



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0019606
(43) 공개일자 2011년02월28일

(51) Int. Cl.

H04L 27/26 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0077215

(22) 출원일자 2009년08월20일

심사청구일자 2009년08월20일

(71) 출원인

한국전자통신연구원

대전 유성구 가정동 161번지

경상대학교산학협력단

경상남도 진주시 가좌동 900

(72) 발명자

최은창

대전광역시 유성구 전민동 나래아파트 101-603

강석근

경상남도 진주시 평거동 한보아파트 102-1505

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

한양특허법인

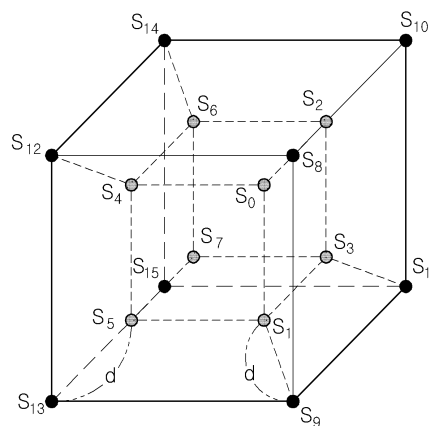
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 3차원 직교주파수분할다중화 장치

(57) 요약

본 발명의 3차원 직교주파수분할다중화 장치는, 직렬 입력 신호를 N개로 병렬화하여 변환하는 직병렬 변환부; 병렬화된 N개의 입력 신호들을 큐브-인-큐브형 신호성상도의 3차원 좌표점들로 각각 매핑하는 3차원 신호 매핑부; 및 매핑된 삼차원 좌표점들을 기초로 이차원 행렬을 생성하여 역푸리에 변환을 수행하는 2차원 역푸리에 변환부를 구비한다. 본 발명에 의하면, 2차원 신호성상도를 신호매핑에 이용한 기존의 직교주파수분할다중화 장치에 비해 심볼오율 측면에서 더욱 우수한 성능을 보이며, 동일한 기준 심볼오율을 달성하기 위해 요구되는 송신전력을 현저히 감소시키는 직교주파수분할다중화 장치를 구현할 수가 있다.

대표도 - 도11



(72) 발명자

허재두

대전광역시 서구 월평동 한아름아파트 103-906

백의현

대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 133-103

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2009-P1-02-08K51

부처명 한국전자통신연구원

연구관리전문기관

연구사업명 정보통신표준개발지원

연구과제명 WPAN/WBAN 표준개발

기여율

주관기관 한국전자통신연구원

연구기간 2008-01-01 ~ 2010-12-31

특허청구의 범위

청구항 1

직렬 입력 신호를 N개로 병렬화하여 변환하는 직병렬 변환부;

상기 병렬화된 N개의 입력 신호들을 큐브-인-큐브형 신호성상도의 3차원 좌표점들로 각각 매핑하는 3차원 신호 매핑부; 및

상기 매핑된 3차원 좌표점들을 기초로 이차원 행렬을 생성하여 역푸리에 변환을 수행하는 2차원 역푸리에 변환 부를 구비하는 3차원 직교주파수분할다중화 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 큐브-인-큐브형 신호성상도는,

16진 큐브-인-큐브형 신호성상도인 것을 특징으로 하는 3차원 직교주파수분할다중화 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 큐브-인-큐브형 신호성상도는,

비상진폭(non-constant amplitude) 특성을 나타내는 것을 특징으로 하는 3차원 직교주파수분할다중화 장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 큐브-인-큐브형 신호성상도는,

삼차원 직각좌표계의 중점을 무게중심점으로 하는 내부 정육면체와, 상기 내부 정육면체와 무게중심점을 공유하는 외부 정육면체로 구성되는 16개의 신호점을 갖는 16진 3차원 큐브-인-큐브형 신호성상도인 것을 특징으로 하는 3차원 직교주파수분할다중화 장치.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 외부 정육면체의 신호점은,

상기 무게중심점과 상기 내부 정육면체의 8개의 신호점을 연결하는 일직선 상에 존재하는 것을 특징으로 하는 3차원 직교주파수분할다중화 장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 역푸리에 변환된 병렬 신호들을 직렬로 변환하여 출력하는 병직렬 변환부를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 3차원 직교주파수분할다중화 장치.

청구항 7

직렬 입력 신호를 N개로 병렬화하여 변환하는 직병렬 변환부;

상기 병렬화된 N개의 입력 신호들을 정사면체연결형 신호성상도의 3차원 좌표점들로 각각 매핑하는 3차원 신호 매핑부; 및

상기 매핑된 3차원 좌표점들을 기초로 이차원 행렬을 생성하여 역푸리에 변환을 수행하는 2차원 역푸리에 변환부를 구비하는 3차원 직교주파수분할다중화 장치.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 정사면체연결형 신호성상도는,

비상진폭(non-constant amplitude) 특성을 나타내는 것을 특징으로 하는 3차원 직교주파수분할다중화 장치.

청구항 9

청구항 7에 있어서,

상기 정사면체연결형 신호성상도는,

삼차원 직각좌표계의 중점을 무게중심점으로 하는 내부 정사면체와, 상기 내부 정사면체의 외부에 위치한 네개의 지점을 무게중심점으로 하며 상기 내부 정사면체와 어느 하나의 꼭지점을 공유하는 네개의 외부 정사면체로 구성되는 16개의 신호점을 갖는 16진 3차원 큐브-인-큐브형 신호성상도인 것을 특징으로 하는 3차원 직교주파수분할다중화 장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 네개의 외부 정사면체 중 어느 하나의 외부 정사면체에 속한 신호점과 이와 다른 외부 정사면체에 속한 신호점 간의 거리는, 상기 외부 정사면체 내의 신호점들 간의 거리와 같거나 긴 것을 특징으로 하는 3차원 직교주파수분할다중화 장치.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 3차원 직교주파수분할다중화 장치 및 그 장치에 이용되는 3차원 신호성상도 구현 방법에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 정보원에서 생성된 이진비트열을 무선 라디오 주파수로 변조하기 전에 서로 다른 진폭과 위상을 가지도록 대응시키는 3차원 16진 신호성상도를 이용한 직교주파수분할다중화 장치 및 그 3차원 16진 신호성상도 구현 방법에 관한 것이다.

[0002] 본 발명은 한국전자통신연구원의 정보통신표준개발지원사업의 일환으로 수행한 연구로부터 도출된 것이다[과제관리번호: 2009-P1-02-08K51, 과제명: WPAN/WBAN 표준개발].

