



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0109611
(43) 공개일자 2012년10월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/04 (2006.01) H04L 27/26 (2006.01)
H04L 1/06 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7020709(분할)
(22) 출원일자(국제) 2008년12월17일
심사청구일자 없음
(62) 원출원 특허 10-2010-7016061
원출원일자(국제) 2008년12월17일
심사청구일자 2010년07월19일
(85) 번역문제출일자 2012년08월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2008/087094
(87) 국제공개번호 WO 2009/085792
국제공개일자 2009년07월09일
(30) 우선권주장
11/960,234 2007년12월19일 미국(US)

(71) 출원인
칼콤 인코포레이티드
미국 캘리포니아 샌디에고 모어하우스
드라이브5775 (우 92121-1714)
(72) 발명자
라키스, 이즈메일
미국 92121 캘리포니아 샌디에고 모어하우스 드라
이브 5775
(74) 대리인
남상선

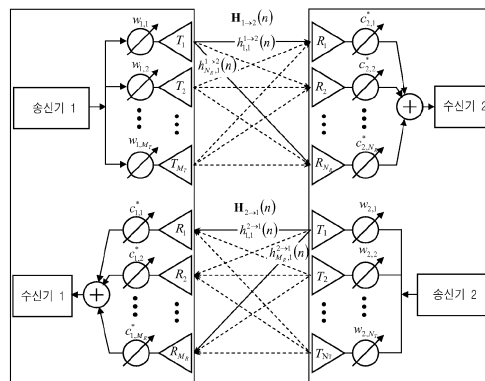
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 빔형성 방법, 프레임 포맷 사용 방법, 빔형성 및 결합 가중치 선택 방법, 빔 형성 장치, 가입자 디바이스, 피코넷 컨트롤러 및 컴퓨터 판독 가능한 매체

(57) 요약

빔형성 방법은 빔형성 코드북으로부터 빔형성 벡터들의 일 세트를 사용하는 송신기 배열로부터 트레이닝 시퀀스를 전송하는 단계를 포함한다. 수신 배열은 수신된 전송들로부터 채널 상태 정보를 획득하기 위해 결합 코드북을 사용하고, 선택되는 빔형성 벡터 및 선택되는 결합 벡터를 획득하기 위해 결합 코드북을 사용한다. 적어도 일 선택되는 빔형성 벡터 (및, 선택적으로, 선택되는 결합 벡터)는 전송 배열로 다시 전송된다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

제 1 장치 및 제 2 장치 사이의 빔형성 방법으로서,

상기 제 1 장치에 의해, 빔형성 코드북의 적어도 일 서브셋의 사용 및 결합(combining) 코드북의 적어도 일 서브셋의 사용에 의해 상기 제 2 장치로부터의 신호의 수신으로부터 채널 상태 정보(CSI)를 획득하는 단계;

상기 제 1 장치에 의해, 추정된 최적 빔형성 벡터 및 추정된 최적 결합 벡터를 생성하기 위해 상기 CSI로부터 최적 빔형성 벡터 및 최적 결합 벡터를 추정하는 단계; 및

상기 제1 장치로부터 상기 제2 장치로, 상기 추정된 최적 빔형성 벡터 및 상기 추정된 최적 결합 벡터 중 적어도 하나를 전송하는 단계를 포함하는,

빔형성 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 추정하는 단계는 최적성(optimality) 기준들(criteria)의 세트 중 적어도 하나의 최적성 기준(criterion)을 사용하는 것을 포함하고,

상기 세트는 유효(effective) 신호-대-잡음 비(SNR) 및 평균(mean) SNR을 포함하는,

빔형성 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 CSI를 획득하기 위해 사용되는 레이트 보다 낮은 레이트로 상기 빔형성 코드북의 상기 서브셋을 상기 제 1 장치에서 상기 제 2 장치로 전송함으로써 상기 CSI가 획득된 이후에 상기 CSI를 업데이트하는 단계, 및 상기 추정하는 단계 및 상기 전송하는 단계를 반복하는 단계를 더 포함하는,

빔형성 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 빔형성 코드북 및 상기 결합 코드북은 가중 벡터들의 세트들 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 세트는 적어도 하나의 이진 가중 벡터 및 적어도 하나의 직각 위상(quadrature) 가중 벡터를 포함하는,

빔형성 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 빔형성 코드북 및 상기 결합 코드북은 코드북들의 세트 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 세트는 퀴시-옵니(quasi-omni) 코드북 및 상보적(complementary) 골레이(Golay) 코드북을 포함하는,

빔형성 방법.

청구항 6

빔 형성을 위한 장치로서,

빔형성 코드북의 적어도 일 서브셋의 사용 및 결합 코드북의 적어도 일 서브셋의 사용에 의해 신호의 수신으로

부터 채널 상태 정보(CSI)를 획득하도록 구성된 수신기;

추정된 최적 빔형성 벡터 및 추정된 최적 결합 벡터를 생성하기 위해 상기 CSI로부터 최적 빔형성 벡터 및 최적 결합 벡터를 추정하도록 구성된 프로세서; 및

상기 추정된 최적 빔형성 벡터 및 상기 추정된 최적 결합 벡터 중 적어도 하나를 전송하도록 구성된 전송기를 포함하는,

빔 형성을 위한 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 프로세서는 최적성(optimality) 기준들(criteria)의 세트 중 적어도 하나의 최적성 기준(criterion)을 사용하여 구성되고,

상기 세트는 유효(effective) 신호-대-잡음 비(SNR) 및 평균(mean) SNR을 포함하는,

빔 형성을 위한 장치.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 CSI를 획득하기 위해 사용되는 레이트 보다 낮은 레이트로 상기 빔형성 코드북의 상기 서브셋을 전송함으로써 상기 CSI가 획득된 이후에 상기 CSI를 업데이트하도록 구성되는 회로를 더 포함하는,

빔 형성을 위한 장치.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 빔형성 코드북 및 상기 결합 코드북은 가중 벡터들의 세트들 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 세트는 적어도 하나의 이진 가중 벡터 및 적어도 하나의 직각 위상(quadrature) 가중 벡터를 포함하는,

빔 형성을 위한 장치.

청구항 10

제 6 항에 있어서,

상기 빔형성 코드북 및 상기 결합 코드북은 코드북들의 세트 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 세트는 퀴시-옴니 코드북 및 상보적인 골레이 코드북을 포함하는,

빔 형성을 위한 장치.

청구항 11

빔 형성을 위한 장치로서,

빔형성 코드북의 적어도 일 서브셋의 사용 및 결합 코드북의 적어도 일 서브셋의 사용에 의해 신호의 상기 수신으로부터 채널 상태 정보(CSI)를 획득하기 위한 수단;

추정된 최적 빔형성 벡터 및 추정된 최적 결합 벡터를 생성하기 위해 상기 CSI로부터 최적 빔형성 벡터 및 최적 결합 벡터를 추정하기 위한 수단; 및

상기 추정된 최적 빔형성 벡터 및 상기 추정된 최적 결합 벡터 중 적어도 하나를 전송하기 위한 수단을 포함하는,

빔 형성을 위한 장치.

청구항 12

통신을 위한 컴퓨터 판독 가능한 매체로서,

실행되면, 장치로 하여금,

빔형성 코드북의 적어도 일 서브셋의 사용 및 결합 코드북의 적어도 일 서브셋의 사용에 의해 신호의 상기 수신으로부터 채널 상태 정보(CSI)를 획득하고;

추정된 최적 빔형성 벡터 및 추정된 최적 결합 벡터를 생성하기 위해 상기 CSI로부터 최적 빔형성 벡터 및 최적 결합 벡터를 추정하고; 및

상기 추정된 최적 빔형성 벡터 및 상기 추정된 최적 결합 벡터 중 적어도 하나를 전송하게 하는 명령들을 포함하는,

컴퓨터 판독 가능한 매체.

