 이득을 얻는다.

대표도

도 3

색인어

TRANSMISSION ANTENNA DIVERSITY, SPACE-TIME BLOCK CODE, MAXIMUM LIKELIHOOD DECODER

명세서

도면의 간단한 설명

- 도 1은 종래 기술에 따른 공간-시간 블럭부호를 사용하는 송신기의 구성을 나타낸 블럭도.
- 도 2는 종래 기술에 따라 상기 도 1의 송신기로부터 송신된 신호를 수신하는 수신기의 구성을 나타낸 블럭도.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 4개의 송신 안테나들을 통해 심볼들을 전송하는 송신기의 구성을 나타낸 블럭도.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 3개의 송신 안테나들을 통해 심볼들을 전송하는 송신기의 구성을 나타낸 블럭도.
- 도 5는 본 발명에 따른 복호화의 제1 실시예를 위한 수신기의 구성을 나타낸 블럭도.
- 도 6은 PSK를 위한 성상도들을 나타낸 도면.
- 도 7은 QAM을 위한 성상도들을 나타낸 도면.
- 도 8은 본 발명에 따른 복호화의 제2 실시예를 수행하기 위한 동작을 나타낸 흐름도.
- 도 9는 본 발명에 따른 복호화의 제2 실시예를 수행하기 위한 수신기의 하드웨어 구성을 나타낸 블럭도.
- 도 10은 본 발명에 따른 부-최적 복호화를 설명하기 위한 도면.
- 도 11은 본 발명에 따른 복호화의 제3 실시예를 수행하기 위한 동작을 나타낸 흐름도.
- 도 12 내지 도 14는 각각 BPSK, QPSK, 8PSK에서 본 발명에 따른 복호화의 제1 실시예를 사용하는 경우, 2개 내지 4개의 송신 안테나들로부터 1개의 수신 안테나로의 수신 신호대 잡음비에 대한 심볼 에러율들을 비교한 도면.
- 도 15는 4개의 송신 안테나들과 8PSK를 사용하는 경우, 본 발명에 따른 복호화의 제3 실시예와 제1 실시예를 수신 신호대 잡음비에 대한 심볼 에러율의 관점에서 비교한 도면.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 무선통신 시스템에 관한 것으로서, 특히 페이딩(Fading)에 의한 열화(Degradation)에 대응하기 위해 송신 안테나 다이버시티를 사용하는 송수신 장치에 관한 것이다.

무선통신 시스템에서 페이딩을 완화시키기 위한 효과적인 기술 중의 하나는 송신 다이버시티(transmit diversity)이다. 수신기의 채널 특성이 송신기에게 알려져 있다고 할 때 송신 다이버시티를 위한 알려진 기술들로는, Winters에 의해 제안된 교환 다이버시티(switched diversity)와, (J. H. Winters, "Switched diversity with feedback for DPSK mobile radio system", IEEE Trans. V도. Technol., vol. 32, pp. 134-150, Feb. 1983) Raleigh 등에 의해 제안된 다중변형 변조/부호화(multivariate modulation/coding)가 있다. (G. G. Raleigh and V. K. Jones, "Multivariate modulation and coding for wireless communication", IEEE J. Select. Areas. Commun., vol. 17, pp. 851-866, May 1999)

그런데 실제로는 채널의 이동성과 변화 때문에 송신기에서 수신기의 채널 특성을 정확히 안다는 것은 불가능할 뿐 아니라, 채널의 상태정보를 송신기로 피드백하는 것은 채널의 용량 저하를 일으키므로 바람직하지 않다. 따라서 송신단에서 채널을 알지 못하는 경우의 송신 다이버시티에 대한 연구가 이루어져 왔다. 이러한 것들 중 첫 번째 방식은 Wittneben에 의해 제안된 것이며, (A. Wittneben, "Base station modulation diversity for digital SIMULCAST", in proc. IEEE'VTC, May 1993, pp. 505-511) 이외에도 Foschini 등은 다중 안테나를 위한 계층적 공간-시간 구조(layered space time architecture)를 제안하였으며, (G. J. Foschini, Jr., "Layered space-time architecture for wireless communications in a fading environment when using multi-element antennas", Bell Labs Tech.J., pp. 41-59, Autumn 1996) Telatar는 가우시안 잡음(Gaussian noise)이 있는 경우 다중 안테나의 용량을 밝혔으며, (E. Telatar, "Capacity of multi-antenna Gaussian channels", AT&T-Bell Laboratories, Internal Tech. Memo., June 1995) Foschini 등은 다중 안테나 채널의 정전용량(outage capacity) 정적인 채널에 대해 구했다. (G. J. Foschini, Jr. and M. J. Gans, "On limits of wireless communication in a fading environment when using multiple antennas", Wireless Personal Commun., vol. 6, pp 311-335, 1998)

최근에 공간-시간 부호화(space time coding) 높은 전송량을 필요로 하는 경우 좋은 성능 때문에 더 많은 관심을 받고 있다. Tarokh 등은 부호화 이득과 다이버시티 이득을 동시에 얻을 수 있는 공간-블록 격자 부호(space time trellis code)를 개시하였다. (V. Tarokh, N. Seshadri, R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communications: performance criterion and code construction", IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 44, pp. 744-765, Mar. 1998) (V. Tarokh, A. Naguib, N. Seshadri, A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communications: performance criteria in the presence of channel estimation errors, mobility, and multiple paths", IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 47, pp. 199-207, Feb. 1999) 특히 Tarokh의 두 번째 논문에서 제시된 공간-블록 격자 부호는 성상도의 크기(constellation size)와 데이터 전송속도(data rate), 다이버시티 이득, 격자의 복잡도 측면에서 가장 좋은 교환(trade off) 기술들을 나열하고 있다.

하지만 상기에서 나열한 기술들은 송신 안테나의 개수가 고정되었을 때 전송속도(transmission rate)에 지수적으로 비례해서 복잡도가 증가하며, 이 때문에 송신 안테나의 개수가 늘어나거나 대역폭 효율(band width efficiency)이 높아지는 경우 활용이 바람직하지 않다.

이러한 문제를 해결하기 위한 공간-시간 블록부호가 Alamouti와 Tarokh에 의하여 개시되었다. (S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", IEEE J. Select Areas Commun., vol. 16, pp. 1451-1458, Oct. 1998) (V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs", IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 45, pp. 1456-1467, July 1999) 이러한 공간-시간 블록부호는 다중 송신 안테나로부터 송신되는 신호에 시/공간적인 연관(correlation)을 생성하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있을 뿐 아니라, 부호화되지 않은 시스템(uncoded system)에 비해 부호화 이득을 얻을 수 있다. 이러한 공간-시간 블록부호는 송/수신 방식이 간단한 장점이 있지만 송신 행렬의 각 열이 직교해야 한다는 조건 때문에 3개 이상의 안테나들을 통해 복소 심볼들을 보내는 경우, 전송율의 손실 없이 모든 가능한 다이버시티 이득을 얻는 것이 불가능했다.

도 1은 종래 기술에 따른 공간-시간 블록부호를 사용하는 송신기의 구성을 나타낸 블록도로서, 도시한 바와 같이 직/병렬 변환기(Serial to Parallel Converter: S/P Converter)(10)와 부호화기(Encoder)(20) 및 N개의 송신 안테나들(30-1, 30-2, ... 30-N)로 구성되어 있다.

상기 도 1을 참조하면, 상기 직/병렬 변환기(10)는 소정 정보 소스(도시하지 않음)로부터 입력되는 심볼들을 N개씩 묶어 한 블록의 심볼들을 구성하여 상기 부호화기(20)로 제공한다. 상기 부호화기(20)는 상기 N개의 심볼들을 가지고 소정 개수의 조합들을 구성하여 해당하는 시간구간들 동안 상기 N개의 송신 안테나들(30-1, 30-2 ... 30-N)로 전달한다.

도 2는 종래 기술에 따라 상기 도 1의 송신기로부터 송신된 신호를 수신하는 수신기의 구성을 나타낸 블록도로서, 도시한 바와 같이 M개의 수신 안테나들(40-1, 40-2, ... 40-M)과 채널 추정기(Channel Estimator)(50)와 다중채널 심볼 배열기(Multiple Channel Symbol Arranger)(60)와 복호기(Decoder)(70)로 구성된다.

상기 도 2를 참조하면, 상기 채널 추정기(50)는 송신 안테나들(30-1 내지 30-N)로부터 수신 안테나들(40-1 내지 40-M)로의 채널 이득들을 나타내는 채널 계수들(channel coefficients)을 추정하며, 상기 다중채널 심볼 배열기(60)는 상기 수신 안테나들(40-1 내지 40-M)에 의해 수신된 심볼들을 수집하여 상기 복호기(70)로 제공한다. 상기 복호기(70)는 상기 수신 심볼들에 상기 채널 계수들을 곱하여 구한 추정(hypotheses) 심볼들을 가지고 가능한 모든 심볼들에 대한 결정 통계량(decision statistic)을 계산한 뒤 임계값 검출(threshold detection)에 의해 원하는 심볼들을 검출한다.

상기의 도 1 및 도 2와 같이 구성되는 통신 시스템에서 수신 신호는 하기의 <수학식 1>과 같이 표현된다.

$$r_{t,j} = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N a_{i,j} c_{i,t} + n_{t,j}$$

여기서 t는 매 시간구간(즉 프레임)을 구별하는 시간슬롯 인덱스이고, j는 수신 안테나를 구별하는 인덱스이고, i는 송신 안테나를 구별하는 인덱스이고, k는 매 시간구간 내에서의 시간 인덱스이다. 그러면 $r_{t,j}$ 는 t번째 프레임에서 j번째 수신 안테나로 수신된 신호를 나타내며, $c_{i,t}$ 는 i번째 송신 안테나를 통해 t번째 시간에 송신된 심볼을 나타내며, $a_{i,j}$ 는 i번째 송신 안테나와 j번째 수신 안테나 사이의 채널 이득이고, $n_{t,j}$ 는 t번째 프레임에서 j번째 수신 안테나로 수신된 잡음이다.

송신 신호들이 서로 독립적인 레일레이 페이딩(rayleigh fading)을 겪는다고 할 때 상기 $a_{i,j}$ 는 평균이 0이고 분산이 차원(dimension)당 0.5인 독립적인 복소 가우시안으로 모델링될 수 있으며, 잡음 $n_{t,j}$ 는 평균이 0이고 분산이 차원당 $N_0/2$ 인 독립적인 복소 가우시안으로 모델링된다. 여기서 N_0 은 잡음 스펙트럼 밀도를 나타낸다.

상기와 같이 구성되는 통신 시스템에서 최적의 공간-시간 블럭부호는 오류 행렬들의 최소 부호화 이득을 최대화하도록 정해져야 한다. 여기서 오류 행렬이란 수신기에서 잘못 검출된 심볼들과 원래 송신된 심볼들간의 차이를 행렬 형태로 배열한 것이며 최소 부호화 이득은 오류 행렬의 모든 고유값들(eigen values)의 곱을 의미한다.

일 예로서 송신 안테나들의 개수가 2개이고 수신 안테나들의 개수가 M개라고 할 때, 송신기는 전송하고자 하는 b개의 비트들을 2^b 개의 복소 심볼들 중 하나에 매핑시키는 신호 성상도(signal constellation)를 이용하여 입력 비트들에 매핑되는 심볼들을 생성하고, 생성된 심볼들을 2개씩 묶어 한 블럭을 구성하며, 상기 2개의 심볼들을 가지고 2개의 조합들을 구성하여 2개의 시간구간들 동안 2개의 송신 안테나들로 전달한다. 그러면 상기 전송되는 심볼들은 하기의 <수학식 2>와 같은 2×2 의 부호화 행렬로 나타낼 수 있다.

$$S = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 \\ -s_2^* & s_1 \end{pmatrix}$$

여기서 *는 공액(conjugate)을 나타내고, s_1, s_2 는 전송하고자 하는 2개의 심볼들을 나타낸다.

보다 구체적으로 설명하면 첫 번째 시간구간에서 첫 번째 안테나를 통해 s_1 , 두 번째 안테나를 통해 s_2 가 송신되며, 두 번째 시간구간에서는 첫 번째 안테나를 통해 $-s_2^*$, 두 번째 안테나를 통해 s_1^* 이 송신된다. 즉, 상기 <수학식 2>에 나타난 부호화 행렬의 행(column)은 동일한 시간구간 동안에 송신되는 심볼들을 나타내며, 열(row)은 동일한 송신 안테나를 통해 송신되는 심볼들을 나타낸다. 이와 같이 부호화 행렬을 사용하는 방식은 Alamouti scheme라 알려져 있으며, 이는 공간-시간 블럭부호의 한 종류이다.

공간-시간 블럭부호의 복호화로는 ML(Maximum Likelihood) 복호화가 이용되며, 이는 가능한 모든 종류의 심볼 쌍들(s_1 과 s_2) 하기의 <수학식 3>과 같이 나타내어지는 결정 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍을 선택함으로써 이루어진다.

$$\sum_{m=1}^M (|r_{1,m} - a_{1,m}s_1 - a_{2,m}s_2|^2 + |a_{1,m}s_2^* - a_{2,m}s_1^*|^2)$$

상기 <수학식 3>은 하기의 <수학식 4>와 같이 다시 배열될 수 있다.

$$-\sum_{m=1}^M [r_{1,m}a_{1,m}^*s_1^* + r_{1,m}^*a_{1,m}s_1 + r_{2,m}a_{2,m}^*s_1^* + r_{2,m}^*a_{2,m}s_1] + |s_1|^2 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^2 |a_{n,m}|^2,$$

$$- \sum_{m=1}^M [r_{1,m} a_{2,m}^* s_2^* + r_{1,m}^* a_{2,m} s_2 - r_{2,m} a_{1,m}^* s_2 - r_{2,m}^* a_{1,m} s_2] + |s_2|^2 \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^2 |a_{n,m}|^2$$

상기 <수학식 4>에서 첫 번째 메트릭은 s_1 에만 관계된 것이며, 두 번째 메트릭은 s_2 에만 관계된 것이다. 상기 <수학식 3>을 최소화하는 것은 상기 두 메트릭들을 각각 최소화하는 것과 동일하다. 이는 상기 <수학식 4>의 두 메트릭들이 서로 독립적이기 때문이다. 이와 같은 특성을 이용하면 복호기를 상기 첫 번째 메트릭을 최소화하여 s_1 을 구하는 부분과 상기 두 번째 메트릭을 최소화하여 s_2 를 구하는 부분으로 분리하여 구현함으로써 복호기 설계를 간단히 할 수 있다.

또한 상기 메트릭들 중 심볼에 관계없는 부분을 제거하면 ML 복호화는 하기의 <수학식 5>와 같은 복호화 메트릭들을 최소화하는 것과 동일하다.

수학식 5

$$\left| \left[\sum_{m=1}^M (r_{1,m} a_{1,m}^* + r_{2,m}^* a_{2,m}) \right] - s_1 \right|^2 + \left(-1 + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^2 |a_{n,m}|^2 \right) |s_1|^2,$$

$$\left| \left[\sum_{m=1}^M (r_{1,m} a_{2,m}^* + r_{2,m}^* a_{1,m}) \right] - s_2 \right|^2 + \left(-1 + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^2 |a_{n,m}|^2 \right) |s_2|^2$$

이상과 같이 공간-시간 블럭부호는 간단한 부호화/복호화를 통해 구현이 가능하고 2M배(M은 수신 안테나들의 수)의 다이버시티 이득을 얻을 수 있음은 이미 증명된 바와 같으며, 이러한 장점으로 인해 WCDMA(Wide-band Code Division Multiple Access), IS(International Standard)-136 등과 같은 여러 가지 표준에서 사용되고 있다.

상기한 공간-시간 블럭부호의 장점들을 얻기 위해서는 송신 부호화 행렬의 열들이 항상 직교해야 한다. 이상에서 설명한 공간-시간 블럭부호 기술은 2개의 송신 안테나들을 통해 복소 심볼들(complex symbols)을 전송하더라도 전송율(rate)을 손실하지 않고 송신 안테나들의 개수와 동일한, 즉 최대의 다이버시티 차수(diversity order)를 얻는다. 이를 확장하면 2개 이상의 송신 안테나들을 사용하면서 상호간에 직교적인 열들을 가지는 행렬 형태의 공간-시간 블럭부호를 사용하여 최대 다이버시티 차수를 얻을 수 있다. 2개 이상의 송신 안테나들에 적용 가능한 송신 부호화 행렬들의 예는 하기의 <수학식 6>에 나타내었다.

수학식 6

$$\begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 \\ -s_2^* & s_1^* & 0 \\ s_3^* & 0 & -s_1^* \\ 0 & s_3^* & -s_2^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & 0 \\ -s_2^* & s_1^* & 0 & s_3 \\ s_3^* & 0 & -s_1^* & s_2 \\ 0 & s_3^* & -s_2^* & -s_1 \end{pmatrix}$$

이상과 같은 송신 부호화 행렬들을 사용하는 Tarokh 등에 의해 제안된 기술은 2개 이상의 송신 안테나들이 사용되는 경우 전송율이 0.75 또는 0.5의 비율로 줄어드는 문제가 있었기 때문에 고속의 데이터 전송이 필요한 실제 통신에 적용되기 어렵다는 문제점이 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서 상기한 바와 같이 동작되는 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 창안된 본 발명은 3개 이상의 송신 안테나들을 사용하는 통신 시스템에서 최대의 전송율과 최대의 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 송신 다이버시티 장치를 제공한다.

본 발명은 3개 이상의 송신 안테나들을 사용하는 통신 시스템에서 간단한 부호화와 복호화 구조를 가지면서 최대의 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 송신 다이버시티 장치를 제공한다.

본 발명은 3개 이상의 송신 안테나들을 사용하여 복소 심볼들을 전송하는 통신 시스템에서 최대의 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 송신 다이버시티 장치를 제공한다.