배경 기술

[0003] 직교주파수분할다중화(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식은 하나의 고속 데이터 스트림을 다수의 저속 데이터 스트림으로 나누고, 다수의 저속 데이터 스트림을 상호 직교하는 부반송파를 이용하여 동시에 전송함으로써 전송효율을 높일 수 있다. 직교주파수분할다중화 장치에 대한 기술은 1980년대 초반에 2차

원 신호성상도(signal constellation)와 일차원 고속 역푸리에변환을 이용하는 형태로 개발되었으며, 현재 무선 통신장치나 이동통신(mobile communication) 장치에 가장 널리 사용되고 있다. 신호성상도는 정보원에서 생성된 이진 비트열(binary bit sequence)을 무선 라디오주파수(radio frequency)로 변조하기 전에 서로 다른 진폭(amplitude)과 위상(phase)을 가지도록 대응시키는 역할을 수행하는 신호점들의 집합이다.

[0004] 도 1은 기존 디지털 통신이나 무선통신 시스템에서 이용되는 2차원 신호성상도를 나타낸 도면이다. 보다 상세하게는, 도 1의 (a)는 신호성상도를 구성하는 모든 신호점들이 동일한 진폭을 갖는 상진폭성상도의 예를 나타낸 것이고, 도 1의 (b)는 16개의 신호점들이 서로 다른 진폭과 위상을 가지는 16진 직교진폭변조(QAM:quadrature amplitude modulation) 성상도로서 비상진폭 특성을 나타낸다. 그리고, 도 2는 기존 2차원 신호성상도를 신호매핑(mapping)에 사용하는 직교주파수분할다중화 장치를 설명하기 위한 도면이다.

[0005] 도 2를 참조하면, 기존의 2차원 신호성상도를 이용하는 직교주파수분할다중화 장치는 도 2에 도시된 바와 같이 직렬 변환부(110), 2차원 신호성상도로 구성된 2차원 신호 매핑부(120), 역푸리에변환부(130) 및 병렬 변환부(140)를 구비한다.

[0006] 직렬 변환부(110)는 직렬 이진비트열 입력을 병렬화한다. 그리고, 2차원신호 매핑부(120)는 병렬화된 입력 신호들을 2차원 신호성상도의 신호점에 각각 매핑시킨다. 이에 입력 신호들은 2차원 신호성상도의 신호점에 해당되는 N개의 복소수 값으로 변경되고, 그 후 역푸리에변환부(130)에서 수학적 1과 같이 변조된다. 다음으로, 변조된 N개의 복소수는 병렬변환부(140)를 통해 직렬화되어 출력된다.

수학적 1

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \exp(i2\pi nk / N)$$

[0007] 수학적 1에서 $0 \leq n \leq N-1$ 이다. 여기서, N은 직교주파수분할다중화 장치에서 사용되는 부채널의 수를 나타내고, k는 각각의 부채널을 나타낸다.

[0009] 한편, 기존 2차원 신호성상도를 이용한 직교주파수분할다중화 장치의 경우 1980년대 초반에 현재의 장치와 거의 동일한 형태로 고안된 이후 현재까지 거의 변화없이 다수의 무선통신 장치나 이동통신 장치에 사용되어 왔다. 따라서, 2차원 신호성상도를 이용한 직교주파수분할다중화 장치와 비교하여, 심볼오율 측면에서 더욱 우수한 성능을 보이며, 동일한 기준 심볼오율을 달성하기 위해 요구되는 송신전력을 현저히 감소시킬 수 있는 직교주파수분할다중화 장치의 개발이 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0010] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위해 도출된 것으로서,

[0011] 이차원 신호성상도를 신호 매핑에 이용한 기존의 직교주파수분할다중화 장치에 비해 심볼오율 측면에서 더욱 우수한 성능을 보이며, 동일한 기준 심볼오율을 달성하기 위해 요구되는 송신전력을 현저히 감소시킬 수 있는 직교주파수분할다중화 장치 및 그 장치에 이용되는 3차원 신호성상도 구현 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0012] 특히, 기본적인 형태의 3차원 신호성상도를 응용하여 직교주파수분할다중화의 각 부채널에 4비트씩을 할당할 수 있는(고속 데이터 전송에 유리하도록) 3차원 16진 신호성상도를 구현하는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결수단

[0013] 본 발명의 일실시예에 따른 3차원 직교주파수분할다중화 장치는, 직렬 입력 신호를 N개로 병렬화하여 변환하는 직렬 변환부; 상기 병렬화된 N개의 입력 신호들을 큐브-인-큐브형 신호성상도의 3차원 좌표점들로 각각 매핑하는 3차원 신호 매핑부; 및 상기 매핑된 삼차원 좌표점들을 기초로 이차원 행렬을 생성하여 역푸리에 변환을 수행하는 2차원 역푸리에 변환부를 구비한다.

[0014] 특히, 상기 큐브-인-큐브형 신호성상도는, 16진 큐브-인-큐브형 신호성상도인 것을 특징으로 한다.

- [0015] 또한, 상기 큐브-인-큐브형 신호성상도는, 비상진폭(non-constant amplitude) 특성을 나타내는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한, 상기 큐브-인-큐브형 신호성상도는, 삼차원 직각좌표계의 중점을 무게중심점으로 하는 내부 정육면체와, 상기 내부 정육면체와 무게중심점을 공유하는 외부 정육면체로 구성되는 16개의 신호점을 갖는 16진 3차원 큐브-인-큐브형 신호성상도인 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한, 상기 외부 정육면체의 신호점은, 상기 무게중심점과 상기 내부 정육면체의 8개의 신호점을 연결하는 일직선 상에 존재하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한, 상기 역푸리에 변환된 병렬 신호들을 직렬로 변환하여 출력하는 병직렬 변환부를 더 구비하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 한편, 본 발명의 다른 실시예에 따른 3차원 직교주파수분할다중화 장치는, 직렬 입력 신호를 N개로 병렬화하여 변환하는 직병렬 변환부; 상기 병렬화된 N개의 입력 신호들을 정사면체연결형 신호성상도의 3차원 좌표점들로 각각 매핑하는 3차원 신호 매핑부; 및 상기 매핑된 삼차원 좌표점들을 기초로 이차원 행렬을 생성하여 역푸리에 변환을 수행하는 2차원 역푸리에 변환부를 구비한다.
- [0020] 특히, 상기 정사면체연결형 신호성상도는, 비상진폭(non-constant amplitude) 특성을 나타내는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 또한, 상기 정사면체연결형 신호성상도는, 삼차원 직각좌표계의 중점을 무게중심점으로 하는 내부 정사면체와, 상기 내부 정사면체의 외부에 위치한 네개의 지점을 무게중심점으로 하며 상기 내부 정사면체와 어느 하나의 꼭지점을 공유하는 네개의 외부 정사면체로 구성되는 16개의 신호점을 갖는 16진 3차원 큐브-인-큐브형 신호성상도인 것을 특징으로 한다.
- [0022] 또한, 상기 네개의 외부 정사면체 중 어느 하나의 외부 정사면체에 속한 신호점과 이와 다른 외부 정사면체에 속한 신호점 간의 거리는, 상기 외부 정사면체 내의 신호점들 간의 거리와 같거나 긴 것을 특징으로 한다.