청구항 13

가입자 디바이스로서,

하나 이상의 안테나들;

상기 하나 이상의 안테나들을 통해 빔형성 코드북의 적어도 일 서브셋의 사용 및 결합 코드북의 적어도 일 서브셋의 사용에 의해 신호의 수신으로부터 채널 상태 정보(CSI)를 획득하도록 구성된 수신기;

추정된 최적 빔형성 벡터 및 추정된 최적 결합 벡터를 생성하기 위해 상기 CSI로부터 최적 빔형성 벡터 및 최적 결합 벡터를 추정하도록 구성된 프로세서; 및

상기 추정된 최적 빔형성 벡터 및 상기 추정된 최적 결합 벡터 중 적어도 하나를 상기 하나 이상의 안테나들을 통해 전송하도록 구성된 전송기를 포함하는,

가입자 디바이스.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 무선 통신 시스템들에 관련된 것이며, 더 구체적으로 밀리미터-웨이브 무선 통신 시스템에서 빔형성에 관련된 것이다.

배경기술

[0002] 관련된 기술의 일 양상에서, 단일 캐리어 및 OFDM 변조를 지원하는 듀얼-모드 초-광대역(ultra-wideband;UWB) 물리 계층은 공통 모드를 사용한다. UWB 물리 계층은 밀리미터 웨이브(예를 들어, 60GHz) 통신을 위해 사용될 수 있다. 공통 모드는 단일-캐리어 및 비커닝(beaconing), 네트워크-제어 시그널링 및 기저-레이트 데이터 통신을 위한 OFDM 장치 모두에 의해 사용되는 단일-캐리어 모드이다. 공통 모드는 일반적으로 상이한 장치들 및 상이한 네트워크들 사이에서 상호동작가능성을 위해 필요하다.

[0003] 밀리미터-웨이브 통신들은 공간 다이버시티 및 배열 이득 모두를 제공하기 위해 MIMO(다중 입력 다중 출력) 빔형성을 사용할 수 있다. 고유-빔형성(Eigen-beamforming)과 같은, 일반적인 빔형성은 전송하는 배열에 리턴될 채널 상태 정보 행렬들 또는 빔형성 행렬들을 요구한다. IEEE 802.11n MAC/PHY Specifications D0.04, 2006년 3월은 피드백 행렬들의 행 및 열 크기들, 서브캐리어 그룹핑 크기(또는 클러스터 크기), 양자화 비트 크기, 및 가장 낮은 서브캐리어 인덱스로부터 가장 높은 서브캐리어 인덱스로 시작하는 실제 양자화된 데이터의 배열을 포함하는 피드백 정보를 특징한다. 프리코딩 행렬들을 사용하는 빔형성에 대하여, 피드백 정보는 IEEE 802.16e MAC/PHY Specifications D12, 2005 및, D.J. Love, R.W. Heath Jr., 및 T. Strohmer의 "Grassmannian Beamforming for Multiple-Input Multiple-Output Wireless Systems", IEEE Trans. Information Theory, Vol. 49, No. 10, 2003년 10월, pp. 2735-2747에 설명된 바와 같이 빔형성 행렬 콘텐츠들을 프리코딩-행렬 코드북의 인덱스들로 교체함으로써 감소될 수 있다.

발명의 내용

- [0004] 여기에 설명된 실시예들은 UWB 신호들을 사용하는 시스템들에 대해 효과적이다. 그러나, 발명은 이러한 시스템들에 제한되고자 하는 의도가 아니며, 다른 무선 시스템들은 유사한 효과로부터 이익을 얻을 수 있다.
- [0005] 본 발명의 일 실시예에서, 피코넷 컨트롤러는 하나 이상의 보다 많은 무선 가입자 장치들로 시그널링하기 위한 프레임 포맷을 사용한다. 피코넷 컨트롤러 및 하나 이상의 가입자 장치들 각각은 안테나 배열들을 사용한다. 피코넷 컨트롤러는 복수의 전송 세그먼트들을 포함하는 프레임 포맷을 이용하여 신호를 전송하고, 여기서 상기 복수의 전송 세그먼트들 각각은 미리 결정된 빔형성 코드북과 상이한 빔 패턴으로 전송된다.
- [0006] 프레임 포맷은 또한 피코넷 컨트롤러가 하나 이상의 가입자 장치들로부터 피드백(예를 들어, 확인응답)을 청취하도록 하는 청취 기간을 제공한다. 피코넷 컨트롤러는 각각의 가입자 장치에 의해 계산되는 신호되는 빔형성 가중치들을 수신하고 하나 이상의 가입자 장치들과 통신하기 위해 자신의 배열의 빔형성 가중치들을 사용한다. 피코넷 컨트롤러는 또한 각각의 가입자 장치들의 계산된 결합 가중치들을 수신할 수 있다.
- [0007] 본 발명의 일 실시예에서, 피코넷 컨트롤러는 자신이 피코넷 컨트롤러가 하나 이상의 가입자 장치들에 대한 데이터 소스인 경우 수퍼프레임의 비컨 부분을 사용하는 선행 빔형성을 수행할 수 있다. 다른 실시예에서, 피코넷 컨트롤러는 온-디맨드 빔형성을 수행할 수 있으며, 이는 수퍼 프레임의 채널 시간 할당(CTA) 부분을 사용한다. 온-디맨드 빔형성은 일반적으로 두 개의 장치들 사이에서(예를 들어, 피코넷 컨트롤러 및 가입자 장치 사이에서, 또는 두 개의 가입자 장치들 사이에서) 수행된다.
- [0008] 비컨 부분은 퀴시-옴니 섹션 및 방향성 섹션을 포함한다. 퀴시-옴니 섹션은, 전송 세그먼트들로서도 지칭되는, 피코넷 컨트롤러 주변의 상이한 (그리고 가능하게는 중첩되는) 지리적 영역을 커버하는 복수의 동일한 (identical) 퀴시-옴니(Q-omni) 서브 비컨들(S-beacons)을 포함할 수 있다. 각각의 Q-옴니 S-비컨은 Q-옴니 코드북으로부터 선택된 상이한 Q-옴니 빔형성 패턴을 이용하여 전송된다. 하나의 Q-옴니 빔형성 벡터는 Q-옴니 서브-비컨 전송마다 사용된다.
- [0009] 청취 기간은 또한 복수의 수신 세그먼트들을 포함한다. 예를 들어, 결합 액세스 기간(CAP)은 복수의 서브-CAP들로 분할될 수 있다. 1번째 서브-CAP 동안, 피코넷 컨트롤러는 수신 모드에 있으며, 이는 1번째 Q-옴니 비컨 동안 전송을 위해 사용되는 동일한 Q-옴니 빔형성기 벡터를 사용한다.
- [0010] 퀴시-옴니 전송들은 방향성 트레이닝 섹션들의 구조에 관련되는 정보를 전달하고, 방향성 트레이닝 섹션들은 채널 상태 정보(CSI) 획득 및 추정을 인에이블한다. 방향성 섹션은 (전송 세그먼트들로서도 지칭될 수 있는) 트레이닝 시퀀스의 복수의 반복(repetition)들을 포함하고, 여기서, 각각의 반복은 직교 (또는 퀴시-직교) 코드북과 상이한 직교 또는 퀴시-직교 빔형성 벡터를 이용하여 피코넷 컨트롤러에 의해 전송된다.
- [0011] 출원인은 하나 이상의 가입자 장치들과 통신하는 피코넷 컨트롤러와 관련하여 설명된 프레임 포맷들 및 방법들이 이 피코넷 컨트롤러 및/또는 다른 가입자 장치들과 통신하는 가입자 장치들에 의해 사용될 수 있음을 이해한다.
- [0012] 본 발명의 다른 양상에서, 피코넷의 가입자 장치는 빔형성 및 결합 가중치들을 선택하기 위해 구성된다. 가입자 장치 및 피코넷 컨트롤러는 둘 다 안테나 배열들을 포함한다. 가입자 장치는 피코넷 컨트롤러에 의해 전송되는 복수의 전송 세그먼트들을 포함한다. 복수의 전송 세그먼트들 각각은 미리 결정된 빔형성 코드북과 상이한 빔 패턴으로 전송된다. 가입자 장치는 복수의 전송 세그먼트들 중 적어도 일 서브셋을 수신하고 신호되는 빔형성 벡터를 그로부터 추정한다. 가입자 장치는 또한 자신이 수신하는 신호되는 결합 벡터를 프로세싱을 위해 추정한다. 적어도 신호되는 빔형성 벡터는 청취 기간 동안 피코넷 컨트롤러로 다시 전송된다.
- [0013] 출원인은 피코넷 컨트롤러와 통신하는 가입자 장치와 관련하여 설명된 프레임 포맷들 및 방법들이 하나 이상의 가입자 장치들과 통신하는 피코넷 컨트롤러에 의해 사용될 수 있음을 이해한다.
- [0014] 본 발명의 추가적인 실시예에서, 퀴시-옴니 획득 시그널링 프로토콜은 자신이 L 개의 청취 기간들 중 하나의(즉, 1번째 청취 기간에서) ACK를 수신할 때까지 L 개의 청취 기간들에 후속하는 L개의 퀴시-옴니 패킷들을 전송하는 제 1 트랜시버를 포함한다. 제 1 트랜시버는 Q-옴니 코드북으로부터 전송을 위해 1번째 Q-옴니 방향을 선택한다. 제 2 트랜시버는 자신의 최적의(best) Q-옴니 수신 방향을 기록하고 이를 장래의 Q-옴니 수신을 위해 사용한다.
- [0015] 본 발명의 실시예들은, 제 1 트랜시버로부터 제 2 트랜시버로의 주기적인 전송을 사용하는 방향성 트레이닝에 대한 프레임 포맷을 제공할 수도 있다. 예를 들어, 제 1 트랜시버에 의해 전송되는 방향성 트레이닝 시퀀스들