본 발명의 바람직한 실시예에 따른 송신기는,

송신 부호화 행렬의 적어도 2개의 열들이 서로간에 직교하고 다이버시티 이득이 최대화되도록, 입력되는 심볼들에 반전 및 공액을 적용한 후 각각 1회씩 위상 회전시켜 전송하는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 바람직한 실시예에 따른 수신기는,

수신되는 신호들과 다중 송신 안테나로부터의 채널 이득들을 가지고 가능한 모든 심볼들에 대해 ML(Maximum Likelihood) 복호화를 위한 메트릭 값을 최소화하는 심볼들을 검출하는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 다른 바람직한 실시예에 따른 수신기는,

송신기에 의해 전송된 변조심볼들의 특징에 따라 가능한 모든 심볼들 중 후보 심볼들을 선택하고, 상기 선택된 후보 심볼들에 대해 메트릭 값을 최소화하는 심볼들을 검출하는 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 발명에서는 3개 이상의 안테나들을 위한 공간-시간 블럭부호를 사용하는 통신 시스템에서 송신 부호화 행렬의 적어도 2개 이상의 열들이 서로 직교하도록 하며, 더불어 최대의 다이버시티 이득을 얻기 위한 간단한 부호화 및 복호화 구조를 제공한다.

<<송신: 부호화>>

송신기는 입력되는 소정 개수의 심볼들을 가지고 소정 개수의 심볼 조합들을 구성한 후 상기 구성된 심볼 조합들을 각각의 행으로 가지는 행렬을 구성한다. 여기서 송신기는 전송하고자 하는 심볼들을 생성하는데 사용된 변조방식 및 안테나들의 개수에 따라 상기 행렬을 구성하여, 시간 t에는 t번째 행의 심볼들을, 안테나 n으로는 n번째 열의 심볼들을 송신한다.

상기 변조방식으로는 BPSK(Binary Phase Shift Keying), QPSK(Quadrature PSK), 8PSK(8-ary PSK), 16QAM(16-ary Quadrature Amplitude Modulation), 64QAM(64-ary QAM)이 있으며 안테나들로는 3개 또는 4개가 사용된다.

상기 심볼 조합들은 두 개 이상의 열들이 서로간에 직교하도록 전송하고자 하는 심볼들(s)과 상기 심볼들의 반전들(-s) 및 상기 심볼들의 공액들(s*)로 구성된다. 예를 들어 더 자세히 설명하면, 4개의 송신 안테나들을 사용하는 경우 송신기는 4개의 심볼들을 가지고 4x4의 행렬을 구성하여 4개의 시간구간들 동안 전송한다. 상기 4x4의 행렬은 각각 아래의 <수학식 7>과 같은 4개의 2x2 행렬들로 나타내어진다.

수학식 7

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

이러한 2x2 행렬들은 모두 Alamouti scheme로 이루어져야 하는데, 이를 만족하는 4x4 행렬의 종류는 모두 24개이며, 그 일부를 다음의 <수학식 8>에 나타내었다.

수학식 8

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & -s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & -s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & -s_4 \\ s_2 & -s_1 & -s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & s_2 \\ s_4 & -s_3 & s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & -s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & s_2 & -s_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3 & -s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1 & s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & -s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3 & -s_4 \\ s_2 & -s_1 & -s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1 & s_2 \\ s_4 & -s_3 & s_2 & -s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & -s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 4개의 입력 심볼들이다.

상기와 같이 배열된 심볼들 중 일부는 송신 안테나들로 전송되기 이전에 소정 위상값만큼 회전된다. 상기 위상값은 다이버시티 이득을 최대화할 수 있도록 오류 행렬들(error matrices)의 최소 부호화 이득(minimum coding gain)에 따라 결정된다. 여기서 오류 행렬이란 수신기에서 잘못 검출된 심볼들과 원래 송신된 심볼들간의 차이를 행렬 형태로 배열한 것이며 최소 부호화 이득은 오류 행렬의 모든 고유값들(eigen values)의 곱을 의미한다.

위상 회전은 3개 또는 4개의 모든 입력 심볼들에 대하여 각각 한번씩 적용되며, 각각의 Alamouti 2x2 행렬들의 열들이 서로간에 여전히 직교하도록 적용되어야 한다. 이러한 성질을 만족하는 위상 회전 방식은 16종류가 있으며, 상기 <수학식 8>에 언급한 첫 번째 행렬에 대해 가능한 모든 위상 회전된 행렬들을 나타내면 하기의 <수학식 9>와 같다.

수학식 9

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & vs_3 & vs_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -vs_2 & vs_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & vs_4 & -vs_3 \\ s_3 & s_4 & -vs_1 & -vs_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & vs_3 & vs_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -vs_2 & vs_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & vs_4 & -vs_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -vs_2 & vs_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} vs_1 & vs_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ vs_3 & vs_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} vs_1 & vs_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ vs_4 & -vs_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ vs_2 & -vs_1 & s_4 & -s_3 \\ vs_3 & vs_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ vs_2 & -vs_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ vs_4 & -vs_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} vs_1 & vs_2 & vs_3 & vs_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} vs_1 & vs_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & vs_4 & -vs_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & vs_3 & vs_4 \\ vs_2 & -vs_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ vs_2 & -vs_1 & vs_4 & -vs_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ vs_3 & vs_4 & -vs_1 & -vs_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -vs_1 & -vs_2 \\ vs_4 & -vs_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ vs_3 & vs_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -vs_2 & vs_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ vs_4 & -vs_3 & -vs_2 & vs_1 \end{bmatrix}$$

상기에 나타낸 바와 같이 4개의 입력 심볼들 s_1, s_2, s_3, s_4 각각은 특정 시간구간에서 한번씩 미리 정해진 위상 값 v 만큼 위상 회전되었다. 이상과 같이 위상 회전된 행렬들은 송신 부호화 행렬들이라 칭하기로 하면, 본 발명에 따라 생성될 수 있는 4x4 송신 부호화 행렬들의 총 개수는 24*16개, 즉 384개임을 알 수 있다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라 상기 <수학식 9>의 첫 번째 줄에 나타난 송신 부호화 행렬들 중 어느 하나를 4개의 송신 안테나들을 통해 전송하는 송신기의 구성을 나타낸 블록도로서, 도시한 바와 같이 직/병렬 변환기(110)와 부호화기(120)와 위상 회전기들(130a,130b)과 4개의 송신 안테나들(140a,140b, 140c, 140d)로 구성된다.

상기 도 3을 참조하면, 상기 직/병렬 변환기(110)는 입력되는 4개의 심볼들 s_1, s_2, s_3, s_4 를 하나의 블록으로 묶어 상기 부호화기(120)로 제공한다. 상기 부호화기(120)는 상기 한 블록의 심볼들을 가지고 상기 <수학식 8>의 첫 번째 행렬을 구성하여 출력한다. 구체적으로 상기 부호화기(120)는 각각 4개의 심볼들을 포함하는 4개의 조합들을 생성하고, 상기 조합들을 4개의 시간구간들 동안 각각 출력한다. 여기서 상기 4개의 조합들은 상기 행렬의 4개의 행들에 대응하며, 입력되는 복수의 심볼들은 각 안테나와 각 시간구간에서 한번씩 전송된다.

상기 위상 회전기들(130a,130b)은 상기 부호화기(120)로부터 출력되는 4열의 심볼들 중 2열의 심볼들을 선택적으로 v 만큼 위상 회전시킨다. 구체적으로 상기 <수학식 9>의 첫 번째 송신 부호화 행렬이 사용되는 경우, 상기 위상 회전기들(130a,130b)은 첫 번째 시간구간과 세 번째 시간구간에서 입력 심볼을 v 만큼 회전시키고, 나머지 시간구간들에서는 입력 심볼을 바이패스한다. 상기 부호화기(120)로부터 출력되거나 위상 회전기들(130a,130b)들을 통과한 심볼들은 상기 송신 안테나들(140a 내지 140d)을 통해 수신기로 전송된다.

상기 부호화기(120)와 상기 위상 회전기들(130a,130b)은 송신 부호화 행렬 생성기로서 언급된다. 여기에서는 단지 2개의 위상 회전기들(130a,130b)을 포함하는 송신 부호화 행렬 생성기의 구성을 도시하였으나, 다른 송신 부호화 행렬이 사용되는 경우 그 이상의 위상 회전기들이 해당하는 송신 안테나들과 상기 부호화기(120) 사이에 연결될 수 있다.

3개의 송신 안테나를 위한 4×3 송신 부호화 행렬들은 앞서 설명한 4×4 송신 부호화 행렬들을 이용하여 생성된다. 즉, 4×4 송신 부호화 행렬에 대하여 임의로 2개의 열들을 선택하고 상기 선택된 열들의 원소들을 선형 결합(linear combination)한 원소들로 구성된 새로운 열을 상기 2개의 선택된 열들 대신에 삽입하면 4×3 송신 부호화 행렬이 된다. 4개의 열들 중 2개를 선택하는 방법은 4C_2 로 6가지가 존재하므로, 상기 <수학식 8>에 언급한 첫 번째 송신 부호화 행렬을 가지고 만들어진 4×3 송신 부호화 행렬들을 나타내면 하기의 <수학식 10>와 같다.

수학식 10

$$\begin{bmatrix} (s_1 + s_2)/\sqrt{2} & s_3^* & s_4^* \\ (s_2 - s_1^*)/\sqrt{2} & s_4 & -s_3 \\ (s_3 + s_4)/\sqrt{2} & -s_1^* & -s_2^* \\ (s_4 - s_3^*)/\sqrt{2} & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & (s_2 + s_3^*)/\sqrt{2} & s_4^* \\ s_2^* & (-s_1^* + s_4)/\sqrt{2} & -s_3 \\ s_3 & (s_4 - s_1^*)/\sqrt{2} & -s_2^* \\ s_4^* & (-s_3 - s_2)/\sqrt{2} & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & (s_3^* + s_4^*)/\sqrt{2} \\ s_2^* & -s_1^* & (s_4 - s_3)/\sqrt{2} \\ s_3 & s_4 & (-s_1^* - s_2^*)/\sqrt{2} \\ s_4^* & -s_3^* & (s_1 - s_2)/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} (s_1 + s_3^*)/\sqrt{2} & s_2 & s_4^* \\ (s_2 - s_4)/\sqrt{2} & -s_1^* & -s_3 \\ (s_3 - s_1^*)/\sqrt{2} & s_4 & -s_2^* \\ (s_4^* - s_2)/\sqrt{2} & -s_3^* & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & (s_2 + s_4^*)/\sqrt{2} & s_3^* \\ s_2^* & (-s_1^* - s_3)/\sqrt{2} & s_4 \\ s_3 & (s_4 - s_2^*)/\sqrt{2} & -s_1^* \\ s_4^* & (-s_3^* + s_1)/\sqrt{2} & s_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_2 & s_3 & (s_1 + s_4^*)/\sqrt{2} \\ -s_1^* & s_4 & (s_2^* - s_3)/\sqrt{2} \\ s_4 & -s_1^* & (s_3 - s_2^*)/\sqrt{2} \\ -s_3^* & -s_2 & (s_4^* + s_1)/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

마찬가지로 상기 <수학식 10>의 행렬에는 상기 <수학식 9>에 나타난 방식들에 따라 위상 회전이 적용되며, 따라서 본 발명에 따른 4×3 송신 부호화 행렬들의 총 개수는 1728개이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 3개의 송신 안테나들을 통해 심볼들을 전송하는 송신기의 구성을 나타낸 블록도로서, 도시한 바와 같이 직/병렬 변환기(210)와 부호화기(220)와 위상 회전기들(230a,130b)과 열 치환기(240)와 3개의 송신 안테나들(250a,250b,250c)로 구성되며, 여기에서는 상기 <수학식 9>의 첫 번째 송신 부호화 행렬을 가지고 생성한 4×3 송신 부호화 행렬이 사용되는 경우의 구성을 도시하였다.

상기 도 4를 참조하면, 상기 직/병렬 변환기(210)는 입력되는 4개의 심볼들 s_1, s_2, s_3, s_4 를 하나의 블럭으로 묶어 상기 부호화기(230)로 제공한다. 상기 부호화기(230)는 상기 한 블럭의 심볼들을 가지고 상기 <수학식 8>의 첫 번째 행렬을 구성하여 출력한다. 구체적으로 상기 부호화기(230)는 각각 4개의 심볼들을 포함하는 4개의 조합들을 생성하고, 상기 조합들을 4개의 시간구간들 동안 각각 출력한다. 여기서 상기 4개의 조합들은 상기 행렬의 4개의 행들에 대응하며, 입력되는 복수의 심볼들은 각 안테나와 각 시간구간에서 한번씩 전송된다.

상기 위상 회전기들(230a, 230b)은 상기 부호화기(230)로부터 출력되는 4열의 심볼들 중 2열의 심볼들을 선택적으로 v 만큼 위상 회전시킨다. 상기 위상 회전기들(230a, 230b)은 첫 번째 시간구간과 세 번째 시간구간에서 입력 심볼을 v 만큼 회전시키고, 나머지 시간구간들에서는 입력 심볼을 바이패스한다.

상기 열 치환기(240)는 매 시간구간마다 상기 부호화기(230)로부터 출력되는 2번째 열의 심볼들과 상기 위상 회전기(230a)로부터 출력되는 심볼들을 선형 결합하여 송신 안테나(250b)로 출력한다. 상기 부호화기(230) 또는 상기 열 치환기(240) 또는 상기 위상 회전기(230b)를 통과한 심볼들은 상기 송신 안테나들(250a 내지 250c)을 통해 수신기로 전송된다.

마찬가지로 상기 부호화기(220)와 상기 위상 회전기들(230a, 230b) 및 상기 열 치환기(240)는 송신 부호화 행렬 생성기로서 언급된다. 여기에서는 단지 2개의 위상 회전기들(230a, 230b)과, 두 번째 및 세 번째 열 출력을 결합하는 열 치환기(240)를 포함하는 송신 부호화 행렬 생성기의 구성을 도시하였으나, 다른 송신 부호화 행렬이 사용되는 경우 그 이상의 위상 회전기들과 열 치환기(240)의 다른 연결이 사용될 수 있다.

이하 변조방식에 따라 3개 또는 4개의 안테나들을 위한 송신 부호화 행렬들의 바람직한 예들을 다음과 같이 개시한다.

먼저 BPSK 심볼들을 3개와 4개의 안테나들을 통해 전송하기 위해 사용되는 송신 부호화 행렬들 U_1 과 U_2 의 예는 하기의 <수학식 11>과 같다.

수학식 11

$$U_1 = \begin{pmatrix} s_1 & \frac{s_2 + js_3}{\sqrt{2}} & s_4 \\ -s_2^* & \frac{s_1 - js_4^*}{\sqrt{2}} & s_3^* \\ -s_4^* & \frac{-s_3^* + js_2^*}{\sqrt{2}} & s_1^* \\ s_3 & \frac{-s_4 - js_1}{\sqrt{2}} & s_2 \end{pmatrix}$$

$$U_2 = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & js_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -js_4^* & s_3^* \\ -s_4^* & -s_3^* & js_2^* & s_1^* \\ s_3 & -s_4 & -js_1 & s_2 \end{pmatrix}$$

QPSK 심볼들을 3개와 4개의 안테나들을 통해 전송하기 위해 사용되는 송신 부호화 행렬들 U_3 과 U_4 의 예는 하기의 <수학식 12>과 같다.

수학식 12

$$U_3 = \begin{pmatrix} s_1 & \frac{s_2 + s_3}{\sqrt{2}} & s_4 \\ -s_2^* & \frac{s_1 - vs_4^*}{\sqrt{2}} & vs_3^* \\ -s_4^* & \frac{-s_3^* + s_2^*}{\sqrt{2}} & s_1^* \\ s_3 & \frac{-s_4 - vs_1}{\sqrt{2}} & vs_2 \end{pmatrix}$$

$$U_4 = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -v s_4^* & v s_3^* \\ -s_4^* & -s_3^* & s_2^* & s_1^* \\ s_3 & -s_4 & -v s_1 & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 v는 예를 들어 $e^{-j2\pi/3}$ 로 정해진다.

8PSK 심볼들을 3개와 4개의 안테나들을 통해 전송하기 위해 사용되는 송신 부호화 행렬들 U_5 와 U_6 의 예는 하기의 <수학식 13>과 같다.

수학식 13

$$U_5 = \begin{pmatrix} s_1 & \frac{s_2 + s_3}{\sqrt{2}} & s_4 \\ -s_2^* & \frac{s_1^* - v s_4^*}{\sqrt{2}} & v s_3^* \\ -s_4^* & \frac{-s_3^* + s_2^*}{\sqrt{2}} & s_1^* \\ s_3 & \frac{-s_4 - v s_1}{\sqrt{2}} & v s_2 \end{pmatrix}$$

$$U_6 = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -v s_4^* & v s_3^* \\ -s_4^* & -s_3^* & s_2^* & s_1^* \\ s_3 & -s_4 & -v s_1 & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 v는 예를 들어 $e^{-j5\pi/6}$ 로 정해진다.

16QAM 심볼들을 3개와 4개의 안테나들을 통해 전송하기 위해 사용되는 송신 부호화 행렬들 U_7 과 U_8 의 예는 하기의 <수학식 14>과 같다.

수학식 14

$$U_7 = \begin{pmatrix} s_1 & \frac{s_2 + s_3}{\sqrt{2}} & s_4 \\ -s_2^* & \frac{s_1^* - v s_4^*}{\sqrt{2}} & v s_3^* \\ -s_4^* & \frac{-s_3^* + s_2^*}{\sqrt{2}} & s_1^* \\ s_3 & \frac{-s_4 - v s_1}{\sqrt{2}} & v s_2 \end{pmatrix}$$

$$U_8 = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -v s_4^* & v s_3^* \\ -s_4^* & -s_3^* & s_2^* & s_1^* \\ s_3 & -s_4 & -v s_1 & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 v는 예를 들어 $e^{-j5\pi/12}$ 로 정해진다.

64QAM 심볼들을 3개와 4개의 안테나들을 통해 전송하기 위해 사용되는 송신 부호화 행렬들 U_9 와 U_{10} 의 예는 하기의 <수학식 15>과 같다.

수학식 15

$$U_9 = \begin{pmatrix} s_1 & \frac{s_2 + s_3}{\sqrt{2}} & s_4 \\ -s_2 & \frac{s_1 - v s_4}{\sqrt{2}} & v s_3 \\ -s_4 & \frac{-s_3 + s_2}{\sqrt{2}} & s_1 \\ s_3 & \frac{-s_4 - v s_1}{\sqrt{2}} & v s_2 \end{pmatrix}$$

$$U_{10} = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2 & s_1 & -v s_4 & v s_3 \\ -s_4 & -s_3 & s_2 & s_1 \\ s_3 & -s_4 & -v s_1 & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 v는 예를 들어 $e^{-j7\pi/48}$ 로 정해진다.