효 과

- [0023] 본 발명에 의해 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.
- [0024] 이차원 신호성상도를 신호매핑에 이용한 기존의 직교주파수분할다중화 장치에 비해 심볼오율 측면에서 더욱 우수한 성능을 보이며, 동일한 기준 심볼오율을 달성하기 위해 요구되는 송신전력을 현저히 감소시킬 수 있는 효과가 있다.
- [0025] 또한, 복잡한 수학적 사용없이 기본적인 형태를 갖는 3차원 신호성상도를 응용하여 직교주파수분할다중화의 각 부채널에 4비트씩을 할당할 수 있는 3차원 16진 신호성상도를 구현하는 것이 가능하다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0026] 본 발명을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하면 다음과 같다. 여기서, 반복되는 설명, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능, 및 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다. 본 발명의 실시형태는 당 업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 따라서, 도면에서의 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있다.
- [0027] 이하 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0028] 도 3은 본 발명에 따른 3차원 직교주파수분할다중화 장치의 송신측 구성을 설명하기 위한 블록도이다.
- [0029] 도 3을 참조하면, 본 발명의 3차원 직교주파수분할다중화 장치는 직병렬 변환부(200), 3차원 신호 매핑부(210), 2차원 역푸리에 변환부(220), 및 병직렬 변환부(230)를 구비한다.
- [0030] 직병렬 변환부(200, S/P: serial-to-parallel converter)는 직렬 이진비트열(binary bit sequence) 입력(x_b)을 N

개의 직교주파수분할다중화의 부채널에 할당할 수 있도록 병렬화($x_{b,0}, x_{b,1}, \dots, x_b, x_{b,N-1}$)한다. 즉, 직병렬 변환부(200)는 직렬 이진비트열 입력(x_b)을 직교주파수분할다중화의 부채널 수인 N개의 병렬 이진비트열로 변환시킨다. 각각의 병렬 이진비트열의 길이는 수학식 2에 따라 계산된다.

수학식 2

$$N_b = \log_2 N_s \text{ (단위: 비트, bit)}$$

여기서 N_s 는 신호성상도를 구성하는 신호점의 수를 나타내고, N_b 는 각 신호점이 전송할 수 있는 비트수를 나타낸다. 예를 들어, 신호점이 8개인 경우 각 신호점당 3비트를 전송할 수 있고, 신호점이 16개인 경우 각 신호점당 4비트를 전송할 수 있다.

3차원 신호 매핑부(210, 3-D signal mapper)는 직병렬 변환부(200)에 의해 병렬화된 이진비트열을 3차원 신호성상도의 신호점들에 각각 매핑시켜 N개의 복소수 값으로 변경한다. 3차원 신호 매핑부(210)는 도 4, 도 6, 도 11, 및 도 13 중 어느 하나에 도시되어 있는 3차원 신호성상도들을 이용하여 병렬화된 이진비트열을 각각의 신호점에 매핑시킬 수 있다. 3차원 신호 매핑부(210)에 적용되는 신호성상도에 대해서는 후술하는 설명을 통해 보다 상세하게 설명하기로 한다.

그리고, 3차원 신호 매핑부(210)는 생성된 N개의 벡터를 3축 방향 좌표값(x, y, z)에 따라 수학식 3와 같이 2차원 행렬로 변환한다.

수학식 3

$$S(k_1, k_2) = \begin{pmatrix} x_0 & x_1 & \cdots & x_{N-1} \\ y_0 & y_1 & \cdots & y_{N-1} \\ z_0 & z_1 & \cdots & z_{N-1} \end{pmatrix}$$

수학식 3에 나타난 바와 같이 2차원 행렬에서 각 열은 N개의 3차원 좌표값에 해당된다. 그리고, k_1, k_2 값은 이차원 역푸리에 변환부(220)에서 이용된다. 여기서 복소수의 3차원 좌표값을 2차원 행렬로 변환하는 이유는 역푸리에 변환을 가능하도록 하기 위함이다.

2차원 역푸리에 변환부(220)는 2차원 행렬로 표현된 N개의 3차원 좌표값들을 수학식 4를 이용하여 동시에 고속 역이산푸리에변환(IDFT: inverse discrete Fourier transform)을 수행한다.

수학식 4

$$\begin{aligned} S(n_1, n_2) &= \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_2=0}^{N_2-1} \sum_{k_1=0}^{N_1-1} S(k_1, k_2) \exp \left[i 2 \pi \left(\frac{n_2 k_2}{N_2} + \frac{n_1 k_1}{N_1} \right) \right] \\ &= \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_2=0}^{N_2-1} \exp(i 2 \pi n_2 k_2 / N_2) \left[\sum_{k_1=0}^{N_1-1} S(k_1, k_2) \exp(i 2 \pi n_1 k_1 / N_1) \right] \end{aligned}$$

수학식 4에서 N_1 과 N_2 는 각각 수학식 3의 행렬에서의 열과 행의 수와 동일하다.

병직렬 변환부(230, P/S: parallel-to-serial converter)는 2차원 역푸리에 변환부(220)에 의해 역이산푸리에변환(IDFT)된 N개의 3차원 좌표값을 직렬변환하여 출력(s)한다.

도 4는 구면에 내접하는 정사면체의 4개의 꼭지점을 신호로 이용하는 3차원 4진 신호성상도이며, 도 5는 도 4의 3차원 4진 신호성상도의 4개의 신호점에 대한 3차원 좌표값을 나타낸다. 그리고, 도 6은 구면에 내접하는 정육

면체의 8개 꼭지점을 신호점으로 이용하는 3차원 8진 신호성상도이며, 도 7은 도 6의 3차원 8진 신호성상도의 8개의 꼭지점에 대한 3차원 좌표값을 나타낸다.