의 일 사이클은 선택된 코드북의 일 서브셋으로부터 모든 J 개의 직교(퀴시-직교) 빔형성 벡터들에 대응할 수 있다. 각각의 사이클은 제 2 트랜시버로부터의 임의의 피드백(ACK)을 청취하기 위해 청취 기간에 후속한다.

[0016] 제 1 트랜시버는 제 2 트랜시버가 CSI, $H_{1 \rightarrow 2}(n)$ ($n=0,1,\dots,N-1$)를 획득하거나 또는 적합한 LQI를 찾을 때까지 상기 기간을 반복한다. 제 2 트랜시버는 w_1 및 c_2 를 추정하고 청취(ACK) 기간 동안 제 1 트랜시버에 적어도 w_1 빔형성 추정을 연결한다. 제 1 트랜시버는 w_1 빔형성 추정을 사용하고, 제 2 트랜시버는 다운링크(1→2) 데이터 통신을 위한 c_2 결합 추정을 사용한다. 이러한 추정들은 계속되는 추적 단계 동안 업데이트될 수 있다. 또한, 이 절차는 업링크 (예를 들어, 2→1 데이터 통신)을 위해 수행될 수 있다.

[0017] 본 발명의 실시예들은 최소 프로세싱 복잡성을 위해 최적화되어, 실-시간 애플리케이션들에 대한 적합성, 빠른 업데이트, 낮은 전력 소모 및/또는 저 비용 프로세싱 컴포넌트들을 가능하도록 할 수 있다. 본 발명의 특정한 실시예들은 이전에 열거된 특성들 및 이점들 및/또는 선택적인 특성들 및 이점들을 위해 제공하도록 구성될 수 있다.

[0018] 특정한 실시예들이 여기에 설명되었으나, 이러한 실시예들의 많은 변형들 및 수정들이 본 발명의 범위 및 사상 내에 포함될 것이다. 선호되는 실시예들의 임의의 이점 및 효과들이 언급되었으나, 본 발명의 범위는 특정한 이점들, 사용들 및 목적들에 제한되기 위한 의도가 아니다. 오히려, 본 발명의 실시예들은 상이한 무선 기술들, 시스템 구성들, 네트워크들, 및 전송 프로토콜들에 널리 적용가능하기 위한 의도를 지니며, 이들 중 일부는 선호되는 실시예들의 다음 설명 및 도면들에서 예시로서 도시된다. 상세한 설명 및 도면들은 단순히 첨부된 청구범위 및 그 균등물에 의해 정의되는 본 발명의 범위를 제한하기보다 본 발명을 단순히 설명하기 위한 것이다.

도면의 간단한 설명

[0019] 본 발명에 따른 실시예들은 다음의 도면들을 참조하여 이해된다.

도 1은 비대칭 안테나 시스템의 블록 다이어그램이며, 이는 본 발명의 실시예들에 따라 사용될 수 있다.

도 2A는 본 발명의 실시예에 따른 제 1 트랜시버 및 제 2 트랜시버 사이의 빔형성 방법을 도시한다.

도 2B는 본 발명의 일 실시예에 따른 빔형성-추적 방법을 도시한다.

도 3A는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 가지는 2-엘리먼트 배열에 대한 직교 안테나 배열 패턴들의 쌍 및 이진 빔형성 결합 가중치들 도시한다.

도 3B는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 가지는 3-엘리먼트 선형 배열에 대한 직교 안테나 배열 패턴들의 쌍 및 이진 빔형성 결합 가중치들 도시한다.

도 3C는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 가지는 4-엘리먼트 선형 배열에 의해 생성되는 4 개의 직교 빔 패턴들 및 이진 빔형성 결합 가중치들 도시한다.

도 3D는 5-엘리먼트 직교 배열의 5 개의 직교 빔 패턴들을 보여준다.

도 3E는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 가지는 6-엘리먼트 선형 배열의 빔 패턴들을 도시한다.

도 3F는 $\lambda/2$ 스페이싱을 가지는 7-엘리먼트 선형 배열의 직교 빔 패턴들을 도시한다.

도 3G는 $\lambda/2$ 스페이싱을 가지는 8-엘리먼트 선형 배열의 8개의 직교 빔 패턴들을 도시한다.

도 4A는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 가지는 2-엘리먼트 배열에 대한 4 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 4B는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 가지는 3-엘리먼트 배열에 대한 4 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 4C는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 4-엘리먼트 배열에 대한 4 개의 직교 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 4D는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱 및 직각 위상 가중치들을 사용하는 4-엘리먼트 배열에 대한 선택적인 코드북

에 대응하는 빔 패턴들을 보여준다.

도 4E는 4-엘리먼트 배열에 대한 연장된 코드북에 대응하는 빔 패턴들을 보여준다.

도 4F는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 5-엘리먼트 배열에 대한 6 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 4G는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 5-엘리먼트 배열에 의해 생산될 수 있는 8개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 4H는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 6-엘리먼트 배열에 대한 6개의 비-직교 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 4I는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 6-엘리먼트 배열에 대한 8 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 4J는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 7-엘리먼트 배열에 대한 8 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 4K는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 8-엘리먼트 배열에 대한 8 개의 직교 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 4L는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 8-엘리먼트 배열에 대한 12 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 4M은 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 8-엘리먼트 배열에 대한 16 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다.

도 5A는 두 개의 직교 빔형성 (또는 결합) 벡터들을 포함하는 2-엘리먼트 배열에 대한 두 개의 상보적인 골레이 (Golay) 패턴들을 도시한다.