이상의 송신 부호화 행렬들을 통해 송신된 심볼들을 수신기에서 복호하기 위해 본 발명에서는 ML 복호화(Maximum Likelihood Decoding)(이하 복호화의 제1 실시예라 칭함)와, 상기 ML 복호화를 보다 효율화하기 위한 초고속 복호화(Super Fast Decoding)(이하 복호화의 제2 실시예라 칭함), 부-최적 복호화(Sub-optimum Decoding)(이하 복호화의 제3 실시예라 칭함)를 각각 사용하는 세 가지의 실시예들을 개시한다.

<<복호화의 제1 실시예>>

도 5는 본 발명에 따른 복호화의 제1 실시예를 위한 수신기의 구성을 나타낸 블럭도로서, 여기서 나타낸 수신기는 독립적으로 동작하는 2개의 복호기들(340, 345)을 포함하여 구성된다.

상기 도 5를 참조하면, 채널 추정기(Channel Estimator)(320)는 복수의 송신 안테나들로부터 복수의 수신 안테나들(310)로의 채널 이득들을 나타내는 채널 계수들(channel coefficients)을 추정하며, 심볼 배열기(Symbol Arranger)(330)는 상기 수신 안테나들(310) 각각을 통해 복수의 시간구간들, 즉 4개의 시간구간들 동안 수신되는 신호들을 수집한다. 이는 상기 도 3 또는 도 4에 나타낸 송신기에 의해 한 블록의 심볼들이 4개의 시간구간들 동안 전송되었기 때문이다.

상기 심볼 배열기(330)는 상기 복수의 수신 안테나들(310)을 통해 수신되는 신호들을 모아 행렬 형태로 구성한다. 여기서 하나의 행에는 하나의 수신 안테나를 통해 수신되는 신호들을 배치하고 하나의 열에는 하나의 시간구간에 수신되는 신호들을 배치한다. 여기에서는 복수개의 수신 안테나들(310)을 사용하는 구조를 도시하였으나 아래에서는 설명의 편의를 위하여 하나의 수신 안테나에 대한 동작을 설명할 것이다.

복원하고자 하는 4개의 심볼들을 x_1, x_2, x_3, x_4 라 하면, 상기 복호기들 (340, 345) 중 첫 번째 복호기(340)는 상기 채널 이득들 및 상기 수신 신호들에 따라 x_1 과 x_3 을 검출하며 제2 복호기(345)는 마찬가지로 x_2 와 x_4 를 검출한다. 그러면 상기 복호기들(340, 345)에 의해 상기 4개의 심볼들이 동시에 검출된다.

상기 제1 복호기(340)의 동작에 대해 설명하면, 상기 제1 복호기(340)에서 심볼 발생기(Symbol Generator)(350)는 가능한 모든 심볼 쌍들을 발생하며, 위상 회전기들(Phase Rotators)(360, 362)은 상기 발생된 심볼들 중 적어도 하나를 송신기에 의해 사용된 것과 동일한 위상값 v 또는 1만큼 회전시킨다.

메트릭 계산기(Metric Calculator)(370)는 상기 추정된 채널 이득들과 상기 수신 신호들을 가지고, 위상 회전된 가능한 모든 심볼 쌍들에 대해 메트릭 값들(Metric values)을 구한다. 여기서 상기 가능한 모든 심볼 쌍들의 개수는 사용되는 변조 차수에 따라 BPSK의 경우 2*2개이고 QPSK의 경우 4*4개이고 8PSK의 경우 8*8개이고 16QAM의 경우 16*16개이고 64QAM의 경우 64*64개이므로, 상기 메트릭 계산기(370)는 상기 심볼 쌍들의 개수만큼의 메트릭 값들을 계산한다. 그러면 검출기(380)는 상기 메트릭 값들을 이용하여 최소의 메트릭 값을 가지도록 하는 x_1, x_3 을 검출한다.

이상과 같은 동작은 상기 제2 복호기(345)에서도 동일하게 이루어진다. 이와 같이 상기 제1 복호기(340)에서는 x_1 과 x_3 을 검출하고 상기 제2 복호기(345)에서는 x_2 와 x_4 를 검출하면, 병렬/직렬 변환기(Parallel to Serial Converter)(390)는 상기 검출된 심볼들을 순서대로 나열하여 복원된 심볼 조합 x_1, x_2, x_3, x_4 를 출력한다.

본 발명에 따른 복호화의 제1 실시예를 설명하기 위하여, 먼저 BPSK 변조방식과 3개의 안테나들을 사용하여 U_1 (수학식 7)을 송신하는 경우에 대한 복호화 방법을 설명한다. 이하 1개의 수신 안테나를 사용하는 경우를 예를 들어 설명할 것이지만 복수의 수신 안테나를 사용하는 경우의 동작도 이와 유사함은 물론이다. 첫 번째 송신 안테나에서 수신기로의 채널 이득을 α (alpha), 두 번째 송신 안테나에서 수신기로의 채널 이득을 β (beta), 세 번째 송신 안테나에서 수신기로의 채널 이득을 γ (gamma)라 할 때, 4개의 시간구간들 동안 수신된 신호들은 이상적으로 하기의 <수학식 16>과 같다.

수학식 16

$$r_1 = \alpha s_1 + \beta \frac{s_2 + s_3}{\sqrt{2}} + \gamma s_4 + n_1,$$

$$r_2 = -\alpha s_2^* + \beta \frac{s_1^* - js_4^*}{\sqrt{2}} + \gamma s_3^* + n_2,$$

$$r_3 = -\alpha s_4^* + \beta \frac{-s_3^* + js_2^*}{\sqrt{2}} + \gamma s_1^* + n_3,$$

$$r_4 = \alpha s_3 + \beta \frac{-s_4 - js_1}{\sqrt{2}} + \gamma s_2 + n_4$$

여기서 s_1 내지 s_4 는 송신기에서 전송한 심볼들이며 n_1 내지 n_4 는 4개의 시간구간들 각각에서의 잡음이다.

상기 <수학식 16>에 의하여, U_1 을 위한 복호화는 하기의 <수학식 17>를 최소화하는 심볼들을 구하는 것과 동일함을 알 수 있다.

수학식 17

$$\left| r_1 - \left(\alpha x_1 + \beta \frac{x_2 + x_3}{\sqrt{2}} + \gamma x_4 \right) \right|^{2+} \left| r_2 - \left(-\alpha x_2^* + \beta \frac{x_1^* - jx_4^*}{\sqrt{2}} + \gamma x_3^* \right) \right|^2 + \left| r_3 - \left(-\alpha x_4^* + \beta \frac{-x_3^* + jx_2^*}{\sqrt{2}} + \gamma x_1^* \right) \right|^{2+} \left| r_4 - \left(\alpha x_3 + \beta \frac{-x_4 - jx_1}{\sqrt{2}} + \gamma x_2 \right) \right|^2,$$

여기서 x_1 내지 x_4 는 검출하고자 하는 심볼들이다. 상기 <수학식 12>은 x_1 과 x_3 에 관련된 첫 번째 메트릭 계산식과, x_2 와 x_4 에 관련된 두 번째 메트릭 계산식으로 재배열될 수 있다. 도 5에 나타난 수신기는 이러한 점을 이용하여 x_1 과 x_3 의 쌍을 복호화하는 제1 복호기(340)와 x_2 와 x_4 의 쌍을 복호화하는 제2 복호기(345)의 두 부분으로 분리(de-couple)하여 구성한 것이다.

상기에서 설명한 동작을 U_1 내지 U_{10} 에 대해 자세히 설명하면 다음과 같다.

먼저, 송신 안테나가 3개인 경우 U_1 의 ML 복호화를 위해 수신기는 하기의 <수학식 18>와 같은 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산한다.

수학식 18

$$R_1 = \alpha^* r_1 + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* + \gamma r_3^* + j\beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4$$

$$R_3 = \gamma r_2^* - j\beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 + \alpha r_4 - \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^*$$

$$R_{13} = \frac{j(C_1 + C_3)}{2}$$

$$C_1 = -\alpha^* \beta \sqrt{2} - \alpha \beta^* \sqrt{2}$$

$$C_3 = j\gamma \beta \sqrt{2} - j\gamma \beta^* \sqrt{2}$$

그러면 U_1 을 위한 첫 번째 복호기(340)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 19>에 나타낸 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_1, x_3 을 검출한다.

수학식 19

$$|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1 x_3|^2$$

또한 수신기는 하기의 <수학식 20>와 같은 파라미터들 R_2, R_4, R_{24} 를 계산한다.

수학식 20

$$R_2 = \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 - \alpha r_2^* + j\beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^* + \gamma r_4$$

$$R_4 = \gamma r_1 - j\beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* - \alpha r_3^* - \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_4$$

$$R_{24} = \frac{j(C_2 + C_4)}{2}$$

$$C_2 = \alpha \beta^* \sqrt{2} + \alpha^* \beta \sqrt{2}$$

$$C_4 = j\gamma \beta^* \sqrt{2} - j\gamma \beta \sqrt{2}$$

마찬가지로 U_1 을 위한 두 번째 복호기(345)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 21>에 나타낸 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_2, x_4 를 검출한다.

수학식 21

$$|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2 x_4|^2$$

다음으로, 송신 안테나가 3개인 경우 U_3 또는 U_5 의 ML 복호화를 위해 수신기는 하기의 <수학식 22>와 같은 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산한다.

수학식 22

$$R_1 = \alpha r_1 + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* + \gamma r_3^* - \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_4$$

$$R_3 = \nu \gamma r_2^* + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 + \alpha r_4 - \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^*$$

$$R_{13} = -\frac{(C_1 + C_3)}{2}$$

$$C_1 = -\alpha^* \beta \nu \sqrt{2} + \alpha \beta^* \sqrt{2}$$

$$C_3 = \gamma \beta^* v \sqrt{2} - \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

여기서 v 는 앞서 언급한 V 의 위상 천이 값으로서 예를 들어 U_3 의 경우 $e^{(-j2\pi/3)}$ 이고 U_5 의 경우 $e^{(-j5\pi/6)}$ 이다. 그러면 U_3 또는 U_5 를 위한 첫 번째 복호기(340)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 23>에 나타난 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_1, x_3 을 검출한다.

수학식 23

$$|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1^* x_3|^2$$

또한 수신기는 하기의 <수학식 24>와 같은 파라미터들 R_2, R_4, R_{24} 를 계산한다.

수학식 24

$$R_2 = \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 - \alpha r_2^* + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^* + v^* \gamma^* r_4$$

$$R_4 = \gamma^* r_1 - v \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4$$

$$R_{24} = -\frac{(C_2 + C_4)}{2}$$

$$C_2 = -\alpha \beta^* \sqrt{2} + v \alpha^* \beta \sqrt{2}$$

$$C_4 = -v \gamma \beta^* \sqrt{2} + \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

마찬가지로 U_3 또는 U_5 를 위한 두 번째 복호기(345)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 25>에 나타난 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_2, x_4 를 검출한다.

수학식 25

$$|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2$$

또한, 수신기는 U_7 또는 U_9 의 ML 복호화를 위해 하기의 <수학식 26>와 같은 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산한다.

수학식 26

$$R_1 = \frac{\left(\alpha^* r_1 + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* + \gamma r_3^* - v^* \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4 \right)}{K_3}$$

$$R_3 = \frac{\left(v \gamma r_2^* + \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 + \alpha^* r_4 - \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^* \right)}{K_3}$$

$$R_{13} = -\frac{(C_1 + C_3)}{2K_3}$$

$$K_3 = |\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2$$

$$C_1 = -\alpha^* \beta v \sqrt{2} + \alpha \beta^* \sqrt{2}$$

$$C_3 = \gamma \beta^* v \sqrt{2} - \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

여기서 v 는 예를 들어 U_7 의 경우 $e^{(-j5\pi/12)}$ 이고 U_9 의 경우 $e^{(-j7\pi/48)}$ 이다. 그러면 U_7 또는 U_9 를 위한 첫 번째 복호기(340)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 27>에 나타낸 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_1, x_3 을 검출한다.

수학식 27

$$|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1^* x_3|^2 - |x_1|^2 |x_3|^2$$

또한 수신기는 하기의 <수학식 28>와 같은 파라미터들 R_2, R_4, R_{24} 를 계산한다.

수학식 28

$$R_2 = \frac{\left(\beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 - \alpha r_2^* + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^* + v^* \gamma^* r_4 \right)}{K_3}$$

$$R_4 = \frac{\left(\gamma^* r_1 - v \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4 \right)}{K_3}$$

$$R_{24} = -\frac{(C_2 + C_4)}{2K_3}$$

$$C_2 = -\alpha \beta^* \sqrt{2} + v \alpha^* \beta \sqrt{2}$$

$$C_4 = -v \gamma \beta^* \sqrt{2} + \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

마찬가지로 U_7 또는 U_9 를 위한 두 번째 복호기(345)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 29>에 나타낸 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_2, x_4 를 검출한다.

수학식 29

$$|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2 - |x_2|^2 |x_4|^2$$

4개의 송신 안테나를 사용하는 경우의 본 발명에 따른 복호화의 제1 실시예를 설명하기 위하여, 첫 번째 송신 안테나에서 수신기로의 채널 이득을 α , 두 번째 송신 안테나에서 수신기로의 채널 이득을 β , 세 번째 송신 안테나에서 수신기로의 채널 이득을 γ , 네 번째 송신 안테나로부터 수신기로의 채널 이득을 ζ (zeta)라 한다.

송신 안테나가 4개인 경우 U_2 의 ML 복호화를 위해 수신기는 하기의 <수학식 30>와 같은 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산한다.

수학식 30

$$R_1 = \alpha^* r_1 + \beta r_2^* + \zeta r_3^* + j \gamma^* r_4$$

$$R_3 = \zeta^* r_2 - j \gamma r_1 + \alpha^* r_4 - \beta r_3^*$$

$$R_{13} = -(C_1 + C_3)$$

$$C_1 = j \alpha^* \gamma + j \alpha \gamma^*$$

$$C_3 = \zeta^* \beta - \zeta \beta^*$$

U_2 를 위한 첫 번째 복호기(340)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 31>에 나타낸 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_1, x_3 을 검출한다.

수학식 31

$$|R_1-x_1|^2+|R_3-x_3|^2+|R_{13}-x_1x_3|^2$$

또한 수신기는 하기의 <수학식 32>와 같은 파라미터들 R_2, R_4, R_{24} 를 계산한다.

수학식 32

$$R_2=\beta^* r_1 - \alpha r_2^* + j\gamma r_3^* + \zeta^* r_4$$

$$R_4=\zeta^* r_1 - j\gamma r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* r_4$$

$$R_{24}=-(C_2+C_4)$$

$$C_2=\zeta\beta^* - \zeta^*\beta$$

$$C_4=-j\alpha\gamma^* - j\gamma\alpha^*$$

마찬가지로 U_2 를 위한 두 번째 복호기(345)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 33>에 나타낸 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_2, x_4 를 검출한다.

수학식 33

$$|R_2-x_2|^2+|R_4-x_4|^2+|R_{24}-x_2x_4|^2$$

다음으로, 송신 안테나가 4개인 경우 U_4 또는 U_6 의 ML 복호화를 위해 수신기는 하기의 <수학식 34>와 같은 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산한다.

수학식 34

$$R_1=\alpha^* r_1 + \beta r_2^* + \zeta r_3^* - v^* \gamma^* r_4$$

$$R_3=v\zeta r_2^* + \gamma^* r_1 + \alpha^* r_4 - \beta r_3^*$$

$$R_{13}=-(C_1+C_3)$$

$$C_1=-\alpha^* \gamma v + \alpha\gamma^*$$

$$C_3=\zeta\beta^* v - \zeta^*\beta$$

여기서 v 는 예를 들어 U_4 의 경우 $e^{(-j2\pi/3)}$ 이고 U_5 의 경우 $e^{(-j5\pi/6)}$ 이다. 그러면 U_4 또는 U_5 를 위한 첫 번째 복호기(340)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 35>에 나타낸 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_1, x_3 을 검출한다.

수학식 35

$$|R_1-x_1|^2+|R_3-x_3|^2+|R_{13}-x_1x_3|^2$$

또한 수신기는 하기의 <수학식 36>와 같은 파라미터들 R_2, R_4, R_{24} 를 계산한다.

수학식 36

$$R_2=\beta^* r_1 - \alpha r_2^* + \gamma r_3^* + v^* \zeta^* r_4$$

$$R_4=\zeta^* r_1 - v\gamma r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* r_4$$

$$R_{24}=-(C_2+C_4)$$

$$C_2 = -\alpha \gamma^* + v \alpha^* \gamma$$

$$C_4 = -v \zeta \beta^* + \zeta^* \beta$$

마찬가지로 U_4 또는 U_6 을 위한 두 번째 복호기(345)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 37>에 나타난 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_2, x_4 를 검출한다.

수학식 37

$$|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2$$

또한, U_8 또는 U_{10} 의 ML 복호화를 위해 수신기는 하기의 <수학식 38>와 같은 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산한다.

수학식 38

$$R_1 = \frac{(\alpha^* r_1 + \beta r_2^* + \zeta r_3^* - v^* \gamma^* r_4)}{K_4}$$

$$R_3 = \frac{(v \zeta r_2^* + \gamma^* r_1 + \alpha^* r_4 - \beta r_3^*)}{K_4}$$

$$R_{13} = -\frac{(C_1 + C_3)}{K_4}$$

$$K_4 = |\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2$$

$$C_1 = -\alpha^* \gamma v + \alpha \gamma^*$$

$$C_3 = \zeta \beta^* v - \zeta^* \beta$$

여기서 v 는 예를 들어 U_8 의 경우 $e^{(j5\pi/12)}$ 이고 U_{10} 의 경우 $e^{(j7\pi/48)}$ 이다. 그러면 U_8 또는 U_{10} 을 위한 첫 번째 복호기(340)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 39>에 나타난 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_1, x_3 을 검출한다.

수학식 39

$$|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1^* x_3|^2 - |x_1|^2 |x_3|^2$$

또한 수신기는 하기의 <수학식 40>와 같은 파라미터들 R_2, R_4, R_{24} 를 계산한다.