[0042] 도 4에 도시된 3차원 4진 신호성상도를 이용하는 경우, 도 3의 직교주파수분할다중화 장치는 각각의 부채널에 2비트를 할당할 수 있으며, 그 좌표값은 도 5에 나타낸 바와 같다.

[0043] 그리고, 도 6에 도시된 3차원 8진 신호성상도를 이용하는 경우, 도 3의 직교주파수분할다중화 장치는 각각의 부채널에 3비트를 할당할 수 있으며, 그 좌표값은 도 7에 나타낸 바와 같다.

[0044] 도 8은 도 4의 3차원 4진 신호성상도를 이용한 도 3의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율(symbol error rate)과 도 1의 기존 2차원 신호성상도를 이용한 도 2의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율을 비교한 그래프이다.

[0045] 도 1의 기존 2차원 신호성상도를 이용한 도 2의 직교주파수분할다중화 장치의 경우, 심볼오율 $P_s=10^{-4.5}$ (log형태로 표현하는 경우 -4.5)를 달성할 수 있는 신호대잡음비 E_s/N_0 는 15.3dB이다.

[0046] 반면, 도 4의 3차원 4진 신호성상도를 이용하는 도 3의 직교주파수분할다중화 장치의 경우, 심볼오율 $P_s=10^{-4.5}$ 를 달성할 수 있는 신호대잡음비는 E_s/N_0 는 12.2dB이다. 따라서, 약 3dB 가량 송신기에서 송신전력을 감소시킴을 확인할 수 있다.

[0047] 도 9는 도 6에 도시된 3차원 8진 신호성상도를 이용한 도 3의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율과 도 1의 기존 2차원 신호성상도를 이용한 도 2의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율을 비교한 그래프이다.

[0048] 도 1의 기존 2차원 신호성상도를 이용하는 도 2의 직교주파수분할다중화 장치의 경우, 심볼오율 $P_s=10^{-4.5}$ (log형태로 표현하는 경우 -4.5)를 달성할 수 있는 신호대잡음비 E_s/N_0 는 19.9dB이다.

[0049] 반면, 도 6의 3차원 8진 신호성상도를 이용하는 도 3의 직교주파수분할다중화 장치의 경우, 심볼오율 $P_s=10^{-4.5}$ 를 달성할 수 있는 신호대잡음비는 E_s/N_0 는 14.1dB이다. 따라서, 약 6dB 가량 송신기에서 송신전력을 감소시킴을 확인할 수 있다.

[0050] 전술한 바와 같이, 3차원 신호성상도를 신호 매핑에 이용한 직교주파수분할다중화 장치는 2차원 신호성상도를 신호 매핑에 이용한 기존의 직교주파수분할다중화 장치에 비해 신호대잡음비 측면에서 우수한 성능을 보이며, 동일한 기준 심볼오율에 있어서 현저히 감소된 송신전력을 사용할 수 있다.

[0051] 또한, 상술한 구면 내접 다면체(inscribed polyhedron) 방식의 3차원 신호성상도는 구면에 내접하는 정다면체의 꼭지점 좌표들로 구성됨으로 인해 모든 신호점들이 동일한 전력을 가져 상진폭(constant amplitude) 특성을 가지는 유리한 점이 있다. 일반적으로 단일 구의 표면에 배치되는 신호점들이 원점으로부터 동일한 거리를 갖는 경우 상진폭 특성을 나타낸다고 한다.

[0052] 하지만, 기하학적으로 작도가 가능하면서 상진폭 특성을 갖는 성상도는 도 4 및 도 6에 도시한 신호성상도에 국한되며, 이들은 신호점당 각각 2비트와 3비트만을 전송할 수 밖에 없다. 때문에 고속 데이터 전송에 불리한 면이 있다. 즉, 꼭지점의 개수가 8개보다 크면서 2의 승수에 해당되는 정다면체의 기하학적 작도가 불가능하기 때문에 각 부채널에 4비트 이상 할당할 수 있는 3차원 신호성상도의 구현이 불가능한 문제점이 있다.

[0053] 부연 설명을 하면, 도 4와 도 6에 도시한 3차원 신호성상도에서는 모든 신호점이 3차원 구면(sphere)에 내접하는 정사면체(regular tetrahedron)와 정육면체(regular hexahedron)의 꼭지점으로 구성된다. 따라서, 이와 같은 신호성상도는 각각 4개와 8개의 동일한 진폭을 가지는 신호점들로 구성되며, 각 부채널에 할당될 수 있는 비트 수는 상기한 수학적 2에 따라 각각 2비트와 3비트가 된다.

[0054] 이러한 단점을 보완하기 위해 본 발명에서는, 도 4 및 도 6에 도시한 3차원 신호성상도의 기본적인 형태를 응용하여 신호점당 4비트씩 전송할 수 있는 신호성상도를 구현하는 방법을 제안한다. 보다 상세하게는, 큐브-인-큐브(cube-in-cube)형 3차원 신호성상도와 정사면체연결(concatenated tetrahedron)형 신호성상도를 구현하는 방

법을 제안한다.