도 5B는 3-엘리먼트 안테나 배열에 대한 3개의 쿼시-직교 빔 패턴들을 보여준다.

도 5C는 4-엘리먼트 배열에 대한 골레이 상보적 패턴들의 쌍을 보여준다.

도 5D는 3 개의 쿼시-직교 빔-형성 벡터들을 포함하는 5-엘리먼트 배열에 대한 코드북에 대응하는 3 개의 쿼시-직교 빔 패턴들을 도시한다.

도 5E는 6-엘리먼트 배열에 대한 코드북에 대응하는 3개의 쿼시-직교 빔 패턴들을 도시한다.

도 5F는 7-엘리먼트 배열에 대한 코드북에 대응하는 3개의 쿼시-직교 빔 패턴들을 도시한다.

도 5G는 8-엘리먼트 배열에 대한 두 개의 상보적인 골레이 벡터들로부터 생성되는 빔 패턴들의 쌍을 도시한다.

도 6A는 2-엘리먼트 배열에 대한 쿼시-옴니 빔 패턴들의 쌍을 도시한다.

도 6B는 직각 위상 가중치들을 사용하는 3-엘리먼트 배열에 대한 쿼시-옴니 빔 패턴들의 쌍을 도시한다.

도 6C는 직각 위상 가중치들을 가진 4-엘리먼트 배열에 의해 생성되는 두 개의 상보적인 골레이 패턴들의 플롯이다.

도 6D는 5-엘리먼트 배열에 의해 생성되는 2.55dB의 최대 방향성을 가진 쿼시-옴니 패턴을 도시한다.

도 7A-7D는 쿼시-옴니 코드북의 벡터들에 대응하는 6-엘리먼트 배열에 대한 쿼시-옴니 빔 패턴들을 도시한다.

도 8A는 6-엘리먼트 배열에 의해 생성되는 골레이 상보적 패턴들의 쌍을 도시한다.

도 8B는 직각 위상 가중 벡터들을 가진 7-엘리먼트 배열에 의해 생성되는 3 개의 쿼시-옴니 빔 패턴들을 도시한다.

도 8C는 직각 위상 가중 벡터들을 가진 8-엘리먼트 배열에 의해 생성되는 상보적인 빔 패턴들의 쌍을 도시한다.

도 9는 본 발명의 실시예들에 따라 사용될 수 있는 수퍼프레임을 도시한다.

도 10A는 OFDM에 대한 S-비컨의 패킷 구조를 도시한다.

- 도 10B는 단일 캐리어(SC) 시그널링에 대한 S-비컨의 패킷 구조를 도시한다.
- 도 11A는 짧은 OFDM 트레이닝 시퀀스를 도시한다.
- 도 11B는 긴 OFDM 트레이닝 시퀀스를 도시한다.
- 도 11C는 짧은 단일-캐리어 트레이닝 시퀀스를 도시한다.
- 도 11D는 긴 단일-캐리어 트레이닝 시퀀스를 도시한다.
- 도 12A는 복수의 (M개) 사이클들을 포함하는 수퍼프레임을 도시한다.
- 도 12B는 복수의 (M개) 수퍼프레임들을 포함하는 사이클을 도시한다.
- 도 13A는 전송 프레임의 빔형성 정보 엘리먼트를 도시한다.
- 도 13B는 빔형성 정보 엘리먼트의 안테나 배열 정보 부분을 도시한다.
- 도 13C는 빔형성 정보 엘리먼트의 트레이닝 시퀀스 정보 부분을 도시한다.
- 도 14A는 본 발명의 실시예에서 사용될 수 있는 수퍼프레임을 도시한다.
- 도 14B는 본 발명의 실시예에 따른 쿼시-옵티믹 획득 시그널링 프로토콜을 도시한다.
- 도 15는 제 1 트랜시버로부터 제 2 트랜시버로의 주기적 전송을 사용하는 방향성 트레이닝에 대한 프레임 포맷을 도시한다.
- 도 16A는 본 발명의 일 실시예에 따른 사전 빔형성을 수행하기 위한 방법을 도시한다.
- 도 16B는 본 발명의 일 실시예에 따른 온-디맨드 빔형성을 수행하기 위한 방법을 도시한다.
- 도 17A는 본 발명의 일 실시예에 따른 SAS를 위한 온-디맨드 빔형성 방법의 플로우 다이어그램이다.
- 도 17B는 본 발명의 일 실시예에 따른 AAS를 위한 온-디맨드 빔형성 방법의 단계들을 도시한다.
- 도 18A는 도 15에 도시된 프레임 포맷을 사용하는 본 발명의 일 실시예에 따르는 방법을 도시한다.
- 도 18B는 본 발명의 선택적인 실시예에 따른 방법을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 따라서, 본 명세서의 실시예들은 다양한 수정 및 선택적인 형태가 가능하며, 이들의 특정한 예시적인 실시예들은 도면에서 예로서 도시되며, 여기에서 상세히 설명될 것이다. 그러나, 본 발명을 개시된 특정한 형태로 제한하고자 하는 의도가 없으며, 반대로, 본 발명은 모든 수정들, 균등물들 및 본 발명의 내용 및 범위 내에 속하는 대안들을 커버한다. 유사한 번호들은 도면의 설명에 걸쳐 유사한 엘리먼트들을 지칭한다.
- [0021] 임의의 선택적인 구현들에서, 블록들에 표시된 기능들/동작들은 플로우차트에 표시된 순서와 다르게 발생할 수 있음을 알아야한다. 예를 들어, 연속으로 도시된 두 개의 블록들은 사실 실질적으로 동시에 실행될 수 있으며, 때때로 관련된 기능 및 절차들에 따라 역 방향으로 실행될 수 있다.
- [0022] 전송 및 수신 둘 다를 위해 동일한 안테나(들)를 사용하는 트랜시버는 대칭 안테나 시스템(SAS)로서 지칭된다. 전송을 위해 안테나들의 일 세트와, 수신을 위해 안테나들의 다른 세트를 사용하는(도 1에 도시된 바와 같이) 트랜시버들은 비대칭 안테나 시스템(AAS)로 지칭된다. 제 1 트랜시버는 M_T 개의 전송 안테나들 및 M_R 개의 수신 안테나들을 사용한다. 제 2 트랜시버(102)는 N_T 개의 전송 안테나들 및 N_R 개의 수신 안테나들을 사용한다.
- [0023] 채널 모델 $H_{1 \rightarrow 2}$ 는 트랜시버(101)가 트랜시버(102)로 신호들을 전송하는 경우 전파(propagation) 환경을 표현하기 위해 사용된다. 유사하게, 채널 모델 $H_{2 \rightarrow 1}$ 은 트랜시버(102)가 트랜시버(101)로 신호들을 전송하는 경우 전파(propagation) 환경을 표현하기 위해 사용된다. 채널 모델들은 관련된 기술에서 사용될 수 있는 가능한 안테나 구성들 중 어떤 것이라도 표현하기 위해 사용될 수 있다. 또한, 채널 모델들은 상이한 전송 프로토콜들을 표현하기 위해 사용될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 순환 프리픽스 및 N개의 서브캐리어들의 FFT 길이를 가진 OFDM 시그널링은 버스트 길이 N을 가진 순환 프리픽스를 가진 단일 캐리어(SC)인 전송과 동일한 채널 모델을 사용할 수 있다. 이러한 경우, 순환 프리픽스는 안테나 엘리먼트의 임의의 전송-수신 쌍 사이에 확산된 다

중 경로 지연보다 더 긴 것으로 가정하는 것이 일반적이다.