수학식 40

$$R_2 = \frac{(\beta^* r_1 - \omega r_2^* + \gamma r_3^* + v^* \zeta^* r_4)}{K_4}$$

$$R_4 = \frac{(\zeta^* r_1 - v \gamma r_2^* - \omega r_3^* - \beta^* r_4)}{K_4}$$

$$R_{24} = -\frac{(C_2 + C_4)}{K_4}$$

$$C_2 = -\alpha \gamma^* + v \alpha^* \gamma$$

$$C_4 = -v \zeta \beta^* + \zeta^* \beta$$

마찬가지로 U_8 또는 U_{10} 을 위한 두 번째 복호기(345)는 가능한 모든 심볼 쌍들 중 하기의 <수학식 41>에 나타난 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍 x_2, x_4 를 검출한다.

수학식 41

$$|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2 - |x_2|^2 |x_4|^2$$

<복호화의 제2 실시예>

이상에서 설명한 복호화의 제1 실시예는 원하는 심볼들을 검출하기 위해 가능한 모든 심볼 쌍들에 대하여 메트릭 값들을 계산하여야 한다. 이를 위해서는 8PSK의 경우 8*8회의 메트릭 계산이 필요하고, 16QAM의 경우 16*16회의 메트릭 계산이 필요하다. 하기에서 설명할 PSK 방식과 QAM 방식의 특징을 이용하면 메트릭 계산의 회수를 줄여 보다 신속한 복호화가 가능하게 된다.

도 6은 PSK를 위한 정상도들을 나타낸 것으로서, (a)는 BPSK 정상도를, (b)은 QPSK 정상도를, (c)은 8PSK 정상도를 각각 나타내었다. 도시한 바와 같이 PSK의 경우에는 모든 심볼들이 단위 원(unit circle) 상에 위치하는데, 이는 모든 심볼들의 크기가 항상 1임을 의미한다.

일 예를 들어 8PSK 심볼들을 4개의 송신 안테나들을 통해 전송하는 경우(즉 U_6)에 대해 설명하면, x_1 과 x_3 의 크기는 1이기 때문에 앞서 언급한 <수학식 35>의 메트릭을 최소화하는 것은 하기의 <수학식 42>을 최소화하는 것과 동일하다.

수학식 42

$$|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |x_1 R_{13} - x_3|^2$$

이때 특정 x_1 에 대하여 상기 <수학식 42>을 최소화하는 것은 하기의 <수학식 43>를 최소화하는 것과 동일하다.

수학식 43

$$|(R_3 + x_1 R_{13}) - x_3|^2$$

x_1 은 특정한 값을 사용하기 때문에 상기 <수학식 43>를 최소화하는 것은 $R_3 + x_1 R_{13}$ 에 가장 근접한 x_3 을 찾는 것과 동일하다. 그러면 가능한 모든 x_1 에 대하여 대응하는 하나의 x_3 을 찾는 것이 가능하게 되므로, 수신기는 이 쌍들 중 제1 실시예에 나타난 ML 복호화를 위한 메트릭을 최소로 하는 쌍을 수신하고자 하는 심볼들로서 검출한다. x_2 와 x_4 를 검출하고자 하는 경우, 마찬가지로 수신기는 가능한 모든 x_2 에 대하여 $R_4 + x_2 R_{24}$ 에 가장 근접하는 x_4 의 쌍들을 찾고, 이 쌍들 중 ML 복호화를 위한 메트릭을 최소로 하는 심볼 쌍을 검출한다. 또한 이는 PSK를 사용하는 다른 송신 부호화 행렬의 수신시에도 동일하게 적용된다.

이는 다른 두 개의 심볼들 x_2, x_4 및 PSK를 사용하는 다른 송신 부호화 행렬의 수신시에도 동일하게 적용된다.

마찬가지로 QAM을 위한 복호화를 설명하면, 도 7의 (a)와 (b)에 나타난 바와 같이 16QAM과 64QAM의 경우에는 모든 심볼들의 크기가 동일하지 않다. QAM 방식에서 사용하는 메트릭은 앞서 언급한 <수학식 39>에 나타난 바와 같다. 상기 메트릭에서 x_1 을 고정하면, 가능한 모든 x_3 들에 대해 상기 <수학식 39>를 최소화하는 것은 하기의 <수학식 44>을 최소화하는 것과 동일하다.

수학식 44

$$|(R_3 + x_1 R_{13}) - x_3|^2 + |R_1 - x_1|^2$$

여기서 특정한 x_1 에 대하여 상기 <수학식 44>를 최소화하는 것은 $R_3 + x_1 R_{13}$ 에 가장 근접한 x_3 을 찾는 것과 동일하다. 수신기는 가능한 모든 x_1 에 대하여 대응하는 하나의 x_3 으로 이루어진 쌍들을 찾고, 이 쌍들 중 제1 실시예에 나타난 ML 복호

화를 위한 메트릭을 최소로 하는 쌍을 수신하고자 하는 심볼들로서 검출한다. x_2 와 x_4 를 검출하고자 하는 경우, 마찬가지로 수신기는 가능한 모든 x_2 에 대하여 $R_4+x_2R_{24}$ 에 가장 근접하는 x_4 의 쌍들을 찾고, 이 쌍들 중 ML 복호화를 위한 메트릭을 최소로 하는 심볼 쌍을 검출한다. 또한 이는 QAM을 사용하는 다른 송신 부호화 행렬의 수신시에도 동일하게 적용된다.

도 8은 본 발명에 따른 복호화의 제2 실시예를 수행하기 위한 동작을 나타낸 흐름도로서, 여기에는 단지 하나의 심볼 쌍을 검출하는 동작만을 도시하였으나 나머지 심볼 쌍을 검출하는 동작도 이와 유사하다.

상기 도 8을 참조하면, 과정(402)에서 기준값들 m_1, m_2 는 미리 정해진 매우 작은 수, 예를 들어 10^{-10} 으로 설정되고 심볼 인덱스 i 는 0으로 설정된다. 과정(404)에서 수신기는 복수의 시간구간들 동안에 수신된 신호들과 추정된 채널 이득들을 가지고 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산한다. 과정(406)에서 첫 번째 심볼 x_1 은 s_1 로 설정되며, 과정(408)에서 수신기는 $g(x_1)=R_3+x_1R_{13}$ 을 계산한다. 과정(410)에서 j 를 0으로 초기화한 후 과정 (412)에서 두 번째 심볼 x_3 은 s_j 로 설정되고, 과정 (414)에서 수신기는 $A(x_3)=|g(x_1)-x_3|^2$ 을 계산한다.

과정(416)에서 상기 계산된 $A(x_3)$ 가 상기 설정된 매우 작은 값 m_1 보다 작지 않으면 과정(420)으로 진행하며, 작으면 과정 (418)으로 진행하여 상기 m_1 을 상기 $A(x_3)$ 으로 갱신하고 $y(x_3)$ 를 상기 두 번째 심볼로 설정한 다음 상기 과정(420)으로 진행한다. 상기 과정(420)에서 상기 두 번째 심볼이 가능한 마지막 심볼이면, 예를 들어 16QAM의 경우 i 가 16에 도달하였으면, 첫 번째 심볼(s_1)에 대하여 대응하는 두 번째 심볼(s_j)을 검출한 것으로 판단하여 과정(424)으로 진행하고, 그렇지 않으면 과정(422)으로 진행하여 j 를 1만큼 증가시킨 후 상기 과정(412)으로 복귀한다.

상기 과정(424)에서 수신기는 $B(x_3)=|R_1-x_1|^2+|R_3-y(x_3)|^2+|R_{13}-x_1y(x_3)|^2$ 을 계산한다. 과정(426)에서 상기 계산된 $B(x_3)$ 가 상기 설정된 매우 작은 값 m_2 보다 작지 않으면 과정(430)으로 진행하며, 그렇지 않으면 과정(428)으로 진행하여 상기 m_2 를 상기 $B(x_3)$ 으로 갱신하고 $y(x_1)$ 를 상기 첫 번째 심볼로 설정한 다음 상기 과정(430)으로 진행한다. 상기 과정(430)에서 상기 첫 번째 심볼이 가능한 마지막 심볼이면, 예를 들어 16QAM의 경우 i 가 16에 도달하였으면, 모든 첫 번째 심볼들에 대하여 대응하는 두 번째 심볼들을 검출한 것으로 판단하여 과정(434)으로 진행하고, 그렇지 않으면 과정(432)으로 진행하여 i 를 1만큼 증가시킨 후 상기 과정(406)으로 복귀한다. 상기 과정(434)에서 수신기는 최종적으로 $y(x_1), y(x_3)$ 를 검출한다.

도 9는 본 발명에 따른 복호화의 제2 실시예를 수행하기 위한 수신기의 하드웨어 구성을 나타낸 블록도로서, 여기서 나타낸 수신기는 독립적으로 동작하는 2개의 복호기들(540,545)을 포함하여 구성된다.

상기 도 9를 참조하면, 채널 추정기(520)는 복수의 송신 안테나들로부터 복수의 수신 안테나들(510)로의 채널 이득들을 나타내는 채널 계수들을 추정하며, 심볼 배열기(530)는 상기 수신 안테나들(510) 각각을 통해 복수의 시간구간들, 즉 4개의 시간구간들 동안 수신되는 신호들을 수집한다. 이는 상기 도 3 또는 도 4에 나타낸 송신기에 의해 한 블록의 심볼들이 4개의 시간구간들 동안 전송되었기 때문이다.

상기 심볼 배열기(530)는 상기 복수의 수신 안테나들(510)을 통해 수신되는 신호들을 모아 행렬 형태로 구성한다. 여기서 하나의 행에는 하나의 수신 안테나를 통해 수신되는 신호들을 배치하고 하나의 열에는 하나의 시간구간에 수신되는 신호들을 배치한다. 여기에서는 복수개의 수신 안테나들(510)을 사용하는 구조를 도시하였으나 아래에서는 설명의 편의를 위하여 하나의 수신 안테나에 대한 동작을 설명할 것이다.

송신기로부터 전송된 4개의 심볼들 x_1, x_2, x_3, x_4 를 복원하고자 하는 경우, 상기 복호기들(540,445) 중 첫 번째 복호기 부분 (540)은 상기 채널 이득들 및 상기 수신 신호들에 따라 x_1 과 x_3 을 검출하며 제2 복호기 부분(545)은 마찬가지로 방식으로 x_2 와 x_4 를 검출한다. 그러면 상기 복호기들(540,445)에 의해 상기 4개의 심볼들이 동시에 검출된다.

상기 제1 복호기(540)의 동작에 대해 설명하면, 상기 제1 복호기(340)에서 심볼 발생기(550)는 모든 가능한 심볼 쌍들을 생성하며, 위상 회전기들(552,454)은 상기 발생된 심볼들 중 적어도 하나를 송신기에 의해 사용된 것과 동일한 위상값 v 또는 1만큼 회전시킨다. 상기 가능한 모든 심볼 쌍들의 개수는 사용되는 변조차수의 제곱과 동일하며, 예를 들어 16QAM의 경우 16^2 개이다.

심볼 선택기(560)는 상기 추정된 채널 이득들과 상기 수신 신호들을 가지고 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산하고, 상기 가능한 모든 심볼 쌍들 중 상기 계산된 파라미터들에 의해 상기한 <수학식 43> 또는 <수학식 44>을 최소화하는 심볼 쌍들을 선택한다. 상기 선택되는 심볼 쌍들의 개수는 사용되는 변조차수와 동일하며, 예를 들어 16QAM의 경우 <수학식 44>에 의하여 16개의 심볼 쌍들이 선택된다.

메트릭 계산기(570)는 상기 선택된 심볼 쌍들에 대하여 상기 파라미터들을 가지고 변조방식 및 송신 안테나들의 개수에 따라 이미 언급한 메트릭 값들을 계산하고, 최소메트릭 검출기(580)는 상기 계산된 메트릭 값들을 이용하여 최소의 메트릭 값을 가지도록 하는 하나의 심볼 쌍을 검출한다. 여기서 상기 메트릭 계산은 <수학식 19> 또는 <수학식 23> 또는 <수학식 31> 또는 <수학식 35> 또는 <수학식 39>에 따른다.

이상과 같은 동작은 상기 제2 복호기(545)에서도 동일하게 이루어진다. 이와 같이 상기 제1 복호기(540)에서는 x_1 과 x_3 을 검출하고 상기 제2 복호기(545)에서는 x_2 와 x_4 를 검출하면, 병렬/직렬 변환기(590)는 상기 검출된 심볼들을 순서대로 나열하여 복원된 심볼 조합 x_1, x_2, x_3, x_4 를 출력한다.

2^b PSK 성상도를 사용할 때 복호화의 제2 실시예를 위한 계산량은 다음과 같다. R_1, R_3, R_{13} 이 계산되어 있다고 할 때, $g(x_1)$ 은 b 회의 덧셈과 2^b 회의 곱셈을 통해 계산되고, $\nu(x_3)$ 는 각 $g(x_1)$ 마다 한번씩 2^b 회의 비교 연산들을 통해 계산되며, 모든 x_1 들에 대한 $B(x_3)$ 는 $3 \cdot 2^b$ 회의 곱셈과 덧셈을 통해 계산된다. 그러므로 복호화의 제2 실시예는 총 $4 \cdot 2^b$ 회의 덧셈과 곱셈, 그리고 2^b 회의 비교 연산만으로 제1 실시예에 나타난 ML 복호화와 동일한 심볼 검출 성능을 얻는다.

<복호화의 제3 실시예>

본 발명에 따른 복호화의 제3 실시예는 QPSK 또는 8PSK에 대하여 사용 가능한 것으로서, 복호화의 제1 실시예 및 제2 실시예보다 심볼 검출 성능은 약간 떨어지지만 계산량을 훨씬 줄일 수 있다.

일 예를 들어 8PSK 심볼들을 검출하는 경우, 수신기는 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산한 후, 가능한 모든 심볼들 중 <수학식 35>의 메트릭을 참조하여 R_1 에 가장 근접한 심볼 q_1 과 R_3 에 가장 근접한 심볼 q_3 과 R_{13} 에 가장 근접한 심볼 q_{13} 을 결정하고, 만일 q_{13} 이 $q_1^* q_3$ 와 동일하다면, 상기 q_1 과 q_3 을 검출한다.

그렇지 않은 경우 수신기는 상기 q_{13} 과 상기 $q_1^* q_3$ 사이의 각도를 2로 나누어 Φ_a 를 계산하고, 상기 결정된 q_1 을 중심으로 하여 상기 Φ_a 이내의 범위에 있는 첫 번째 후보 심볼들 및 상기 결정된 q_3 을 중심으로 하여 상기 Φ_a 이내의 범위에 있는 두 번째 후보 심볼들을 대상으로 제1 실시예에 나타난 ML 복호화를 위한 메트릭을 계산하여 원하는 심볼들을 검출한다.

마찬가지로 수신기는 파라미터들 R_2, R_4, R_{24} 를 계산한 후, R_2 에 가장 근접한 심볼 q_2 와 R_4 에 가장 근접한 심볼 q_4 과 R_{24} 에 가장 근접한 심볼 q_{24} 를 결정하고, 만일 q_{24} 가 $q_2^* q_4$ 와 동일하다면, 상기 q_2 과 q_4 를 검출한다.

그렇지 않은 경우 수신기는 상기 q_{24} 와 상기 $q_2^* q_4$ 사이의 각도를 2로 나누어 $\Phi_{a'}$ 를 계산하고, 상기 결정된 q_2 를 중심으로 하여 상기 $\Phi_{a'}$ 이내의 범위에 있는 첫 번째 후보 심볼들 및 상기 결정된 q_4 를 중심으로 하여 상기 $\Phi_{a'}$ 이내의 범위에 있는 두 번째 후보 심볼들을 대상으로 ML 복호화를 위한 메트릭을 계산하여 원하는 심볼들을 검출한다.

도 10은 본 발명에 따른 부-최적 복호화를 설명하기 위한 도면으로서, 여기에는 일 예로서 8PSK의 성상도를 나타내었다. 상기 도 10의 (a)를 참조하면, R_1 에 가장 근접한 심볼 q_1 은 $e^{j(3\pi/4)}$ 이고 R_3 에 가장 근접한 심볼 q_3 은 $e^{j(-\pi/4)}$ 이고 R_{13} 에 가장 근접한 심볼 q_{13} 은 $e^{j(\pi/4)}$ 이다. $q_1^*q_3$ 는 $e^{j(\pi)}$ 가 되고 q_1 과 $q_1^*q_3$ 사이의 각을 2로 나누면 $\Phi_a=3\pi/8$ 이다. 이제 (b)를 참조하면 수신기는 q_1 에서 $3\pi/8$ 범위 이내에 있는 후보 심볼들 s_2, s_3, s_4 와 q_3 에서 $3\pi/8$ 범위 이내에 있는 후보 심볼들 s_0, s_6, s_7 로 이루어질 수 있는 가능한 모든 심볼 쌍들에 대해 제1 실시예에 나타낸 ML 복호화를 위한 메트릭을 최소화하는 심볼 쌍을 검출한다.

상기의 설명은 U_6 이외에 PSK를 사용하는 다른 송신 부호화 행렬의 수신시에도 동일하게 적용된다.

도 11은 본 발명에 따른 복호화의 제3 실시예를 수행하기 위한 동작을 나타낸 흐름도로서, 여기에는 단지 하나의 심볼 쌍을 검출하는 동작만을 도시하였으나 나머지 심볼 쌍을 검출하는 동작도 이와 유사하다.

상기 도 11을 참조하면, 수신기는 과정(602)에서 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산한 후, 과정(604)에서 가능한 모든 심볼들 중 상기 R_1 에 가장 근접한 심볼 x_1 과 상기 R_3 에 가장 근접한 심볼 x_3 과 상기 R_{13} 에 가장 근접한 심볼 x_{13} 을 결정한다. 과정(606)에서 만일 x_{13} 이 $x_1^*x_3$ 와 동일하다면, 수신기는 과정(614)으로 진행하여 상기 x_1 과 x_2 를 검출한다.