- [0055] 도 10 및 도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 3차원 16진 신호성상도(큐브-인-큐브형)를 구현하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 여기서, 도 10은 도 11의 큐브-인-큐브형 신호성상도를 구현하기 위해 필요한 기본 형태의 신호성상도를 나타낸다.
- [0056] 먼저, 도 10에 도시된 바와 같이 반지름이 d_1 인 가상의 구면에 내접하는 정육면체 신호성상도를 작도한다. 도 10에 도시된 신호성상도는, 도 6에 도시된 신호성상도와 마찬가지로 구면에 내접하는 정육면체의 8개 꼭지점을 신호점으로 이용하는 3차원 8진 신호성상도이며, 여기서 각각의 신호점을 나타내는 기호 $S_i (0 \leq i \leq 7)$ 는 설명의 편의를 위해 표시한 것으로, 모든 신호점은 구의 중심점에 대하여 대칭이므로 그 순서를 변경하여 표시하여도 무방하다.
- [0057] 도 10에서 반지름이 d_1 인 가상의 구면에 내접하는 다면체는 정육면체이므로 어떤 신호점과 그것에 인접하는 3개의 신호점은 동일한 거리 d 만큼 이격되어 있다. 그리고, 원점(0,0,0)으로부터 신호점까지의 거리는 구의 반지름과 동일하다.
- [0058] 다음으로, 원점으로부터 반지름이 $d_2 (=d_1+d)$ 인 가상의 새로운 구를 작도한다. 이때 새로 작도하는 구의 중심점은, 도 10에서 반지름이 d_1 인 구의 중심점(예컨대, 원점)과 동일하게 하여 내부의 구와 외부의 구가 동심구(concentric spheres)가 되도록 하고, 반지름은 d_2 가 되도록 하여 내부구에 접해있는 어떤 신호점과 그것에 인접하는 신호점들 간의 거리가 d 가 될 수 있도록 한다(도 11참조). 예를 들어, S_4 에 인접하는 S_0, S_5, S_6, S_{12} 는 S_4 로부터 각각 거리 d 만큼 이격되어 있다.
- [0059] 즉, 내부구의 중심점과 내부구에 접하는 각각의 신호점(8개)을 연결하는 직선을 거리 d 만큼 외부로 연장하고, 반지름이 $d_2 (=d_1+d)$ 인 구와 교차하는 교차점을 신호점으로 정함으로써, 16개의 신호점으로 구성되는 3차원 16진 신호성상도를 구현한다. 이때 외부구의 중심이 내부구의 중심점과 동일하다.
- [0060] 그리고, 내부구에 위치한 신호점은 동일한 거리(d)에 위치한 4개의 신호점들과 인접하는 구조를 갖는다. 따라서, 도 11의 16개의 신호점 가운데 내부구에 위치하는 $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ 의 신호점은 삼차원 공간의 원점(0,0,0)으로부터 모두 같은 거리(d_1)에 있으므로 동일한 진폭 d_1 을 갖고, 16개의 신호점들에서 위에 열거된 신호점을 제외한 8개의 신호점들은 삼차원 공간의 원점으로부터 모두 같은 거리(d_2)에 있으므로 동일한 진폭 d_2 를 갖는다. 상술한 작도법은 수학적 사용용을 최대한 억제할 수 있는 유리한 점을 갖는다. 본 발명에서는 상기한 방법을 통해 구현한 3차원 16진 신호성상도를 큐브-인-큐브형 3차원 16진 신호성상도라 칭하기로 한다.
- [0061] 도 12 및 도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따른 3차원 16진 신호성상도(정사면체연결형)를 구현하는 방법을 설명하기 위한 도면이다. 여기서 도 12는 도 13의 정사면체연결형 신호성상도를 구현하기 위해 필요한 기본 형태의 신호성상도를 나타낸다.
- [0062] 먼저, 도 12에 도시된 바와 같이 반지름이 d_3 인 가상의 구면에 내접하는 정사면체 신호성상도를 작도한다. 도 12에 도시된 신호성상도는, 도 4에 도시된 신호성상도와 마찬가지로 구면에 내접하는 정사면체의 4개 꼭지점을 신호점으로 이용하는 3차원 4진 신호성상도이며, 여기서 각각의 신호점을 나타내는 기호 $S_i (0 \leq i \leq 3)$ 는 설명의 편의를 위해 표시한 것으로, 모든 신호점은 구의 중심점에 대하여 대칭이므로 그 순서를 변경하여 표시하여도 무방하다.
- [0063] 도 12에서 반지름이 d_3 인 가상의 구면에 내접하는 다면체는 정사면체이므로 어떤 신호점과 그것에 인접하는 3개의 신호점은 동일한 거리 d_{in} 만큼 이격되어 있다. 예를 들어, 도 12에서 신호점 S_0 에 인접하는 3개의 신호점 S_1, S_2, S_3 과 신호점 S_0 간의 이격거리는 각각 d_{in} 으로 동일하다. 그리고, 중심점(예컨대, 원점)으로부터 각각의 신호점까지의 거리는 구의 반지름(d_3)과 동일하다.
- [0064] 다음으로, 도 12의 가상의 구면에 내접하는 정사면체의 각각의 꼭지점에 접하는 반지름 d_4 를 갖는 새로운 구를

작도하여, 정사면체의 4개의 꼭지점에 구면의 어느 한점이 접하는 동일한 크기를 갖는 4개의 새로운 구를 형성한다. 이때 새로 형성된 구의 반지름 d_4 은 반지름 d_3 보다 크고 무한대(∞) 보다는 작다. 그리고, 외부에 작도되는 4개의 새로운 구들은 서로 겹치지 않도록 작도되어야 하므로 새로 형성된 외부 구들의 중심점간 거리 D 는 $2*d_4$ 보다 커야한다. 즉, $D > 2*d_4$ 를 만족하도록 정사면체의 각각의 꼭지점에 접하는 외부구를 작도한다.

[0065] 다음으로, 외부에 위치한 4개의 구에 내접하는 정사면체를 각각 작도하고, 각 구에 접하는 꼭지점을 신호점으로 정한다(도 13참조). 여기서 외부구에 작도된 정사면체의 꼭지점 간의 거리를 d_5 라고 가정하면, 임의의 외부 구에 속한 신호점과 이와 다른 외부구에 속한 신호점 간의 거리 d_{out} 은 외부구 내의 신호점들 간의 거리 d_5 와 같거나 이보다 커야 된다. 즉, $d_5 \leq d_{out}$ 의 조건을 만족하여 한다. 그리고, 외부구의 신호점 중 어느 하나는 내부구의 신호점 중 어느 하나와 일치한다. 본 발명에서는 상기한 방법을 통해 구현한 3차원 16진 신호성상도를 정사면체 연결형 3차원 16진 신호성상도라 칭하기로 한다.

[0066] 한편, 상술한 방법들을 통해 구현한 3차원 16진 신호성상도의 평균전력(average power)은 아래의 수학적 식 5와 같이 계산될 수 있다.

수학적 식 5

$$P_{ave} = \frac{1}{16} \sum_{i=0}^{15} P_{s_i} = \frac{1}{16} \sum_{i=0}^{15} (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2), (\text{단위: 와트, watt})$$

[0067] 여기서, P_{s_i} 는 본 발명에 따른 신호성상도에서 신호점 S_i 가 가지는 전력이다. 그리고, x_i, y_i, z_i 는 신호점 S_i 의 3차원 축방향 좌표값을 나타낸다.