[0024] OFDM 심벌 스트림 또는 제 1 트랜시버(101)에서 생성된 SC 버스트 $x(t)$ 는,

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N-1} s_k \delta(t - kT_c)$$

에 의해 표현되며, 여기서 T_c 는 샘플(또는 칩) 듀레이션이고, s_k 는 복소 데이터를 나타낸다. 심벌 스트림은 통신 채널로 전송되기 이전에 빔형성 벡터 $\mathbf{w}_1 = [w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{1,M_T}]^T$ 에 의해 변조된다. MIMO 채널은 주파수 도메인 채널 상태 정보(CSI)에 의해 다음과 같이 표현될 수 있다:

[0025] $\mathbf{H}_{1 \rightarrow 2}(n) \in C^{M_T \times N_R}$ 주파수 비트 수 n 에서,

$$\mathbf{H}_{1 \rightarrow 2}(n) = \begin{bmatrix} h_{1,1}^{1 \rightarrow 2}(n) & h_{1,2}^{1 \rightarrow 2}(n) & \cdots & h_{1,N_R}^{1 \rightarrow 2}(n) \\ h_{2,1}^{1 \rightarrow 2}(n) & h_{2,2}^{1 \rightarrow 2}(n) & \cdots & h_{2,N_R}^{1 \rightarrow 2}(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M_T,1}^{1 \rightarrow 2}(n) & h_{M_T,2}^{1 \rightarrow 2}(n) & \cdots & h_{M_T,N_R}^{1 \rightarrow 2}(n) \end{bmatrix}$$

와 같으며, 여기서 단위 $h_{i,j}(n)$ 은 제 1 트랜시버의 j 번째 전송 안테나 및 제 2 트랜시버의 i 번째 전송 안테나 사이의 채널 응답에 따라, 전송 및 수신 필터링 모듈을 포함한다.

[0026] 제 2 트랜시버에서 수신되는 신호들은 결합된 기저대역 신호

$$y(t) = \mathbf{c}_2^H \left[\sum s_k \delta(t - kT_c) \otimes \mathbf{H}_{1 \rightarrow 2}(t) \mathbf{w}_1 + \mathbf{b}(t) \right]$$

를 생성하기 위해 결합 벡터

$$\mathbf{c}_2 = [c_{2,1} \quad c_{2,2} \quad \cdots \quad c_{2,N_R}]^T$$

를 이용하여 프로세싱되며, 여기서 $\mathbf{b}(t)$ 는 제 2 트랜시버의 수신 안테나들에 걸친 부가 백색 가우시안(Gaussian) 잡음 벡터이다.

[0027] 제 1 트랜시버의 송신기 및 제 2 트랜시버의 수신기 사이의 이산 채널 모델은 단일 입력 단일 출력(SISO) 채널에 의해 표현되며,

$$y_r = \mathbf{c}_2^H \sum_{k=0}^{L-1} \mathbf{H}_k s_{r-k} \mathbf{w}_1 + \mathbf{c}_2 \mathbf{b}_l = \sum_{k=0}^{L-1} p_k s_{r-k} + b_l$$

여기서 $p_k = \mathbf{c}_2^H \mathbf{H}_k \mathbf{w}_1$ 이고,

여기서, i 는 OFDM 샘플(또는 단일-캐리어 버스트) 내의 샘플(또는 칩) 인덱스를 표시한다. SISO 채널은 다음과 같이 주어지는 주파수 빈들 $n=0, 1, \dots, N-1$ 에서의 주파수 응답을 가진다:

$$P_n = \mathbf{c}_2^H \mathbf{H}_{1 \rightarrow 2}(n) \mathbf{w}_1.$$

[0028] 이산 주파수 수신된 신호 모델은:

$$\mathbf{Y}_n = \mathbf{P}_n \mathbf{S}_n + \mathbf{B}_n,$$

이며, 여기서, $[S_0, S_1, \dots, S_N]$ 은 OFDM 데이터 심벌(또는 SC 데이터 버스트의 FFT)이고, $[B_0, B_1, \dots, B_N]$ 은 부가 백색 가우시안 잡음 벡터이다.

[0029] 제 2 트랜시버의 송신기 및 제 1 트랜시버의 수신기 사이의 채널을 표현하는 채널 모델은 주파수 빈들 $n=0, 1, \dots, N-1$ 에 대하여 다음과 같이 주어진다:

$$Q_n = \mathbf{c}_2^H \mathbf{H}_{2 \rightarrow 1}(n) \mathbf{w}_2$$

OFDM 및 SC 둘 다에 대하여, n 번

제 서브캐리어에 대한 신호 대 잡음 비(SNR)는 다음과 같이 주어진다:

$$SNR_n^{1 \rightarrow 2} = \frac{E_s |P_n|^2}{N_0} = \frac{E_s |\mathbf{c}_2^H \mathbf{H}_{1 \rightarrow 2}(n) \mathbf{w}_1|^2}{N_0}, \quad SNR_n^{2 \rightarrow 1} = \frac{E_s |Q_n|^2}{N_0} = \frac{E_s |\mathbf{c}_1^H \mathbf{H}_{2 \rightarrow 1}(n) \mathbf{w}_2|^2}{N_0}$$

[0030] 유효(effective) SNR(ESNR)은 순간(instantaneous) 서브캐리어 SNR로부터 순방향 오류 수정(Forward Error Correction; FEC)을 고려하는 등가 SNR로 매핑함으로써 정의된다. ESNR을 계산하기 위해 사용될 수 있는 많은 방법들이 존재하며, 이 방법은, 상이한 서브캐리어들에 걸쳐 SNR들의 평균을 계산하는 것; (3GPP2 및 1xEV-DV/DO 통신 시스템들에서 흔히 사용되는 바와 같이) 퀴시-통계 방법(Quasi-Static Method)을 사용하는 것; 용량 유효 SINR 매핑(Capacity effective SINR mapping; CESM)을 사용하는 것(이는 또한 3GPP2 및 1xEV-DV/DO 통신 시스템들에서 사용됨); 볼록 메트릭(Convex Metric)에 기초하여 CESM 기술을 사용하는 것(이는 3GPP2 및 1xEV-DV/DO에서 사용될 수 있음); 그리고, 또한 3GPP2에서 사용되는 EESM(Exponential Effective SINR Mapping)을 사용하는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0031] 상이한 ESNR 계산 방법들은 SC 및 OFDM에 대하여 사용될 수 있다. 예를 들어, MMSE(Minimum Mean Square Error) SC 등화기는 일반적으로 상이한 서브캐리어들에 걸쳐 SNR들의 평균에 의해 추정될 수 있는 ESNR을 가진다. 그러나, OFDM은 상이한 서브캐리어들에 걸쳐 SNR들의 기하 평균(geometric mean)을 이용하여 가장 잘 추정될 수 있는 ESNR을 가지는 경향이 있다. 다양한 ESNR-계산 방법들은 FEC, 수신기 결함(imperfection)들, 및/또는 비트-에러 레이트(BER)과 같은 추가적인 파라미터들을 고려하도록 추가적으로 구성될 수 있다.

[0032] 본 발명의 실시예들은 ESNR과 같은 적어도 하나의 신호-품질 파라미터를 최대화하는 빔형성 벡터들(\mathbf{w}_1 및 \mathbf{w}_2) 및 결합 벡터들(\mathbf{c}_1 및 \mathbf{c}_2)을 선택하도록 구성되는 하나 이상의 빔형성 알고리즘들을 제공할 수 있다. 일반적인 AAS 경우에서, 제 1 트랜시버(101)는 제 2 트랜시버(102)로의 알려진 정보를 전송할 수 있으며, 그 후 제 2 트랜시버(102)는 채널 상태 정보를 특성화하는 행렬들을 유도한다. 이는 \mathbf{w}_1 및 \mathbf{c}_2 의 추정들이 계산되도록 한다. 제 2 트랜시버(102)는 \mathbf{w}_2 및 \mathbf{c}_1 의 추정들이 계산되도록 하는 채널 상태 정보를 제공하기 위해 제 1 트랜시버(101)로 알려진 정보를 전송할 수 있다. 본 발명의 임의의 실시예들은 알려진 데이터 심벌들, 파일럿 신호들 또는 채널 상태 정보를 획득하기 위해 전송될 다른 트레이닝 정보를 사용할 수 있다. 선택적인 실시예들은 블라인드(blind) 적응 프로세싱 또는 채널 상태 정보를 유도하기 위해 알려지지 않은 전송된 데이터를 사용하는 다른 기술들을 사용할 수 있다.