동일하지 않은 경우 수신기는 과정(608)에서 $\Phi_a = \frac{1}{2} \angle \left(\frac{x_{13}}{x_1^*x_3} \right)$ 을 계산하고, 과정(610)에서 상기 결정된 x_1 를 중심으로 하여 상기 Φ_a 이내의 범위에 있는 첫 번째 후보 심볼들 및 상기 결정된 x_3 을 중심으로 하여 상기 Φ_a 이내의 범위에 있는 두 번째 후보 심볼들을 선택한다. 과정(612)에서 수신기는 상기 선택된 첫 번째 및 두 번째 후보 심볼들로 이루어진 가능한 모든 심볼 쌍들에 대해 제1 실시예에 나타낸 ML 복호화를 위한 메트릭을 계산하여 최소의 메트릭 값을 가지는 하나의 심볼 쌍을 검출한다.

본 발명에 따른 부-최적 복호화를 수행하기 위한 수신기의 하드웨어 구성은 앞서 언급한 도 9와 동일하다. 단지 도 9의 심볼 선택기(560)는 상기 추정된 채널 이득들과 상기 수신 신호들을 가지고 파라미터들 R_1, R_3, R_{13} 을 계산하고, 상기 파라미터들에 근접한 심볼들을 결정한 후 Φ_a 를 계산하며, 상기 심볼들로부터 Φ_a 이내의 범위에 있는 후보 심볼들을 선택한다. 상기 선택된 후보 심볼들로 이루어질 수 있는 후보 심볼 쌍들의 개수는 QPSK의 경우 최대 3*3개이고, 8PSK의 경우 최대 5*5개이다.

그러면 메트릭 계산기(570)는 상기 선택된 후보 심볼들로 이루어질 수 있는 가능한 모든 심볼 쌍들에 대하여 이미 언급한 메트릭 값들을 계산하고, 최소메트릭 검출기(580)는 상기 계산된 메트릭 값들을 이용하여 최소의 메트릭 값을 가지도록 하는 하나의 심볼 쌍을 검출한다. 여기서 상기 메트릭 계산은 <수학식 19> 또는 <수학식 23> 또는 <수학식 31> 또는 <수학식 35> 또는 <수학식 39>에 따른다.

이상과 같은 동작은 상기 제2 복호기(545)에서도 동일하게 이루어진다. 이와 같이 상기 제1 복호기(540)에서는 x_1 과 x_3 을 검출하고 상기 제2 복호기(545)에서는 x_2 와 x_4 를 검출하면, 병렬/직렬 변환기(590)는 상기 검출된 심볼들을 순서대로 나열하여 복원된 심볼 조합 x_1, x_2, x_3, x_4 를 출력한다.

도 12 내지 도 14는 각각 BPSK, QPSK, 8PSK에서 본 발명에 따른 복호화의 제1 실시예를 사용하는 경우, 2개 내지 4개의 송신 안테나들로부터 1개의 수신 안테나로의 수신 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio: SNR)에 대한 심볼 에러율들(Symbol Error Rates: SERs)을 비교한 것이다.

상기 도 12에서 700은 2개의 안테나들을 사용하는 경우의 심볼 에러율이고 702는 3개의 안테나 사용하는 경우의 심볼 에러율이고 704는 4개의 안테나를 사용하는 경우의 심볼 에러율이다. 상기 도 13에서 710은 2개의 안테나들을 사용하는 경우의 심볼 에러율이고 712는 3개의 안테나 사용하는 경우의 심볼 에러율이고 714는 4개의 안테나를 사용하는 경우의 심볼 에러율이다. 상기 도 14에서 720은 2개의 안테나들을 사용하는 경우의 심볼 에러율이고 722는 3개의 안테나 사용하는 경우의 심볼 에러율이고 724는 4개의 안테나를 사용하는 경우의 심볼 에러율이다.

심볼 에러율(SER)과 신호대 잡음비(SNR)의 관계는 하기의 <수학식 45>과 같이 나타내어진다.

$$\text{수학식 45} \\ SER = C \cdot SNR^{-d}$$

여기서 C는 상수이고 d는 다이버시티 이득이다. 따라서 도 12 내지 도 14와 같은 로그 스케일의 그래프는 $\log(SER) = -d \cdot \log(C \cdot SNR)$ 형태가 된다. $\log(SNR)$ 을 x축으로 하면 $y = -dx$ 가 되어 d는 기울기가 된다. 즉, 로그 스케일로 나타낸 SER와 SNR의 관계 그래프에서 기울기는 다이버시티 이득이다. 그러므로 상기 도면들에 나타낸 바와 같이 본 발명에 따른 송신 다이버시티는 송신 안테나들의 개수만큼의, 즉 최대의 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

도 15는 4개의 송신 안테나들과 8PSK를 사용하는 경우, 본 발명에 따른 복호화의 제3 실시예와 제1 실시예를 심볼 에러율의 관점에서 비교한 것으로서, 730은 제3 실시예에 따른 부-최적 복호화를 나타낸 것이고 732는 제1 실시예에 따른 ML 복호화를 나타낸 것이다. 도시한 바와 같이 본 발명의 제3 실시예는 제1 실시예에 비교해서 약간의 성능 저하를 가지지만 여전히 최대의 다이버시티 이득을 얻을 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, 3개 이상의 송신 안테나들을 사용하는 공간-시간 블럭부호에서 최대의 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며, 전송 심볼들을 검출하는 복호기의 구조를 간단히 하여 데이터 처리 속도를 향상시키고 수신기 구조를 간단히 하여 시스템 개발비용을 절감할 수 있는 효과가 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

무선통신 시스템에서 다수의 송신 안테나들을 통해 변조 심볼들을 전송하는 송신기에 있어서,

상기 변조 심볼들을 부호화하고, 상기 변조 심볼들 중 적어도 하나의 변조 심볼에 대해 반전, 공액화(conjugating) 및 위상 회전 방식들 중 적어도 하나의 방식을 사용하여 송신 부호화 행렬을 생성하는 송신 부호화 행렬 생성기를 포함하는 상기 송신기.

청구항 2.

제 1 항에 있어서, 상기 송신 안테나들의 개수가 4개인 경우, 상기 송신 부호화 행렬 생성기는,

입력되는 4개의 심볼들과 상기 4개의 심볼들의 반전 심볼들과 상기 4개의 심볼들의 공액 심볼들을 가지고 4개의 행들과 4개의 열들을 가지는 행렬을 생성하는 부호화기와,

상기 적어도 하나의 변조 심볼을 미리 결정된 위상값만큼 위상 회전시키는 적어도 한개의 위상 회전기를 포함하는 상기 송신기.

청구항 3.

제 2 항에 있어서, 상기 부호화기에 의해 생성되는 행렬은 하기에 나타낸 행렬들 중 어느 하나임을 특징으로 하는 송신기.

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3^* & s_4^* \\ s_2^* & -s_1^* & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1^* & -s_2^* \\ s_4^* & -s_3^* & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3^* & -s_4^* \\ s_2^* & -s_1^* & s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1^* & s_2^* \\ s_4^* & -s_3^* & -s_2 & -s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3^* & -s_4^* \\ s_2^* & -s_1^* & -s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1^* & s_2^* \\ s_4^* & -s_3^* & s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3^* & s_4^* \\ s_2^* & -s_1^* & -s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1^* & -s_2^* \\ s_4^* & -s_3^* & s_2 & -s_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3^* & -s_4^* \\ s_2^* & -s_1^* & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1^* & s_2^* \\ s_4^* & -s_3^* & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3^* & s_4^* \\ s_2^* & -s_1^* & s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1^* & -s_2^* \\ s_4^* & -s_3^* & -s_2 & -s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3^* & -s_4^* \\ s_2^* & -s_1^* & -s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1^* & s_2^* \\ s_4^* & -s_3^* & s_2 & -s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3^* & s_4^* \\ s_2^* & -s_1^* & -s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1^* & -s_2^* \\ s_4^* & -s_3^* & s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들임.

청구항 4.

제 2 항에 있어서, 상기 입력되는 심볼들이 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 심볼들인 경우 상기 송신 부호화 행렬은 하기의 U_2 와 같음을 특징으로 하는 송신기.

$$U_2 = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & js_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -js_4 & s_3 \\ -s_4^* & -s_3^* & js_2 & s_1 \\ s_3 & -s_4 & -js_1 & s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들임.

청구항 5.

제 2 항에 있어서, 상기 입력되는 심볼들이 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 심볼들인 경우 상기 송신 부호화 행렬은 하기의 U_4 와 같음을 특징으로 하는 송신기.

$$U_4 = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -vs_4^* & vs_3^* \\ -s_4^* & -s_3^* & s_2 & s_1 \\ s_3 & -s_4 & -vs_1 & vs_2 \end{pmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들이고 v 는 상기 위상값임.

청구항 6.

제 5 항에 있어서, 상기 v 는 $e^{-j2\pi/3}$ 임을 특징으로 하는 송신기.

청구항 7.

제 2 항에 있어서, 상기 입력되는 심볼들이 8PSK(8-ary Phase Shift Keying) 심볼들이인 경우 상기 송신 부호화 행렬은 하기의 U_6 과 같음을 특징으로 하는 송신기.

$$U_6 = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -v s_4^* & v s_3^* \\ -s_4^* & -s_3^* & s_2^* & s_1^* \\ s_3 & -s_4 & -v s_1 & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들이고 v 는 상기 위상값임.

청구항 8.

제 7 항에 있어서, 상기 v 는 $e^{-j5\pi/6}$ 임을 특징으로 하는 송신기.

청구항 9.

제 2 항에 있어서, 상기 입력되는 심볼들이 16QAM(16-ary Quadrature Amplitude Modulation) 심볼들이인 경우 상기 송신 부호화 행렬은 하기의 U_8 과 같음을 특징으로 하는 송신기.

$$U_8 = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -v s_4^* & v s_3^* \\ -s_4^* & -s_3^* & s_2^* & s_1^* \\ s_3 & -s_4 & -v s_1 & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들이고 v 는 상기 위상값임.

청구항 10.

제 9 항에 있어서, 상기 v 는 $e^{-j5\pi/12}$ 임을 특징으로 하는 송신기.

청구항 11.

제 2 항에 있어서, 상기 입력되는 심볼들이 64QAM(64-ary Quadrature Amplitude Modulation) 심볼들이인 경우 상기 송신 부호화 행렬은 하기의 U_{10} 과 같음을 특징으로 하는 송신기.

$$U_{10} = \begin{pmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -v s_4^* & v s_3^* \\ -s_4^* & -s_3^* & s_2^* & s_1^* \\ s_3 & -s_4 & -v s_1 & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들이고 v 는 상기 위상값임.

청구항 12.

제 11 항에 있어서, 상기 v 는 $e^{-j7\pi/48}$ 임을 특징으로 하는 송신기.

청구항 13.

제 1 항에 있어서, 상기 송신 안테나들의 개수가 3개인 경우, 상기 송신 부호화 행렬 생성기는,

입력되는 4개의 심볼들과 상기 4개의 심볼들의 반전 심볼들과 상기 4개의 심볼들의 공액 심볼들을 가지고 4×4 송신 부호화 행렬을 생성하는 부호화기와,

상기 4×4 송신 부호화 행렬에서 두개의 열을 선택하여 새로운 하나의 열로 대체하도록 하는 열 치환기를 포함하는 상기 송신기.

청구항 14.

제 13 항에 있어서, 상기 부호화기에 의해 생성되는 행렬은 하기에 나타낸 행렬들 중 어느 하나임을 특징으로 하는 송신기.

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & -s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & -s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & -s_4 \\ s_2 & -s_1 & -s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & s_2 \\ s_4 & -s_3 & s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & -s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & -s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & s_2 & -s_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3 & -s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1 & s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & -s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3 & -s_4 \\ s_2 & -s_1 & -s_4 & s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1 & s_2 \\ s_4 & -s_3 & s_2 & -s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & -s_3 & s_4 \\ s_2 & -s_1 & -s_4 & -s_3 \\ s_3 & s_4 & s_1 & -s_2 \\ s_4 & -s_3 & s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들임.

청구항 15.

제 13 항에 있어서, 상기 입력되는 심볼들이 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 심볼들인 경우 상기 송신 부호화 행렬은 하기의 U_1 과 같음을 특징으로 하는 송신기.

$$U_1 = \begin{pmatrix} s_1 & \frac{s_2 + js_3}{\sqrt{2}} & s_4 \\ -s_2 & \frac{s_1 - js_4}{\sqrt{2}} & s_3 \\ -s_4 & \frac{-s_3 + js_2}{\sqrt{2}} & s_1 \\ s_3 & \frac{-s_4 - js_1}{\sqrt{2}} & s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들임.

청구항 16.

제 13 항에 있어서, 상기 입력되는 심볼들이 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 심볼들인 경우 상기 송신 부호화 행렬은 하기의 U_3 과 같음을 특징으로 하는 송신기.

$$U_3 = \begin{pmatrix} s_1 & \frac{s_2 + s_3}{\sqrt{2}} & s_4 \\ -s_2^* & \frac{s_1 - v s_4^*}{\sqrt{2}} & v s_3^* \\ -s_4^* & \frac{-s_3^* + s_2^*}{\sqrt{2}} & s_1^* \\ s_3 & \frac{-s_4 - v s_1}{\sqrt{2}} & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들이고 v 는 상기 위상값임.

청구항 17.

제 16 항에 있어서, 상기 v 는 $e^{-j2\pi/3}$ 임을 특징으로 하는 송신기.

청구항 18.

제 13 항에 있어서, 상기 입력되는 심볼들이 8PSK(8-ary Phase Shift Keying) 심볼들인 경우 상기 송신 부호화 행렬은 하기의 U_5 와 같음을 특징으로 하는 송신기.

$$U_5 = \begin{pmatrix} s_1 & \frac{s_2 + s_3}{\sqrt{2}} & s_4 \\ -s_2^* & \frac{s_1 - v s_4^*}{\sqrt{2}} & v s_3^* \\ -s_4^* & \frac{-s_3^* + s_2^*}{\sqrt{2}} & s_1^* \\ s_3 & \frac{-s_4 - v s_1}{\sqrt{2}} & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들이고 v 는 상기 위상값임.

청구항 19.

제 18 항에 있어서, 상기 v 는 $e^{-j5\pi/6}$ 임을 특징으로 하는 송신기.

청구항 20.

제 13 항에 있어서, 상기 입력되는 심볼들이 16QAM(16-ary Quadrature Amplitude Modulation) 심볼들인 경우 상기 송신 부호화 행렬은 하기의 U_7 과 같음을 특징으로 하는 송신기.

$$U_7 = \begin{pmatrix} s_1 & \frac{s_2 + s_3}{\sqrt{2}} & s_4 \\ -s_2^* & \frac{s_1 - v s_4^*}{\sqrt{2}} & v s_3^* \\ -s_4^* & \frac{-s_3^* + s_2^*}{\sqrt{2}} & s_1^* \\ s_3 & \frac{-s_4 - v s_1}{\sqrt{2}} & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들이고 v 는 상기 위상값임.

청구항 21.

제 20 항에 있어서, 상기 v 는 $e^{-j5\pi/12}$ 임을 특징으로 하는 송신기.

청구항 22.

제 13 항에 있어서, 상기 입력되는 심볼들이 64QAM(64-ary Quadrature Amplitude Modulation) 심볼들인 경우 상기 송신 부호화 행렬은 하기의 U_9 와 같음을 특징으로 하는 송신기.

$$U_9 = \begin{pmatrix} s_1 & \frac{s_2 + s_3}{\sqrt{2}} & s_4 \\ -s_2^* & \frac{s_1 - v s_4}{\sqrt{2}} & v s_3^* \\ -s_4^* & \frac{-s_3^* + s_2^*}{\sqrt{2}} & s_1^* \\ s_3 & \frac{-s_4 - v s_1}{\sqrt{2}} & v s_2 \end{pmatrix}$$

여기서 s_1, s_2, s_3, s_4 는 상기 입력되는 심볼들이고 v 는 상기 위상값임.

청구항 23.

제 22 항에 있어서, 상기 v 는 $e^{-j7\pi/48}$ 임을 특징으로 하는 송신기.

청구항 24.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

3개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들에 대해 소정의 측정 기준식의 값을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 변조 심볼들이 BPSK 심볼들로 이루어진 경우 상기 제1 및 제2 복호기들은,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학적식에 따라 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 를 계산하고,

상기 소정의 측정 기준식 $|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1^* x_3|^2$ 및 $|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2$ 를 최소화하는 심볼 쌍들 x_1, x_3 과 x_2, x_4 를 각각 검출하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \alpha^* r_1 + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* + \gamma r_3^* + j\beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4$$

$$R_3 = \gamma r_2^* - j\beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 + \alpha^* r_4 - \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^*$$

$$R_{13} = \frac{j(C_1 + C_3)}{2}$$

$$C_1 = -\alpha^* \beta \sqrt{2} - \alpha \beta^* \sqrt{2}$$

$$C_3 = j\gamma^* \beta \sqrt{2} - j\gamma \beta^* \sqrt{2}$$

$$R_2 = \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 - \alpha r_2^* + j\beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^* + \gamma^* r_4^*$$

$$R_4 = \gamma^* r_1^* - j\beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4^*$$

$$R_{24} = \frac{j(C_2 + C_4)}{2}$$

$$C_2 = \alpha \beta^* \sqrt{2} + \alpha^* \beta \sqrt{2}$$

$$C_4 = j\gamma \beta^* \sqrt{2} - j\gamma^* \beta \sqrt{2}$$

여기서 상기 α, β, γ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들임.

청구항 25.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

3개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 메트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 변조 심볼들이 QPSK 또는 8PSK 심볼들로 이루어진 경우 상기 제1 및 제2 복호기들은,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학적식에 따라 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 를 계산하고,

$|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1^* x_3|^2$ 및 $|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2$ 를 최소화하는 심볼 쌍들 x_1, x_3 과 x_2, x_4 를 각각 검출하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \alpha^* r_1 + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* + \gamma r_3^* - \nu^* \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4^*$$

$$R_3 = \nu \gamma r_2^* + \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 + \alpha^* r_4 - \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^*$$

$$R_{13} = -\frac{(C_1 + C_3)}{2}$$

$$C_1 = -\alpha^* \beta \nu \sqrt{2} + \alpha \beta^* \sqrt{2}$$

$$C_3 = \gamma \beta^* \nu \sqrt{2} - \gamma \beta \sqrt{2}$$

$$R_2 = \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 - \alpha r_2^* + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^* + \nu^* \gamma^* r_4^*$$

$$R_4 = \gamma^* r_1 - v\beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4$$

$$R_{24} = -\frac{(C_2 + C_4)}{2}$$

$$C_2 = -\alpha\beta^* \sqrt{2} + v\alpha^* \beta \sqrt{2}$$

$$C_4 = -v\gamma\beta^* \sqrt{2} + \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

여기서 상기 α, β, γ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들이고 상기 v 는 송신기에 의해 심볼들을 위상 회전시키는데 사용한 위상값임.