[0068] 따라서, 수학적 식 5는 동심구의 중심점을 $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ 으로 정하여 계산되는 신호성상도의 평균전력이 된다. 이와 같이 계산된 신호성상도의 평균전력은 신호성상도가 특정한 값의 평균전력을 가지도록 하기 위하여 좌표값을 조정할 필요가 있을 경우 정규화상수(normalization constant)로 사용된다.

[0069] 예를 들면, 본 발명에 따른 비상진폭(nonconstant-envelope) 특성을 가지는 3차원 16진 신호성상도가 평균전력 1 와트(watt)를 가지도록 정규화시키기 위해서는 다음의 수학적 식 6에서와 같이 정규화 상수를 적용하여 각각의 신호점에 대한 새로운 좌표 (x'_i, y'_i, z'_i) 를 구하여 사용하면 된다. 비상진폭 특성은 도 11의 큐브-인-큐브형 신호성상도와 같이 두개의 동심구에 신호점들이 존재하는 경우(즉, 중심점으로부터 신호점들과의 거리가 모두 동일하지 않은 경우)에 신호점에 따라 진폭이 서로 다른 경우를 나타낸다.

수학적 식 6

$$(x'_i, y'_i, z'_i) = \left(\frac{x_i}{\sqrt{P_{ave}}}, \frac{y_i}{\sqrt{P_{ave}}}, \frac{z_i}{\sqrt{P_{ave}}} \right)$$

[0070] 도 14는 본 발명의 일실시예에 따른 큐브-인-큐브형 3차원 16진 신호성상도를 이용한 도 3의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율(SER:Symbol error rate)과, 본 발명의 다른 실시예에 따른 정사면체연결형 3차원 16진 신호성상도를 이용한 도 3의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율과, 기존 2차원 16진 신호성상도를 이용한 직교진폭변조(QAM) 장치의 심볼오율을 나타낸다.

[0071] 도 14를 참조하면, 비교를 위한 기준 심볼오율을 10^{-6} 으로 정할 경우 큐브-인-큐브형(cube-in-cube) 신호성상도가 적용된 직교주파수분할다중화 장치가 정사면체연결형(concatenated tetrahedron) 신호성상도를 적용한 직교주파수분할다중화 장치보다 신호대 잡음비(SNR:signal-to-noise power ratio)를 나타내는 E_s/N_0 측면에서 약 0.5dB 가량 우수한 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0074] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 큐브-인-큐브형 신호성상도가 적용된 직교주파수분할다중화 장치는 기준 심볼 오류율이 약 10^{-5} 일 때 도 1의 (b)에 보인 2차원 16진 신호성상도가 적용된 직교진폭변조 장치보다 약 6dB 가량 우수한 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 디지털통신시스템에서 이 정도의 성능 차이는 매우 획기적인 성능 향상으로 받아들여진다.

[0075] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명은 디지털 정보원에서 생성된 이진정보를 반송파 주파수 대역(carrier frequency band)의 신호로 변조하기 전에 적용되는 전기적인 신호 변환을 위한 장치 및 이를 위한 신호성상도에 관한 것이며, 이는 대부분의 디지털 통신 시스템의 핵심 구성요소로 사용된다. 그리고, 본 발명에 따른 비상진폭 특성을 갖는 3차원 16진 신호성상도는 일반적인 디지털 통신시스템에 적용 가능한 것은 물론이고, 고속 무선 통신 및 광통신을 위한 편광편이키잉 시스템에 적용하는 것도 가능하다.

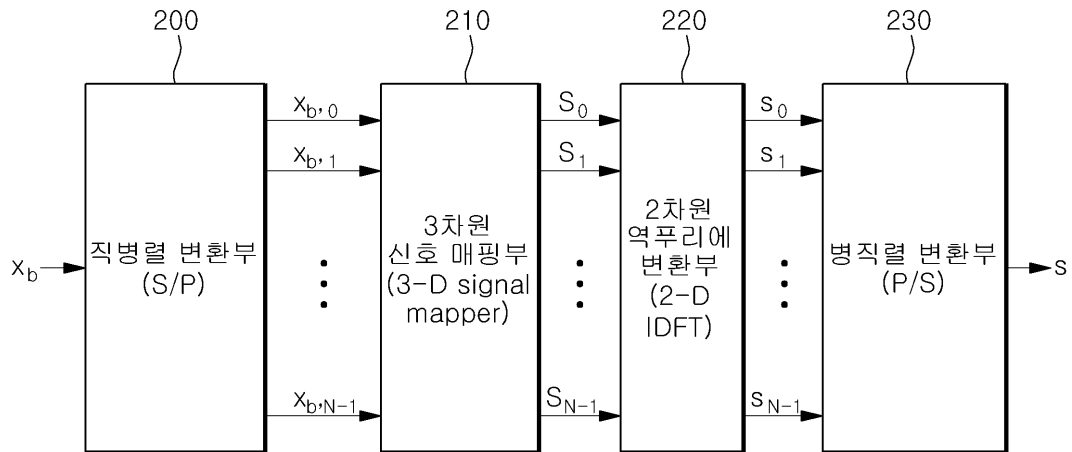
[0076] 본 발명의 일부 단계들은 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, CD-RW, 자기 테이프, 플로피디스크, HDD, 광 디스크, 광자기 저장장치 등이 있을 수 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어, 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 저장되고 실행될 수 있다.

[0077] 이상에서와 같이 도면과 명세서에서 최적의 실시예가 개시되었다. 여기서 특정한 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