[0033] AAS에서, 링크의 양방향들은 벡터들 \mathbf{w}_1 , \mathbf{w}_2 , \mathbf{c}_2 , 및 \mathbf{c}_1 을 추정하기 위해 사용된다. SAS에서, 특정한 방향의 빔형성 벡터들 \mathbf{w}_1 , \mathbf{w}_2 및 결합 벡터들 \mathbf{c}_2 및 \mathbf{c}_1 이 동일하여야 한다. 따라서, $\mathbf{w}_1 = \mathbf{w}_2$ 및 $\mathbf{c}_2 = \mathbf{c}_1$ 이며, 링크의 한 방향만이 벡터들 \mathbf{w}_1 , \mathbf{w}_2 , \mathbf{c}_2 , 및 \mathbf{c}_1 을 계산하기 위해 사용될 수 있다.

[0034] 도 2A는 본 발명의 일 실시예에 다른 제 1 트랜시버 및 제 2 트랜시버 사이의 빔형성 방법을 도시한다. 예를 들어, 하나의 트랜시버는 피코넷 컨트롤러일 수 있으며, 다른 트랜시버는 피코넷 가입자 장치일 수 있다. 채널 상태 정보(CSI) 획득 단계(201)는 제 2 트랜시버가 제 1 CSI 행렬을 획득하도록 하고, 제 1 CSI 행렬은 제 1 트랜시버의 최적(또는 선호되는) 빔형성 벡터 \mathbf{w}_1 및 제 2 트랜시버의 최적(또는 선호되는) 결합 벡터 \mathbf{c}_2 를 추정하기 위해 사용된다. CSI 획득 단계는 제 1 트랜시버가 빔형성 코드북의 서브셋을 전송하도록 구성하는 단계(211)를 포함할 수 있다. 또한, 제 2 트랜시버는 제 1 CSI 행렬을 획득하기 위해 결합 코드북의 서브셋을 사용하도록 구성될 수 있다(212).

[0035] 추정하는 단계(202)는 최적 빔형성 벡터 \mathbf{w}_1 및 최적 결합 벡터 \mathbf{c}_2 를 생성하는 단계를 포함한다. 용어들 최적 빔형성 벡터 및 최적 결합 벡터는 최적 값의 추정을 나타내며, 이러한 추정들의 최적성(optimality)은 하나 이상의 프로세싱 제약들과 관련하여 제한될 수 있으며, 이러한 제한들은, 양자화로 인한 정보의 손실을 포함하나 이에 제한되지 않으며, 계산적인 복잡성 및 반복된 계산들의 수를 제한하는, 제한된 프로세싱 시간을 감소시키기 위해 일부 정확성 및/또는 정밀성을 희생하는 가정들을 단순화한다. 다른 제약들이 적용될 수 있다. 예를 들어, 임의의 실시예들에서, 미리 결정된 임계값 이상의 신호-품질 메트릭을 야기하는 빔형성 및/또는 결합 벡터는 사용가능한 벡터들의 서브셋에 상대적으로 최적인 것으로 간주될 수 있다. 따라서, 용어 "선호되는 빔형성 벡터"는 여기에 사용되는 바와 같이 최적 빔형성 벡터와 균등하다. 유사하게, 용어 "선호되는 결합 벡터"는 최적 결합 벡터와 균등하다. 추정(202)은 EESM 또는 평균 SNR과 같은 다양한 최적성 기준 중 어느 것이라도 사용할 수 있다.

[0036] 피드백 단계(203)는 제 1 트랜시버(101)로 최적 빔형성 벡터 \mathbf{w}_1 (그리고, 선택적으로, 최적 결합 벡터 \mathbf{c}_2)를 전송하는 것을 제공한다. AAS 시스템에 대하여, 단계들(201 내지 203)이 반복되고, 여기서 "제 1 트랜시버" 및 "제 2 트랜시버"의 지정이 바뀐다. 따라서, 최적 빔형성 벡터 \mathbf{w}_2 및 최적 결합 벡터 \mathbf{c}_1 이 추정된다.

[0037] 도 2B는 본 발명의 일 실시예에 따른 빔형성-추적 방법을 도시한다. 추적 단계(204)는 빔형성 및 결합 벡터들을 추적하는 단계를 제공한다. 추적 단계(204)는 빔형성 및 결합 벡터들을 추적하는 것을 제공한다. 추적 단계(204)는 획득 단계와 유사하나, 제 1 트랜시버가 획득(201)동안 사용된 레이트 보다 낮은 레이트로 빔형성 코드북의 서브셋을 전송한다는 것을 제외하고 유사하다. 유사하게, 더 낮은-레이트 업데이트들(205)은 최적 빔형성 벡터 \mathbf{w}_1 및 최적 결합 벡터 \mathbf{c}_2 에 대하여 수행되며, 값들 \mathbf{w}_1 및 \mathbf{c}_2 는 제 1 트랜시버(201)로 피드백 된다(206). AAS 시스템에 대하여, 단계들(204 내지 206)은 반복되며, 여기서 "제 1 트랜시버" 및 "제 2 트랜시버"의 지정이 바뀐다. 따라서, 최적 빔형성 벡터 \mathbf{w}_2 및 최적 결합 벡터 \mathbf{c}_1 이 업데이트된다.

[0038] N 개의 엘리먼트를 가진 균일하게 스페이싱된 선형 안테나 배열에 대하여, 배열 인자는 다음과 같이 정의된다:

$$A(\theta) = \sum_{n=1}^N w_n e^{j2\pi n(d/\lambda)\cos\theta}$$

여기서 d는 배열 엘리먼트들 사이의 스페이싱이며, θ 는 선형 배열의 축으로부터의 각도를 나타내며, λ 은 파장(wavelength)이고, w_n 은 n번째 엘리먼트의 배열 엘리먼트 가중치이다.

[0039] 안테나 배열 방향성은 다음과 같이 주어지고,

$$D = \frac{\max |A(\theta)|^2}{\mathbf{w}^H \mathbf{K} \mathbf{w}} \quad K_{n,m} = \frac{\sin[2\pi(d/\lambda)(n-m)]}{2\pi(d/\lambda)(n-m)} \quad n, m = 0 : N-1$$

여기서, 이다.

[0040] 최대 가능 방향성은 $D_{\max} = N$ 이다.

[0041] 2차원 배열의 배열인자는 다음과 같이 주어지며,

$$A(\theta, \varphi) = \sum_{m=1}^{N_x} \sum_{n=1}^{N_y} w_{m,n} e^{j2\pi[m(d_x/\lambda)\sin\theta\cos\varphi + n(d_y/\lambda)\sin\theta\sin\varphi]}$$

[0042] 여기서, d_x 는 x-축을 따른 배열 스페이싱을 나타내고, d_y 는 y-축을 따른 배열 스페이싱이며, N_x 는 x-축을 따르는 엘리먼트들의 수이고, N_y 는 y-축을 따르는 엘리먼트들의 수이며, φ 은 x-축으로부터의 회전 각이다. 안테나 가중치들 w_{mn} 은 $w_{mn} = w_{x,m} w_{y,n}$ 으로 표현될 수 있으며, 여기서, $m=0; N_x-1$, 및 $n=0; N_y-1$ 이다. 따라서, 안테나 가중치 행렬은 $\mathbf{W}_{xy} = \mathbf{w}_x \mathbf{w}_y^T$ 에 의해 표현될 수 있다.