청구항 26.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

3개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 메트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 변조 심볼들이 16QAM 또는 64QAM 심볼들로 이루어진 경우 상기 제1 및 제2 복호기들은,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학식에 따라 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 를 계산하고,

$$|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1^* x_3|^2 - |x_1|^2 |x_3|^2 \text{ 및}$$

$|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2 - |x_2|^2 |x_4|^2$ 를 최소화하는 심볼 쌍들 x_1, x_3 과 x_2, x_4 를 각각 검출하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \frac{\left(\alpha^* r_1 + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* + \gamma r_3^* - v \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4 \right)}{K_3}$$

$$R_3 = \frac{\left(v\gamma r_2^* + \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 + \alpha^* r_4 - \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^* \right)}{K_3}$$

$$R_{13} = -\frac{(C_1 + C_3)}{2K_3}$$

$$K_3 = |\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2$$

$$C_1 = -\alpha^* \beta v \sqrt{2} + \alpha \beta^* \sqrt{2}$$

$$C_3 = \gamma \beta^* v \sqrt{2} - \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

$$R_2 = \frac{\left(\beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 - \alpha r_2^* + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^* + v \gamma^* r_4 \right)}{K_3}$$

$$R_4 = \frac{\left(\gamma^* r_1 - v\beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4 \right)}{K_3}$$

$$R_{24} = -\frac{(C_2 + C_4)}{2K_3}$$

$$C_2 = -\alpha\beta^* \sqrt{2} + v\alpha^* \beta \sqrt{2}$$

$$C_4 = -v\gamma\beta^* \sqrt{2} + \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

여기서 상기 α, β, γ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들이고 상기 v 는 송신기에 의해 심볼들을 위상 회전시키는데 사용한 위상값임.

청구항 27.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

4개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 메트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 변조 심볼들이 BPSK 심볼들로 이루어진 경우 상기 제1 및 제2 복호기들은,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학식에 따라 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 를 계산하고,

$|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1^* x_3|^2$ 및 $|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2$ 를 최소화하는 심볼 쌍들 x_1, x_3 과 x_2, x_4 를 각각 검출하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \alpha^* r_1 + \beta r_2^* + \zeta r_3^* + j\gamma^* r_4$$

$$R_3 = \zeta r_2^* - j\gamma^* r_1 + \alpha^* r_4 - \beta r_3^*$$

$$R_{13} = -(C_1 + C_3)$$

$$C_1 = j\alpha^* \gamma + j\alpha\gamma^*$$

$$C_3 = \zeta^* \beta - \zeta \beta^*$$

$$R_2 = \beta^* r_1 - \alpha r_2^* + j\gamma r_3^* + \zeta^* r_4$$

$$R_4 = \zeta^* r_1 - j\gamma r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* r_4$$

$$R_{24} = -(C_2 + C_4)$$

$$C_2 = \zeta\beta^* - \zeta^* \beta$$

$$C_4 = -j\alpha\gamma^* - j\gamma\alpha^*$$

여기서 상기 $\alpha, \beta, \gamma, \zeta$ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들임.

청구항 28.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

4개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 메트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 변조 심볼들이 QPSK 또는 8PSK 심볼들로 이루어진 경우 상기 제1 및 제2 복호기들은,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학식에 따라 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 를 계산하고,

$|R_1 - x_1|^2 + |R_3 - x_3|^2 + |R_{13} - x_1^* x_3|^2$ 및 $|R_2 - x_2|^2 + |R_4 - x_4|^2 + |R_{24} - x_2^* x_4|^2$ 를 최소화하는 심볼 쌍들 x_1, x_3 과 x_2, x_4 를 각각 검출하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \alpha^* r_1 + \beta r_2^* + \zeta r_3^* - v^* \gamma^* r_4$$

$$R_3 = v \zeta r_2^* + \gamma^* r_1 + \alpha^* r_4 - \beta r_3^*$$

$$R_{13} = -(C_1 + C_3)$$

$$C_1 = -\alpha^* \gamma v + \alpha \gamma^*$$

$$C_3 = \zeta \beta^* v - \zeta^* \beta$$

$$R_2 = \beta^* r_1 - \alpha r_2^* + \gamma r_3^* + v^* \zeta^* r_4$$

$$R_4 = \zeta^* r_1 - v \gamma r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* r_4$$

$$R_{24} = -(C_2 + C_4)$$

$$C_2 = -\alpha \gamma^* + v \alpha^* \gamma$$

$$C_4 = -v \zeta \beta^* + \zeta^* \beta$$

여기서 상기 $\alpha, \beta, \gamma, \zeta$ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들이고 상기 v 는 송신기에 의해 심볼들을 위상 회전시키는데 사용한 위상값임.

청구항 29.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

4개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 메트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 변조 심볼들이 16QAM 또는 64QAM 심볼들로 이루어진 경우 상기 제1 및 제2 복호기들은,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학식에 따라 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 를 계산하고,

$|R_1-x_1|^2+|R_3-x_3|^2+|R_{13}-x_1^*x_3|^2-|x_1|^2|x_3|^2$ 및

$|R_2-x_2|^2+|R_4-x_4|^2+|R_{24}-x_2^*x_4|^2-|x_2|^2|x_4|^2$ 를 최소화하는 심볼 쌍들 x_1, x_3 과 x_2, x_4 를 각각 검출하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \frac{(\alpha^* r_1 + \beta r_2^* + \zeta r_3^* - v^* \gamma^* r_4)}{K_4}$$

$$R_3 = \frac{(v \zeta r_2^* + \gamma^* r_1 + \alpha^* r_4 - \beta r_3^*)}{K_4}$$

$$R_{13} = -\frac{(C_1 + C_3)}{K_4}$$

$$K_4 = |\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2$$

$$C_1 = -\alpha^* \gamma v + \alpha \gamma^*$$

$$C_3 = \zeta \beta^* v - \zeta^* \beta$$

$$R_2 = \frac{(\beta^* r_1 - \alpha r_2^* + \gamma r_3^* + v^* \zeta^* r_4)}{K_4}$$

$$R_4 = \frac{(\zeta^* r_1 - v \gamma r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* r_4)}{K_4}$$

$$R_{24} = -\frac{(C_2 + C_4)}{K_4}$$

$$C_2 = -\alpha \gamma^* + v \alpha^* \gamma$$

$$C_4 = -v \zeta \beta^* + \zeta^* \beta$$

여기서 상기 $\alpha, \beta, \gamma, \zeta$ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들이고 상기 v 는 송신기에 의해 심볼들을 위상 회전시키는데 사용한 위상값임.

청구항 30.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 PSK(Phase Shift Keying)로 변조되고 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

3개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들 중 후보 심볼 쌍들을 선택하며, 상기 선택된 후보 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 매트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 제1 및 제2 복호기들은,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학식에 따라 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 를 계산하고, 가능한 모든 심볼들 x_1 과 $R_3+x_1R_{13}$ 에 가장 가까운 심볼들 x_3 및 가능한 모든 심볼들 x_2 와 $R_4+x_2R_{24}$ 에 가장 가까운 심볼들 x_4 로 각각 이루어진 심볼 쌍들을 상기 후보 심볼 쌍들로 각각 선택하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \alpha^* r_1 + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* + \gamma r_3^* - v^* \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4^*$$

$$R_3 = v\gamma r_2^* + \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 + \alpha^* r_4 - \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^*$$

$$R_{13} = -\frac{(C_1 + C_3)}{2}$$

$$C_1 = -\alpha^* \beta v \sqrt{2} + \alpha \beta^* \sqrt{2}$$

$$C_3 = \gamma \beta^* v \sqrt{2} - \gamma \beta \sqrt{2}$$

$$R_2 = \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 - \alpha r_2^* + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^* + v^* \gamma^* r_4^*$$

$$R_4 = \gamma^* r_1 - v\beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4^*$$

$$R_{24} = -\frac{(C_2 + C_4)}{2}$$

$$C_2 = -\alpha \beta^* \sqrt{2} + v \alpha^* \beta \sqrt{2}$$

$$C_4 = -v\gamma \beta^* \sqrt{2} + \gamma \beta \sqrt{2}$$

여기서 상기 α, β, γ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들이고 상기 v 는 송신기에 의해 심볼들을 위상 회전시키는데 사용한 위상값임.

청구항 31.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)으로 변조되고 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

3개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들 중 후보 심볼 쌍들을 선택하며, 상기 선택된 후보 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 메트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 제1 및 제2 복호기들은,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학식에 따라 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 를 계산하고, 가능한 모든 심볼들 x_1 과 $R_3+x_1R_{13}$ 에 가장 가까운 심볼들 x_3 및 가능한 모든 심볼들 x_2 와 $R_4+x_2R_{24}$ 에 가장 가까운 심볼들 x_4 로 각각 이루어진 심볼 쌍들을 상기 후보 심볼 쌍들로 각각 선택하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \frac{\left(\alpha^* r_1 + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2 + \gamma r_3 - v^* \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4 \right)}{K_3}$$

$$R_3 = \frac{\left(v \gamma r_2 + \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 + \alpha^* r_4 - \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3 \right)}{K_3}$$

$$R_{13} = -\frac{(C_1 + C_3)}{2K_3}$$

$$K_3 = |\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2$$

$$C_1 = -\alpha^* \beta v \sqrt{2} + \alpha \beta^* \sqrt{2}$$

$$C_3 = \gamma \beta^* v \sqrt{2} - \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

$$R_2 = \frac{\left(\beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 - \alpha r_2 + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3 + v^* \gamma^* r_4 \right)}{K_3}$$

$$R_4 = \frac{\left(\gamma^* r_1 - v \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2 - \alpha r_3 - \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4 \right)}{K_3}$$

$$R_{24} = -\frac{(C_2 + C_4)}{2K_3}$$

$$C_2 = -\alpha \beta^* \sqrt{2} + v \alpha^* \beta \sqrt{2}$$

$$C_4 = -v \gamma \beta^* \sqrt{2} + \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

여기서 상기 $\alpha, \beta, \gamma, \zeta$ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들이고 상기 v 는 송신기에 의해 심볼들을 위상 회전시키는데 사용한 위상값임.

청구항 32.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 PSK(Phase Shift Keying)로 변조되고 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

4개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들 중 후보 심볼 쌍들을 선택하며, 상기 선택된 후보 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 매트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 제1 및 제2 복호기들은,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학식에 따라 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 를 계산하고, 가능한 모든 심볼들 x_1 과 $R_3 + x_1 R_{13}$ 에 가장 가까운 심볼들 x_3 및 가능한 모든 심볼들 x_2 와 $R_4 + x_2 R_{24}$ 에 가장 가까운 심볼들 x_4 로 각각 이루어진 심볼 쌍들을 상기 후보 심볼 쌍들로 각각 선택하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \alpha^* r_1 + \beta r_2 + \zeta r_3 - v^* \gamma^* r_4$$

$$R_3 = v\zeta r_2^* + \gamma r_1^* + \alpha r_4 - \beta r_3^*$$

$$R_{13} = -(C_1 + C_3)$$

$$C_1 = -\alpha^* \gamma v + \alpha \gamma^*$$

$$C_3 = \zeta \beta^* v - \zeta^* \beta$$

$$R_2 = \beta^* r_1 - \alpha r_2^* + \gamma r_3^* + v \zeta^* r_4$$

$$R_4 = \zeta^* r_1 - v \gamma r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* r_4$$

$$R_{24} = -(C_2 + C_4)$$

$$C_2 = -\alpha \gamma^* + v \alpha^* \gamma$$

$$C_4 = -v \zeta \beta^* + \zeta^* \beta$$

여기서 상기 $\alpha, \beta, \gamma, \zeta$ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들이고 상기 v 는 송신기에 의해 심볼들을 위상 회전시키는데 사용한 위상값임.

청구항 33.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)으로 변조되고 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

4개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들 중 후보 심볼 쌍들을 선택하며, 상기 선택된 후보 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 메트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 제1 및 제2 복호기들은,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학적식에 따라 $R_1, R_3, R_{13}, R_2, R_4, R_{24}$ 를 계산하고, 가능한 모든 심볼들 x_1 과 $R_3 + x_1 R_{13}$ 에 가장 가까운 심볼들 x_3 및 가능한 모든 심볼들 x_2 와 $R_4 + x_2 R_{24}$ 에 가장 가까운 심볼들 x_4 로 각각 이루어진 심볼 쌍들을 상기 후보 심볼 쌍들로 각각 선택하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \frac{(\alpha^* r_1 + \beta r_2^* + \zeta r_3^* - v^* \gamma^* r_4)}{K_4}$$

$$R_3 = \frac{(v \zeta r_2^* + \gamma^* r_1 + \alpha^* r_4 - \beta r_3^*)}{K_4}$$

$$R_{13} = -\frac{(C_1 + C_3)}{K_4}$$

$$K_4 = |\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2$$

$$C_1 = -\alpha^* \gamma v + \alpha \gamma^*$$

$$C_3 = \zeta^* \beta^* v - \zeta^* \beta^*$$

$$R_2 = \frac{(\beta^* r_1 - \alpha^* r_2 + \gamma^* r_3 + v^* \zeta^* r_4)}{K_4}$$

$$R_4 = \frac{(\zeta^* r_1 - v^* \gamma^* r_2 - \alpha^* r_3 - \beta^* r_4)}{K_4}$$

$$R_{24} = -\frac{(C_2 + C_4)}{K_4}$$

$$C_2 = -\alpha^* \gamma^* + v^* \alpha^* \zeta^*$$

$$C_4 = -v^* \zeta^* \beta^* + \zeta^* \beta^*$$

여기서 상기 $\alpha, \beta, \gamma, \zeta$ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들이고 상기 v 는 송신기에 의해 심볼들을 위상 회전시키는데 사용한 위상값임.

청구항 34.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 PSK(Phase Shift Keying)로 변조되고 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

3개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들 중 후보 심볼 쌍들을 선택하며, 상기 선택된 후보 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 메트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 제1 복호기는,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학적식에 따라 R_1, R_3, R_{13} 을 계산하고, R_1 에 가장 가까운 심볼 x_1 과 R_3 에 가장 가까운 심볼 x_3 과 R_{13} 에 가장 가까운 심볼 x_{13} 에 대하여 $x_1^* x_3$ 이 x_{13} 과 동일하면 x_1 및 x_3 의 쌍을 검출하며, 동일하지 않으면 x_{13} 과 $x_1^* x_3$ 사이 각의 1/2인 Φ_d 를 계산하고, x_1 로부터 Φ_d 이내의 심볼들과 x_3 으로부터 Φ_d 이내의 심볼들로 이루어진 심볼 쌍들을 상기 후보 심볼 쌍들로 선택하며,

상기 제2 복호기는,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학적식에 따라 R_2, R_4, R_{24} 를 계산하고, R_2 에 가장 가까운 심볼 x_2 와 R_4 에 가장 가까운 심볼 x_4 와 R_{24} 에 가장 가까운 심볼 x_{24} 에 대하여 $x_2^* x_4$ 이 x_{24} 와 동일하면 x_2 및 x_4 의 쌍을 검출하며, 동일하지 않으면 x_{24} 와 $x_2^* x_4$ 사이 각의 1/2인 Φ_d' 를 계산하고, x_2 로부터 Φ_d' 이내의 심볼들과 x_4 로부터 Φ_d' 이내의 심볼들로 이루어진 심볼 쌍들을 상기 후보 심볼 쌍들로 선택하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \alpha^* r_1 + \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_2 + \gamma^* r_3 - v^* \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4$$

$$R_3 = v^* \gamma^* r_2 + \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 + \alpha^* r_4 - \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_3$$

$$R_{13} = -\frac{(C_1 + C_3)}{2}$$

$$C_1 = -\alpha^* \beta v \sqrt{2} + \alpha \beta^* \sqrt{2}$$

$$C_3 = \gamma \beta^* v \sqrt{2} - \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

$$R_2 = \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_1 - \alpha r_2^* + \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_3^* + v^* \gamma^* r_4$$

$$R_4 = \gamma^* r_1 - v \beta \frac{1}{\sqrt{2}} r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* \frac{1}{\sqrt{2}} r_4$$

$$R_{24} = -\frac{(C_2 + C_4)}{2}$$

$$C_2 = -\alpha \beta^* \sqrt{2} + v \alpha^* \beta \sqrt{2}$$

$$C_4 = -v \gamma \beta^* \sqrt{2} + \gamma^* \beta \sqrt{2}$$

여기서 상기 α, β, γ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들이고 상기 v 는 송신기에 의해 심볼들을 위상 회전시키는데 사용한 위상값임.

청구항 35.