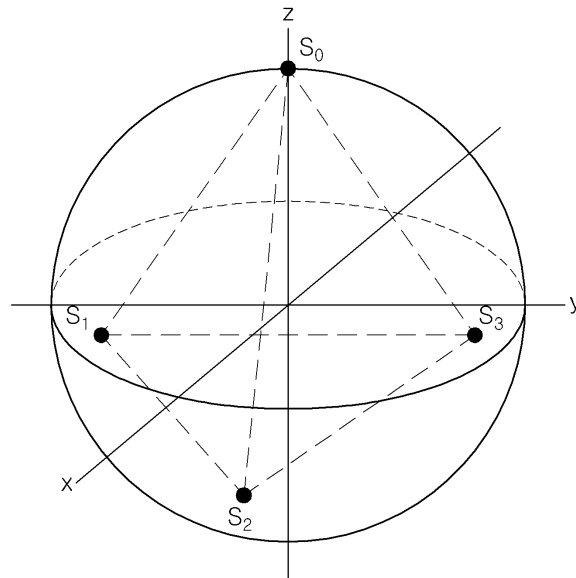
도면의 간단한 설명

- [0078] 도 1은 기존 디지털 통신이나 무선통신 시스템에서 이용되는 2차원 신호성상도를 나타낸 도면이다.
- [0079] 도 2는 기존 2차원 신호성상도를 신호매핑에 사용하는 직교주파수분할다중화 장치를 설명하기 위한 도면이다.
- [0080] 도 3은 본 발명에 따른 3차원 직교주파수분할다중화 장치를 설명하기 위한 블록도이다.
- [0081] 도 4는 구면에 내접하는 정사면체의 4개의 꼭지점을 신호점으로 이용하는 3차원 4진 신호성상도이다.
- [0082] 도 5는 도 4의 3차원 4진 신호성상도의 4개의 신호점에 대한 3차원 좌표값을 나타낸다.
- [0083] 도 6은 구면에 내접하는 정육면체의 8개 꼭지점을 신호점으로 이용하는 3차원 8진 신호성상도이다.
- [0084] 도 7은 도 6의 3차원 8진 신호성상도의 8개의 꼭지점에 대한 3차원 좌표값을 나타낸다.
- [0085] 도 8은 도 4의 3차원 4진 신호성상도를 이용한 도 3의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율과 도 1의 기존 2차원 신호성상도를 이용한 도 2의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율을 비교한 그래프이다.
- [0086] 도 9는 도 6에 도시된 3차원 8진 신호성상도를 이용한 도 3의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율과 도 1의 기존 2차원 신호성상도를 이용한 도 2의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율을 비교한 그래프이다.
- [0087] 도 10 및 도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 3차원 16진 신호성상도(큐브-인-큐브형)를 구현하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0088] 도 12 및 도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따른 3차원 16진 신호성상도(정사면체연결형)를 설명하기 위한 도면이다.
- [0089] 도 14는 본 발명 따른 3차원 16진 신호성상도를 이용한 도 3의 직교주파수분할다중화 장치의 심볼오율을 나타낸 도면이다.

도면3



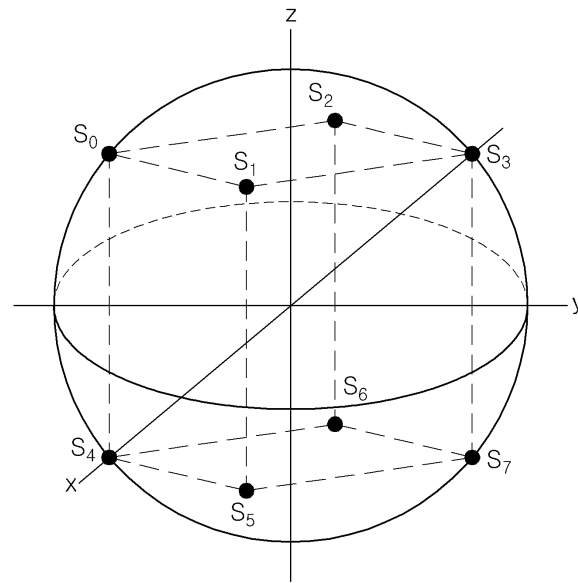
도면4



도면5

신호점의 개수=4			
신호점 기호	x축 좌표 값	y축 좌표 값	z축 좌표 값
S_0	0	0	1
S_1	$-\sqrt{2}/3$	$-\sqrt{6}/3$	$-1/3$
S_2	$2\sqrt{2}/3$	0	$-1/3$
S_3	$-\sqrt{2}/3$	$\sqrt{6}/3$	$-1/3$