[0043] 1-차원으로 배열 컴포넌트들로 분리할 수 있는(x-축 및 y-축) 2-차원 배열의 배열 인자는 다음과 같이 표현된다:

$$\begin{aligned} A(\theta, \varphi) &= A_x(\theta, \varphi) A_y(\theta, \varphi) \\ A_x(\theta, \varphi) &= \sum_{n=1}^{N_x} w_{x,n} e^{j2\pi n(d_x/\lambda)\sin\theta\cos\varphi} \\ A_y(\theta, \varphi) &= \sum_{n=1}^{N_y} w_{y,n} e^{j2\pi n(d_y/\lambda)\sin\theta\sin\varphi} \end{aligned}$$

[0044]

[0045] 2-차원 코드북 $\mathbf{W}_{xy} \in C^{N_x \times N_y}$ 은 x-축에 따른 1-차원 안테나 배열들에 대한 코드북 $\mathbf{w}_x \in C^{N_x \times 1}$, 및 y-축에

다른 1-차원 안테나 배열들에 대한 코드북, $\mathbf{w}_y \in C^{N_y \times 1}$ 을 이용하여 표현된다.

[0046] 본 발명의 일 실시예에서, 안테나 배열 가중치들은 각각의 안테나 엘리먼트에 대하여 0° 또는 180° 를 포함할 수 있다. 이는 이진 실시예로서 지칭되고, 여기서 빔형성 및/또는 결합 가중치들은 $\{+1, -1\}$ 로부터 선택된다. 따라서, 각각의 안테나 엘리먼트는 $I+Q$ (위상 0°) 또는 $-(I+Q)$ (위상 180°) 신호들을 전송하고 수신하도록 구성된다.

[0047] 도 3A는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 가지는 2-엘리먼트 배열에 대한 직교 안테나 배열 패턴들의 쌍 및 이진 빔형성 결합 가중치들을 도시한다. 이 경우에 대한 코드북은 다음의 가중 행렬 \mathbf{W} 의 열들에 의해 주어지는 직교 빔형성/결합 벡터들의 쌍을 포함한다

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

제 1 빔 패턴은 0° 에서 최대이며, 제 2 빔 패턴은 90° 에서 최대이다.

[0048] 도 3B는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 가지는 3-엘리먼트 선형 배열에 대한 직교 안테나 배열 패턴들의 쌍 및 이진 빔형성 결합 가중치들 도시한다. 코드북은 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 3 개의 빔형성/결합 벡터들

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

을 포함한다

이 경우, 제 1 빔 패턴은 0° 에서 최대이며, 제 2 빔 패턴은 60° 및 120° 에서 최대이며 제 3 패턴은 90° 에서 최대이다.

[0049] 도 3C에서, 엘리먼트 스페이싱 $\lambda/2$ 를 가진 4-엘리먼트 선형 배열 및 이진 빔형성/결합 가중치들은 4개의 직교 빔 패턴들을 생성한다. 이러한 빔 패턴들은 다음과 같은 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 벡터들의 코드북에

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

의해 특성화된다

[0050] 도 3D는 가중치 행렬들의 열에 의해 주어지는 직교 코드북 벡터들에 대응하는 5-엘리먼트 선형배열의 5 개의 직교 빔 패턴들을 도시한다

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

[0051] 도 3E는 $\lambda/2$ 엘리먼트 스페이싱을 가지는 6-엘리먼트 선형 배열의 빔 패턴들을 도시한다. 직교 코드북 벡터들은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 주어진다

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & +1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

[0052] 선택적인 실시예에서, 다음의 가중치 행렬이 사용될 수 있다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & +1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

[0053] 도 3F는 $\lambda/2$ -스페이싱을 가지는 7-엘리먼트 선형 배열의 직교 빔 패턴들을 도시한다. 직교 패턴들은 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 코드북 벡터들에 대응한다

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}$$

[0054] 도 3G는 $\lambda/2$ -스페이싱을 가지는 8-엘리먼트 선형 배열의 8 개의 직교 빔 패턴들을 도시한다. 빔 패턴들은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 코드북 벡터들에 대응한다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

[0055] 본 발명의 임의의 실시예에서, 안테나 배열 가중치들은 0° , 90° , 180° , 및 270° 의 세트로부터의 위상들을 포함할 수 있다. 따라서, 직각 위상 가중치들은 $\{+1, -1, +j, -j\}$ 로부터 선택된다. 본 발명의 실시예들은, $I(0^\circ)$, $-I(180^\circ)$, $Q(270^\circ)$ 및 $-Q(90^\circ)$ 에 의해 특징되는 신호들을 전송하고 그리고/또는 수신하는 것을 제공할 수 있다. 신호들의 등가 세트는 $I+Q$, $I-Q$, $-I+Q$, $-I-Q$ 를 포함한다.

[0056] 도 4A는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 가지는 2-엘리먼트 배열에 대한 4-개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다. 이 경우에 대한 코드북은 다음의 가중치 행렬 \mathbf{W} 의 열에 의해 제공되는 벡터들의 세트를 포함한다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & +1 & +j \end{bmatrix}.$$

이 경우, $\mathbf{W}\mathbf{W}^H = 4\mathbf{I}$ 이다.

[0057] 도 4B는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 3-엘리먼트 배열에 대한 4 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다. 코드북은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 벡터들의 세트를 포함

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & +1 & +j \\ +1 & -1 & +1 & -1 \end{bmatrix}.$$

한다:

이 경우 또한, $\mathbf{W}\mathbf{W}^H = 4\mathbf{I}$ 이다.

[0058] 도 4C는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 4-엘리먼트 배열에 대한 4 개의 직교 안테나 배열 패턴들 및 각각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다. 코드북은 다음의 가중 행렬의 열에 의해 주어지는 4 개의 직교 벡터들의 세트를 포함한다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & +1 & +j \\ +1 & -1 & +1 & -1 \\ -1 & +j & +1 & -j \end{bmatrix}.$$

[0059] 도 4D는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱 및 각각 위상 가중치들을 사용하는 4-엘리먼트 배열에 대한 선택적인 코드북에 대응하는 빔 패턴들을 보여준다. 6 개의 빔-형성/결합 벡터들은 가중 행렬의 열에 의해 주어진다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & +1 & +1 & +j & -1 \\ +1 & -1 & -j & +1 & -1 & -j \\ -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

[0060] 4-엘리먼트 배열에 대한 연장된 코드북에 대응하는 빔 패턴들은 4E에 도시된 다. 배열은 $\lambda/2$ 스페이싱된 엘리먼트들 및 각각 위상 빔형성/결합 가중치들을 포함한다. 코드북은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 8 개의 벡터들의 세트를 포함한다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & -j & -j & +1 & +j & +j & +j \\ +1 & +j & -1 & -j & +1 & +j & -1 & -j \\ -1 & +1 & +j & -1 & +1 & -1 & -j & +1 \end{bmatrix}.$$

[0061] 도 4F는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 5-엘리먼트 배열에 대한 6 개의 안테나 배열 패턴들 및 각각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다. 코드북은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 벡터들의 세트를 포함한다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & -j & +1 & +j & +j \\ +1 & +j & -j & +1 & -1 & -1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & -j & +j & +1 & -j & +j \end{bmatrix}.$$

함한다:

[0062] 도 4G에서, 8개의 안테나 배열 패턴들은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 나타나는 벡터들의 코드북에 따라 각각 위상 빔형성/결합 가중치들 및 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 5-엘리먼트 배열에 의해 생산될 수 있다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & -j & -j & +1 & +j & +j & +j \\ +1 & +j & -1 & -j & +1 & +j & -1 & -j \\ -1 & +1 & +j & -1 & +1 & -1 & -j & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \end{bmatrix}.$$