무선통신 시스템에서 송신기에 의해 PSK(Phase Shift Keying)로 변조되고 각각 1회씩 위상 회전되어 송신된 변조 심볼들을 수신하는 수신기에 있어서,

4개의 송신 안테나들로부터 4개의 시간구간들 동안 수신 안테나로 수신된 신호들과 상기 송신 안테나들로부터 상기 수신 안테나로의 채널 이득들을 가지고, 가능한 모든 심볼 쌍들 중 후보 심볼 쌍들을 선택하며, 상기 선택된 후보 심볼 쌍들에 대해 ML 복호화를 위한 메트릭 값들을 최소화하는 하나의 심볼 쌍을 각각 검출하는 제1 및 제2 복호기들을 포함하여 구성되며,

상기 제1 복호기는,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학식에 따라 R_1, R_3, R_{13} 을 계산하고, R_1 에 가장 가까운 심볼 x_1 과 R_3 에 가장 가까운 심볼 x_3 과 R_{13} 에 가장 가까운 심볼 x_{13} 에 대하여 $x_1 x_3$ 이 x_{13} 과 동일하면 x_1 및 x_2 의 쌍을 검출하며, 동일하지 않으면 x_{13} 과 $x_1 x_3$ 사이 각의 1/2인 Φ_d 를 계산하고, x_1 로부터 Φ_d 이내의 심볼들과 x_3 으로부터 Φ_d 이내의 심볼들로 이루어진 심볼 쌍들을 상기 후보 심볼 쌍들로 선택하며,

상기 제2 복호기는,

상기 수신 신호들과 상기 채널 이득들을 가지고 하기의 수학식에 따라 R_2, R_4, R_{24} 를 계산하고, R_2 에 가장 가까운 심볼 x_2 와 R_4 에 가장 가까운 심볼 x_4 와 R_{24} 에 가장 가까운 심볼 x_{24} 에 대하여 $x_2 x_4$ 이 x_{24} 와 동일하면 x_2 및 x_4 의 쌍을 검출하며, 동일하지 않으면 x_{24} 와 $x_2 x_4$ 사이 각의 1/2인 $\Phi_{d'}$ 를 계산하고, x_2 로부터 $\Phi_{d'}$ 이내의 심볼들과 x_4 로부터 $\Phi_{d'}$ 이내의 심볼들로 이루어진 심볼 쌍들을 상기 후보 심볼 쌍들로 선택하는 것을 특징으로 하는 수신기.

$$R_1 = \alpha^* r_1 + \beta r_2^* + \zeta r_3^* - v^* \gamma^* r_4$$

$$R_3 = v\zeta r_2^* + \gamma^* r_1 + \alpha^* r_4 - \beta r_3^*$$

$$R_{13} = -(C_1 + C_3)$$

$$C_1 = -\alpha^* \gamma v + \alpha \gamma^*$$

$$C_3 = \zeta \beta^* v - \zeta^* \beta$$

$$R_2 = \beta^* r_1 - \alpha r_2^* + \gamma r_3^* + v \zeta^* r_4$$

$$R_4 = \zeta^* r_1 - v \gamma r_2^* - \alpha r_3^* - \beta^* r_4$$

$$R_{24} = -(C_2 + C_4)$$

$$C_2 = -\alpha \gamma^* + v \alpha^* \gamma$$

$$C_4 = -v \zeta \beta^* + \zeta^* \beta$$

여기서 상기 $\alpha, \beta, \gamma, \zeta$ 는 상기 채널 이득들이고 상기 r_1 내지 r_4 는 상기 수신 신호들이고 상기 v 는 송신기에 의해 심볼들을 위상 회전시키는데 사용한 위상값임.

청구항 36.

다중 송신 안테나를 사용하는 적어도 하나의 변조 방식으로 변조된 심볼들을 송신하는 방법에 있어서,

상기 심볼들에 적용되는 변조 방식을 검색하는 과정과,

상기 변조 방식에 의해 미리 결정된 공간-시간 부호 행렬들 중 어느 하나의 공간-시간 부호 행렬을 선택하는 과정과,

상기 선택된 공간-시간 부호 행렬을 사용하여 상기 심볼들을 부호화하는 과정과,

상기 송신 안테나를 통해 상기 부호화 된 심볼들을 송신하는 과정을 포함하는 상기 심볼들 송신 방법.

청구항 37.

제36항에 있어서,

상기 공간-시간 부호 행렬은 적어도 하나의 심볼의 부호를 반전하여 구성함을 특징으로 하는 상기 심볼들 송신 방법.

청구항 38.

제36항에 있어서,

상기 공간-시간 부호 행렬은 적어도 하나의 심볼을 공액화(conjugation)하여 구성함을 특징으로 하는 상기 심볼들 송신 방법.

청구항 39.

제36항에 있어서,

상기 공간-시간 부호 행렬은 적어도 하나의 심볼을 위상 회전하여 구성함을 특징으로 하는 상기 심볼들 송신 방법.

청구항 40.

제36항에 있어서,

상기 공간-시간 부호 행렬은 적어도 하나의 심볼을 반전 및 공액화하여 구성함을 특징으로 하는 상기 심볼들 송신 방법.

청구항 41.

제36항에 있어서,

상기 공간-시간 부호 행렬은 적어도 하나의 심볼을 반전 및 위상 회전하여 구성함을 특징으로 하는 상기 심볼들 송신 방법.

청구항 42.

제36항에 있어서,

상기 공간-시간 부호 행렬은 적어도 하나의 심볼을 반전, 공액화 및 위상 회전하여 구성함을 특징으로 하는 상기 심볼들 송신 방법.

청구항 43.

제36항에 있어서, 상기 심볼들을 부호화하는 과정은;

상기 공간-시간 부호 행렬을 구성하는 원소들의 미리 결정된 위치에 상기 심볼들을 매핑하는 과정과,

상기 심볼 매핑된 원소들 중 적어도 하나의 원소에 대해 반전하는 과정과,

상기 심볼 매핑된 원소들 중 적어도 하나의 원소에 대해 공액화하는 과정과,

상기 심볼 매핑된 원소들 중 적어도 하나의 원소에 대해 위상 회전하는 과정을 포함함을 특징으로 하는 상기 심볼들 송신 방법.

청구항 44.

변조 방식으로 변조되고, 4개의 송신 안테나들을 통해 송신되는 4개의 심볼들을 공간-시간 부호화하는 방법에 있어서,

공간-시간 부호화 행렬을 생성하는 과정과,

상기 공간-시간 부호화 행렬로 상기 4개의 심볼들을 부호화 하는 과정을 포함하며,

상기 공간-시간 부호화 행렬은 적어도 하나의 심볼을 반전하여 구성하고, 적어도 하나의 심볼을 공액화하여 구성하고, 적어도 하나의 심볼들을 위상회전하여 구성함을 특징으로 하는 상기 공간-시간 부호화 방법.

청구항 45.

변조 방식으로 변조되고, 다중 안테나들을 통해 송신되는 심볼들의 공간-시간 부호화 방법에 있어서,

상기 변조 방식에 상응하는 공간-시간 부호화 행렬을 생성하는 과정과,

상기 공간-시간 부호화 행렬로 상기 심볼들을 부호화 하는 과정을 포함하며,

상기 공간-시간 부호화 행렬은,

상기 심볼들 중 적어도 하나의 심볼에 대해 반전, 공역화 및 위상 회전 방식들 중 적어도 하나의 방식을 적용한 심볼을 포함함을 특징으로 하는 상기 공간-시간 부호화 방법.

청구항 46.

삭제

청구항 47.

삭제

청구항 48.

삭제

청구항 49.

삭제

청구항 50.

제45항에 있어서,

상기 공간-시간 부호화 행렬을 생성하는 과정에서;

4개의 심볼 구간들 동안 4개의 송신 안테나들을 통해 4개의 심볼들을 송신하는 4×4 공간-시간 부호화 행렬을 생성함을 특징으로 하는 상기 공간-시간 부호화 방법.

청구항 51.

제45항에 있어서,

상기 공간-시간 부호화 행렬을 생성하는 과정은;

4×4 행렬을 생성하는 과정과,

4개의 심볼 구간들 동안 3개의 송신 안테나들을 통해 4개의 심볼심볼심볼되도록 상기 4×4 행렬을 4×3 행렬로 변환하는 과정을 포함함을 특징으로 하는 상기 공간-시간 부호화 방법.

청구항 52.

제51항에 있어서,

상기 4×4 행렬을 4×3 행렬로 변환하는 과정은;

상기 4×4 행렬에서 적어도 2개의 열들을 선택하는 과정과,

상기 선택된 열들을 새로운 하나의 열로 치환하여 연산 행렬을 생성하는 과정을 포함함을 특징으로 하는 상기 공간-시간 부호화 방법.

청구항 53.

삭제

청구항 54.

제52항에 있어서,

상기 선택된 2개의 열들에서 동일한 행의 심볼들을 합산하고, 합산된 값을 소정의 제수(divisor)로 나누어 송신 부호화 행렬을 구성함을 특징으로 하는 상기 공간-시간 부호화 방법.

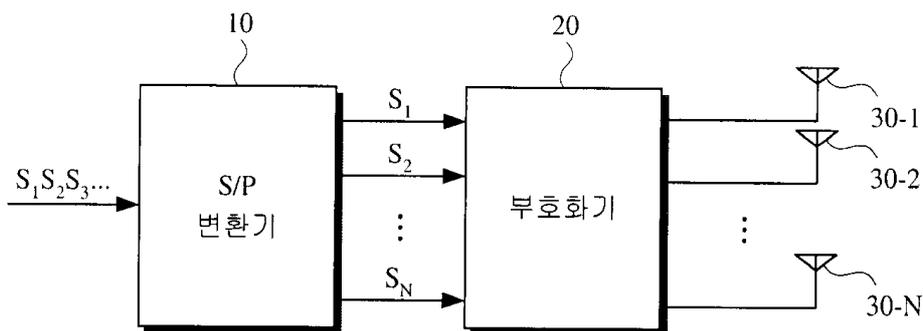
청구항 55.

제54항에 있어서,

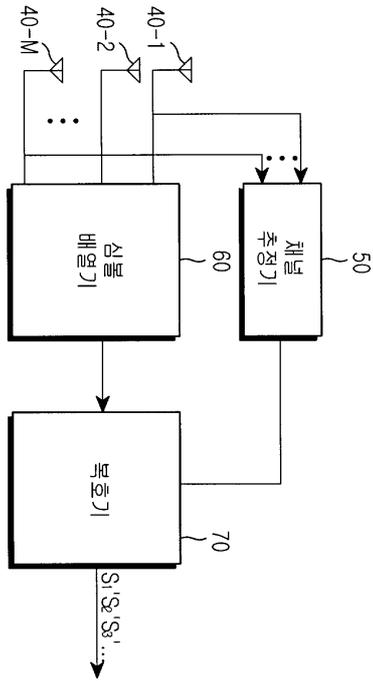
상기 제수는 $\sqrt{2}$ 임을 특징으로 하는 상기 공간-시간 부호화 방법.

도면

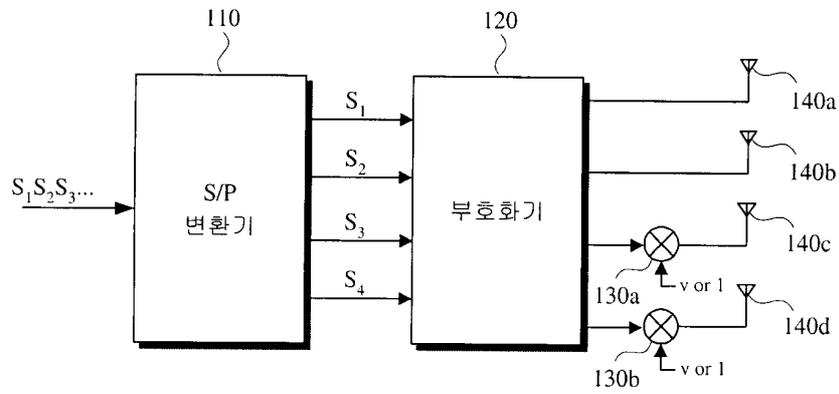
도면1



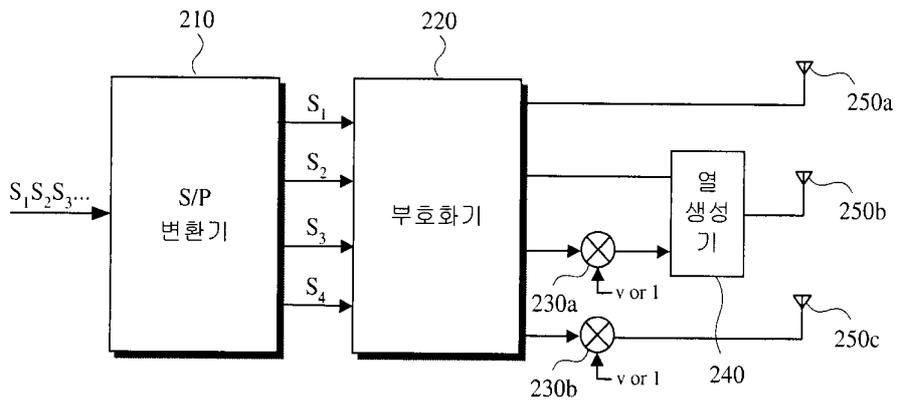
도면2



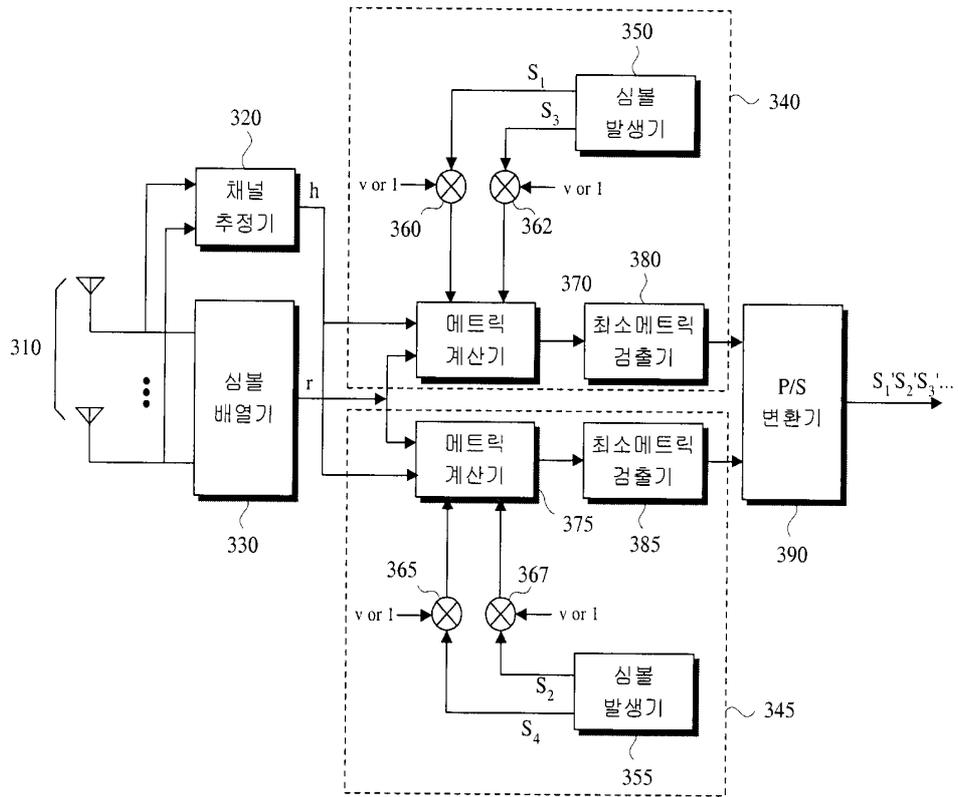
도면3



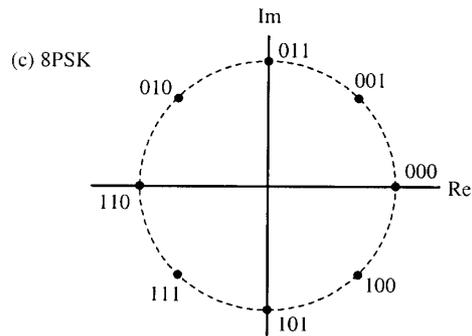
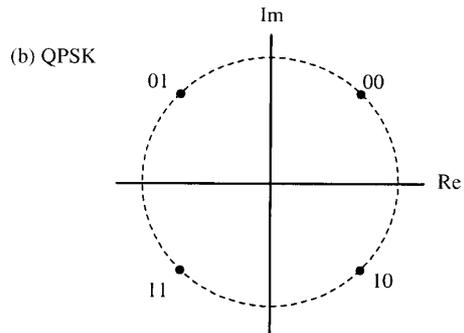
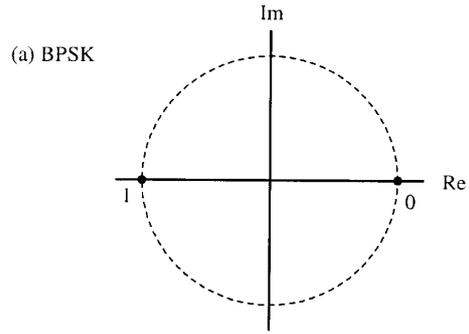
도면4