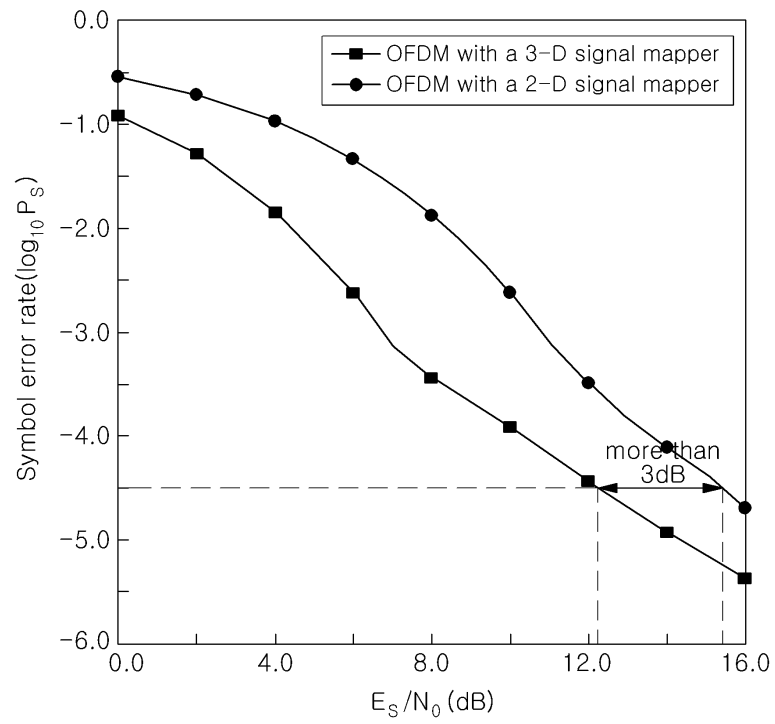
도면6



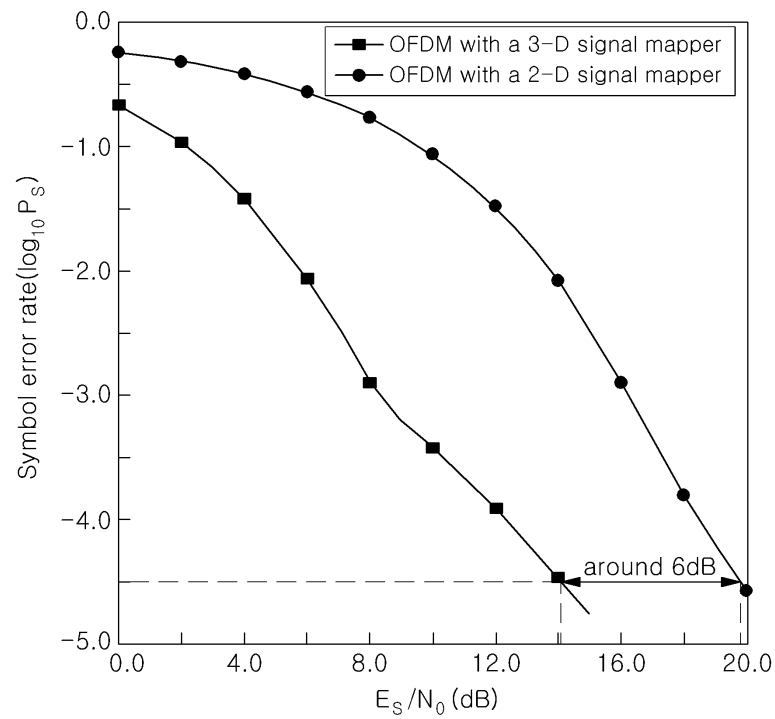
도면7

신호점의 개수=8			
신호점 기호	x축 좌표 값	y축 좌표 값	z축 좌표 값
S ₀	$\sqrt{3}/3$	$-\sqrt{3}/3$	$\sqrt{3}/3$
S ₁	$\sqrt{3}/3$	$\sqrt{3}/3$	$\sqrt{3}/3$
S ₂	$-\sqrt{3}/3$	$\sqrt{3}/3$	$\sqrt{3}/3$
S ₃	$-\sqrt{3}/3$	$-\sqrt{3}/3$	$\sqrt{3}/3$
S ₄	$\sqrt{3}/3$	$-\sqrt{3}/3$	$-\sqrt{3}/3$
S ₅	$\sqrt{3}/3$	$\sqrt{3}/3$	$-\sqrt{3}/3$
S ₆	$-\sqrt{3}/3$	$\sqrt{3}/3$	$-\sqrt{3}/3$
S ₇	$-\sqrt{3}/3$	$-\sqrt{3}/3$	$-\sqrt{3}/3$

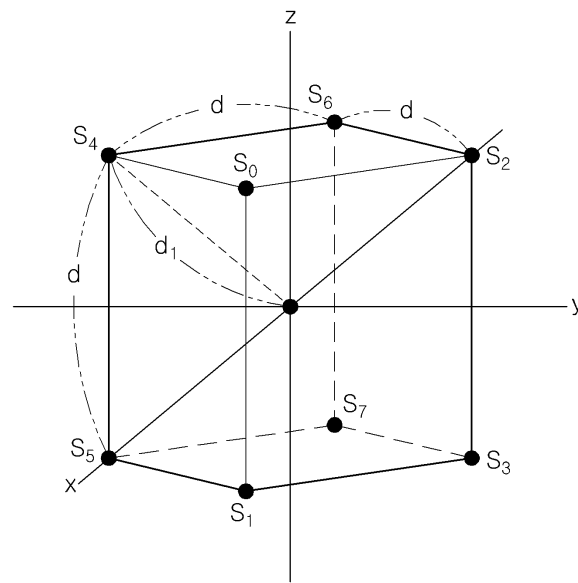
도면8



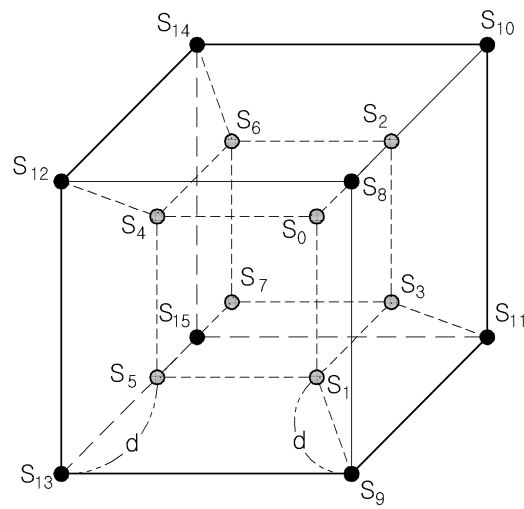
도면9



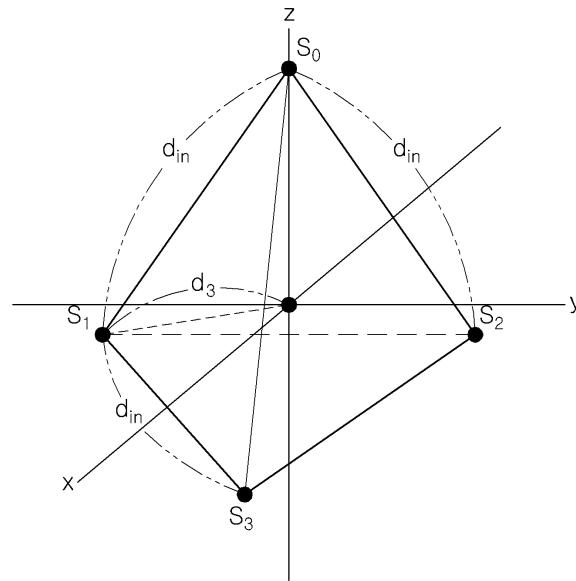
도면10



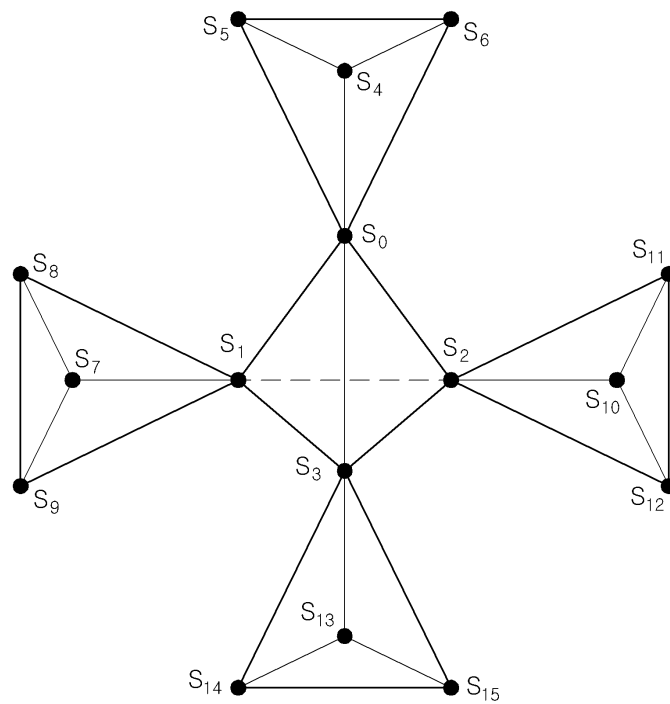
도면11



도면12



도면13



도면14