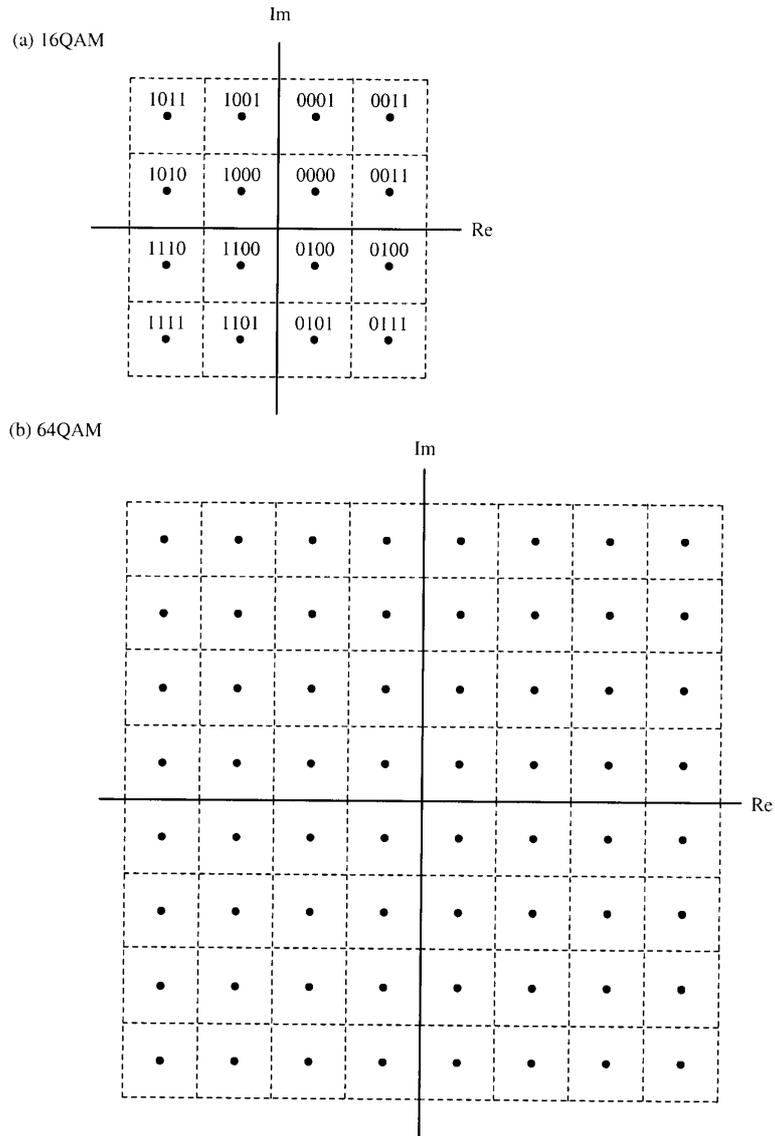
도면5



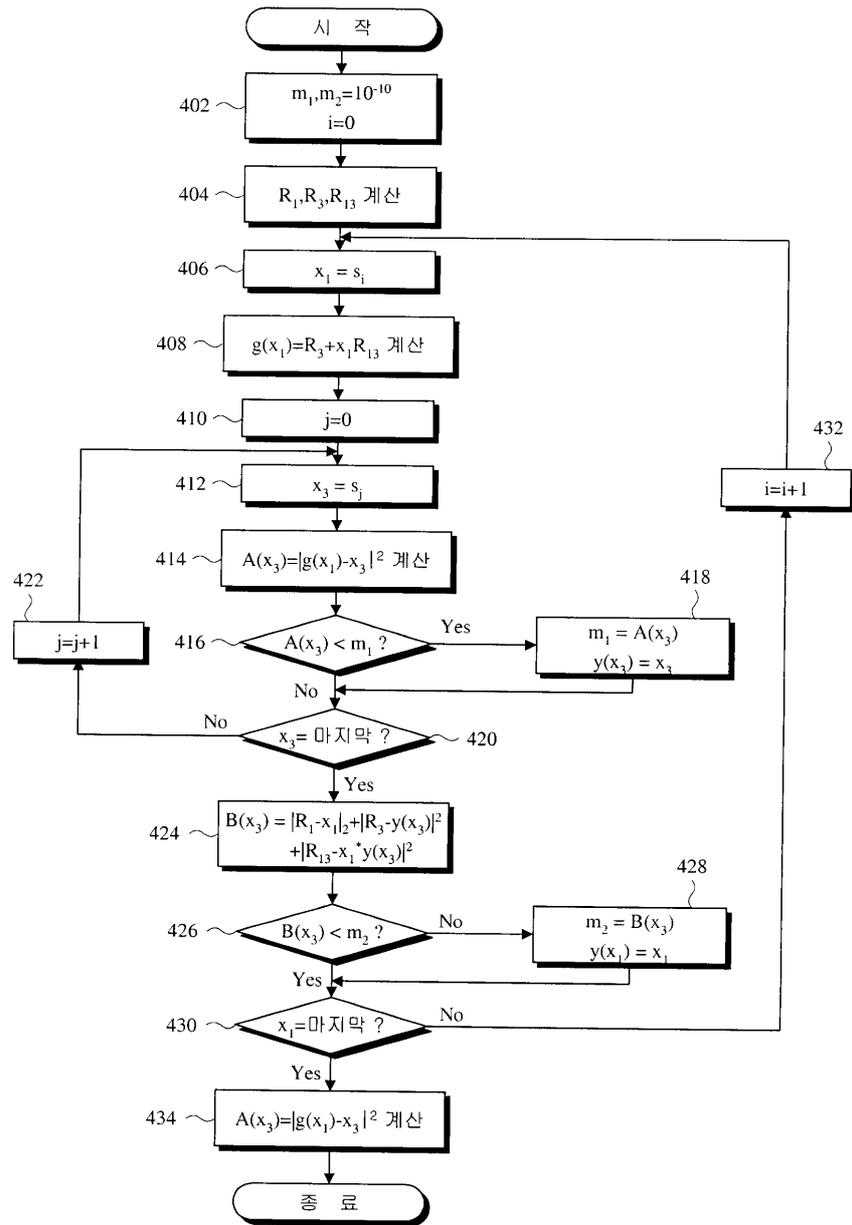
도면6



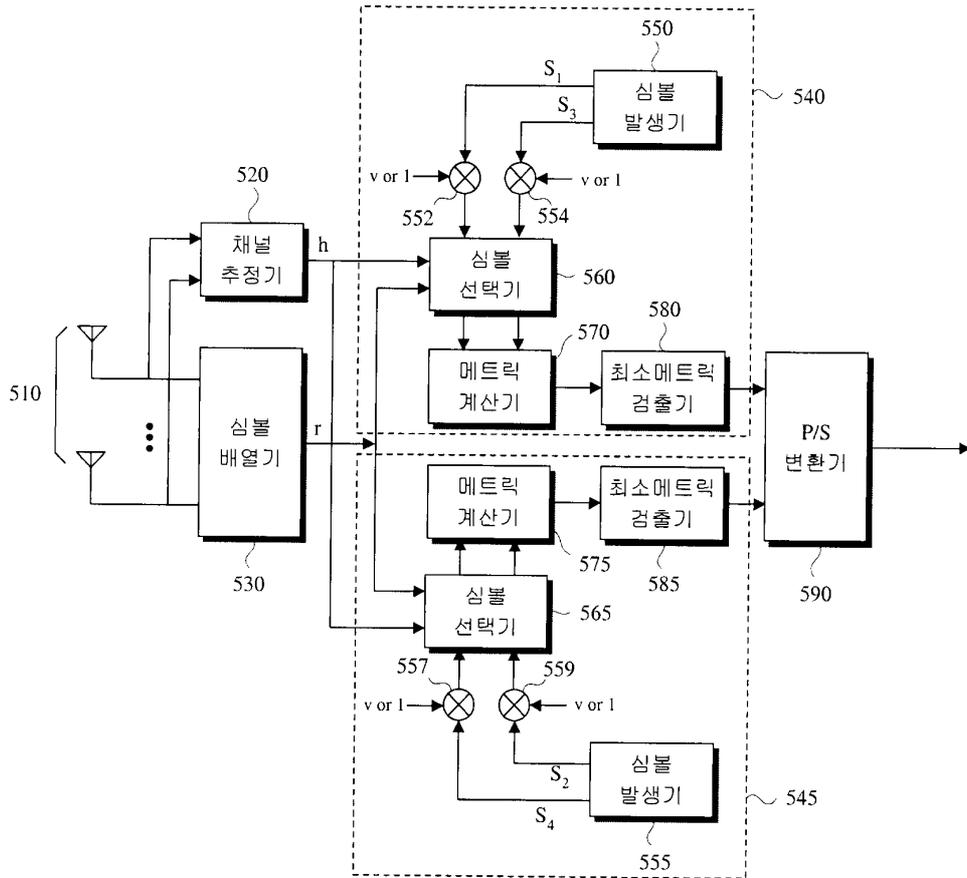
도면7



도면8

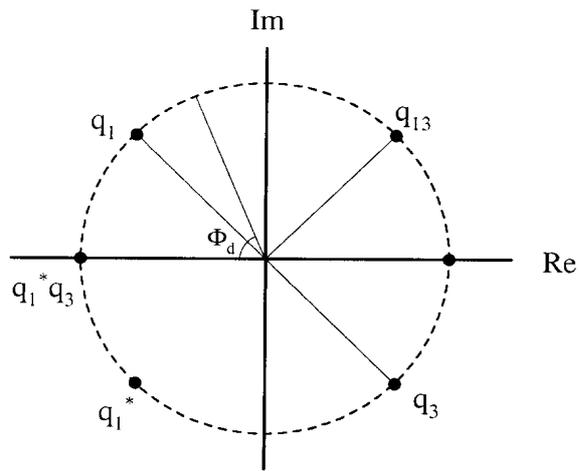


도면9

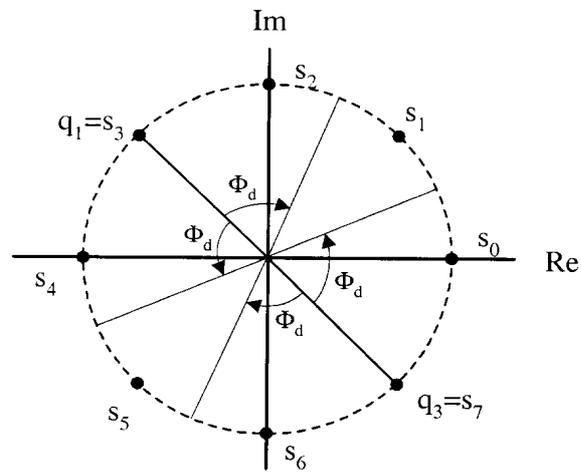


도면10

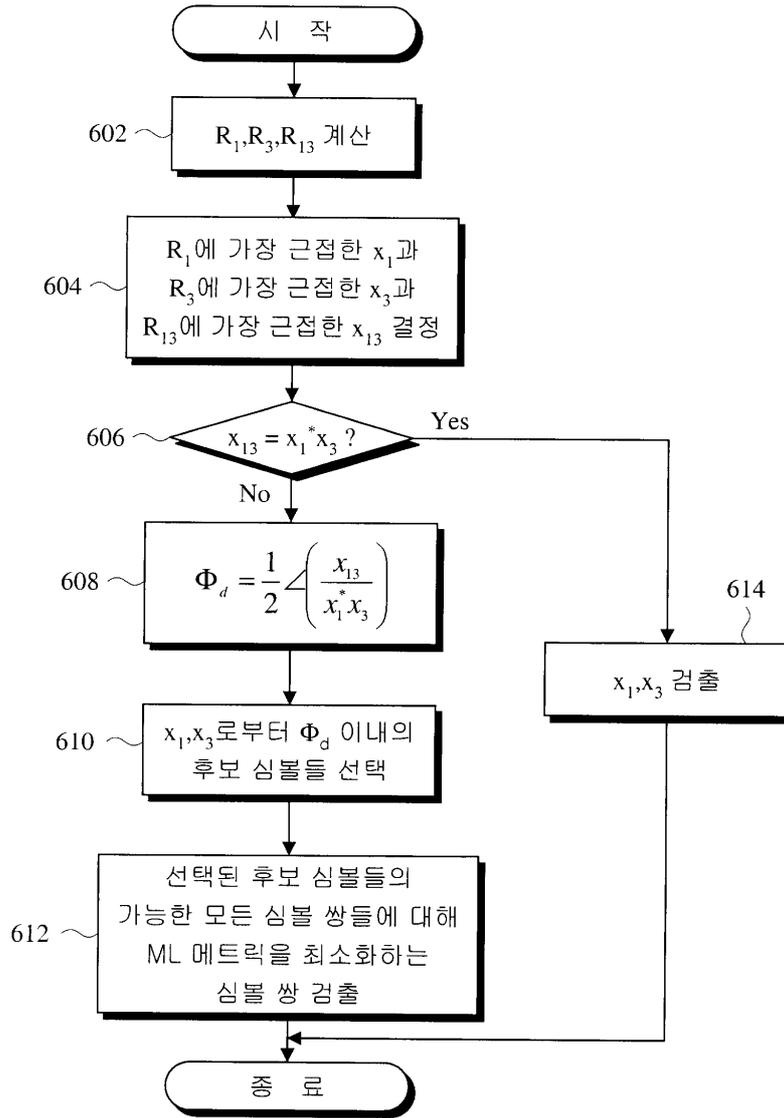
(a)



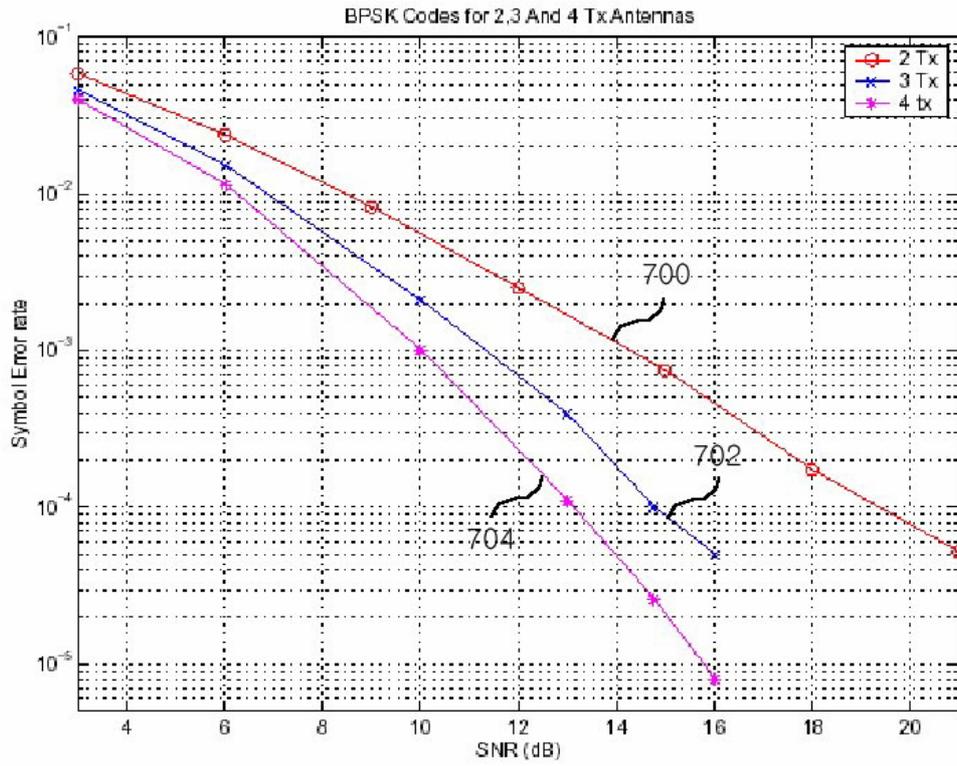
(b)



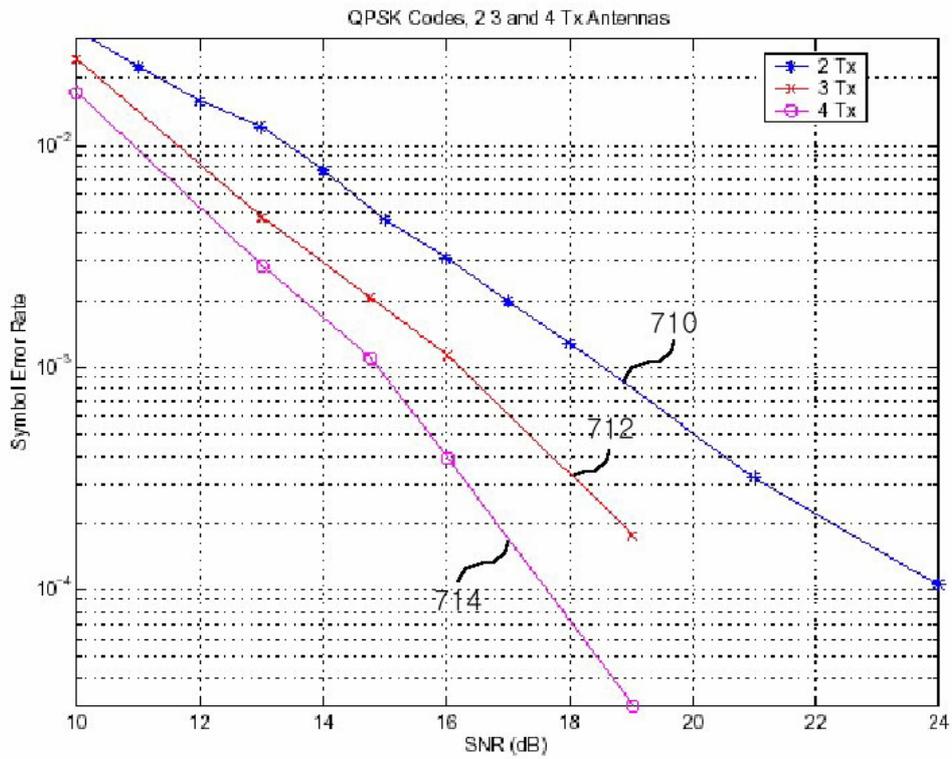
도면11



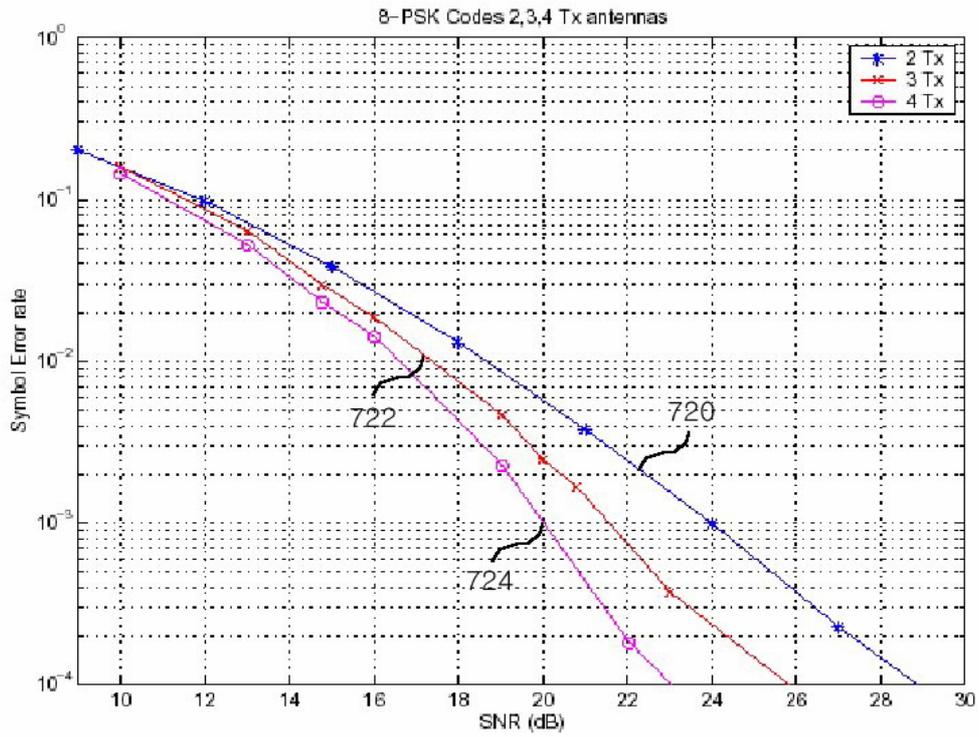
도면12



도면13



도면14



도면15