다:

[0063] 도 4H는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 6-엘리먼트 배열에 대한 6개의 비-직교 안테나 배열 패턴들 및

직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다. 코드북은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 6 개의 벡터들의 세트를 포함한다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & -j & +1 & +j & +j \\ +1 & +j & -j & +1 & +j & -j \\ -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & +j & +1 & -j & -1 \\ -1 & +j & +1 & +1 & +1 & -j \end{bmatrix}.$$

[0064]

도 4I는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 6-엘리먼트 배열에 대한 8 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다. 코드북은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 8 개의 벡터들의 세

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & -j & -j & +1 & +j & +j & +j \\ +1 & +j & -1 & -j & +1 & +j & -1 & -j \\ -1 & +1 & +j & -1 & +1 & -1 & -j & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ -1 & +j & -j & +j & +1 & -j & +j & -j \end{bmatrix},$$

트를 포함한다:

$$\text{여기서, } \mathbf{W}\mathbf{W}^H = 8\mathbf{I} \text{ 이다.}$$

[0065]

도 4J는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 7-엘리먼트 배열에 대한 8 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위

상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다. 코드북은 관계 $\mathbf{W}\mathbf{W}^H = 8\mathbf{I}$ 가 또한 유지되는 다음 가중 행렬의 열들에 의해 주어지는 8 개의 벡터들의 세트를 포함한다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & -j & -j & +1 & +j & +j & +j \\ +1 & +j & -1 & -j & +1 & +j & -1 & -j \\ -1 & +1 & +j & -1 & +1 & -1 & -j & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ -1 & +j & -j & +j & +1 & -1 & +j & -j \\ +1 & -j & -1 & +j & +1 & -j & -1 & +j \end{bmatrix}$$

[0066]

도 4K는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 8-엘리먼트 배열에 대한 8 개의 직교 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다. 코드북은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 8 개의 벡터들

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & -j & -j & +1 & +j & +j & +j \\ +1 & +j & -1 & -j & +1 & +j & -1 & -j \\ -1 & +1 & +j & -1 & +1 & -1 & -j & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ -1 & +j & -j & +j & +1 & -j & +j & -j \\ +1 & -j & -1 & +j & +1 & -j & -1 & +j \\ -1 & -1 & +j & +1 & +1 & +1 & -j & -1 \end{bmatrix}.$$

의 세트를 포함한다:

[0067]

도 4L는 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 8-엘리먼트 배열에 대한 12 개의 안테나 배열 패턴들 및 직각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다. 코드북은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 8 개의 벡터들의 세

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -j & -j & +1 & -j & +1 & +j & +1 & +j & +j & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -j & -j & +1 & +j & +j & -1 & -1 & +1 \\ -1 & -j & +1 & +j & -1 & -j & +1 & +j & -1 & -j & +1 & +j \\ +1 & +j & -j & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +j & -j \\ -1 & +1 & +j & -j & +j & -1 & +1 & -1 & -j & +j & -j & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ -1 & +1 & -j & +j & +1 & +j & +1 & -j & +1 & -j & +j & +1 \end{bmatrix}.$$

트를 포함한다:

[0068] 도 4M은 $\lambda/2$ 의 엘리먼트 스페이싱을 사용하는 8-엘리먼트 배열에 대한 16 개의 안테나 배열 패턴들 및 각각 위상 빔형성/결합 가중치들을 도시한다. 코드북은 다음의 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 8 개의 벡터들의 세트를 포함한다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -j & -j & -j & -j & -j & +1 & +1 & +1 & +j & +j & +j & +j & +j & -1 \\ +1 & +1 & +j & -1 & -1 & -1 & -j & +1 & +1 & +1 & +j & -1 & -1 & -1 & -j & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +j & +j & +j & -1 & +1 & +1 & +1 & +j & -j & -j & -j & +1 & -1 \\ +1 & +j & -1 & -j & +1 & +j & -1 & -j & +1 & +j & -1 & -j & +1 & +j & -1 & -j \\ -1 & -j & +j & -1 & -j & +1 & +j & -j & +1 & +j & -1 & +1 & +j & -1 & -j & +j \\ +1 & +j & -j & +j & -1 & -j & +j & -j & +1 & +j & -j & +j & -1 & -j & +j & -j \\ -1 & -j & -1 & +1 & +j & -1 & +1 & -j & +1 & +j & +1 & -1 & -j & +1 & -1 & +j \end{bmatrix},$$

여기서,

$$\mathbf{W}\mathbf{W}^H = 16\mathbf{I} \text{ 이다.}$$

[0069] 본 발명의 임의의 실시예들은 2에서 8 개의 안테나 엘리먼트들(N=2 ... 8)을 가지는 안테나 배열들에 대한 이진 빔형성/결합 가중치들을 사용하는 쿼시-옴니 및 상보적인 골레이 코드북들을 제공할 수 있다. 빔형성기 가중치들은 +1 또는 -1이다. 안테나 엘리먼트 상의 +1 가중치는 +I(양의 동-상(in-phase) 신호)가 안테나 엘리먼트 상에서 전송되는 것을 의미하고, -1 가중치는 -I(음의 동-상 신호)가 안테나 엘리먼트 상에서 전송되는 것을 의미한다. 각각의 코드북은 쿼시-옴니 패턴들에 대한 다수의 옵션들을 포함할 수 있다. 극성 및 방위각(azimuthal) 안테나 이득 패턴에 따라 하나 이상의 쿼시 옴니 패턴들이 사용될 수 있다. 실제 상보적 골레이 패턴들은 N=2, 4 및 8인 경우에만 존재할 수 있다. 극성 및 방위각 안테나 이득 패턴에 따라 하나 또는 상보적 패턴들 둘 다가 사용될 수 있다.

[0070] 2-엘리먼트에 대한 쿼시-옴니 코드북은 가중 행렬의 열에 의해 주어지는 두 개의 직교 빔형성 (또는 결합) 벡터들을 포함한다

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

두 개의 상보 골레이 패턴들 $g_1(\theta, \varphi)$ 및 $g_2(\theta, \varphi)$

이 도 5A에 도시되며, 여기서, $g_1(\theta, \varphi) + g_2(\theta, \varphi) = 2$ 이다. 제 1 패턴은 0° 에서 최대이고, 120.5° 의 HPBW를 가지며, 3.0dB의 최대 방향성(directivity)을 가진다. 제 2 패턴은 방향 90° 에서 최대이며, 60.4° 의 HPBW를 가지며 3.0dB의 최대 방향성을 가진다.

[0071] *3 개의 쿼시-직교 빔형성/결합 벡터들을 포함하는 3-엘리먼트 안테나 배열에 대한 쿼시-옴니 코드북은 가중치 행렬 \mathbf{W} 에 의해 주어진다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}$$

결과적인 쿼시-직교 빔 패턴들은 도 5B에 도시된다.

제 1 패턴은 0° 에서 최대이고, 93.4° 의 HPBW를 가지며, 4.77dB의 최대 방향성을 가진다. 제 2 패턴은 방향 60° 및 120° 에서 최대이며, 40.4° 의 HPBW를 가지며 2.2dB의 최대 방향성을 가진다. 제 3 패턴은 방향 90° 에서 최대이며, 36.7° 의 HPBW를 가지며 4.77dB의 최대 방향성을 가진다.

[0072]

콜레이 상보적 패턴들의 쌍 $g_1(\theta, \varphi) + g_2(\theta, \varphi) = 1.77$ 은 도 5C에 도시된다. 두 개의 직교 빔형성/결합 벡터들은 4-엘리먼트 배열에 대한 다음의 가중 행렬의 열에 의해 주어진다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ -1 & +1 \\ +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{bmatrix}.$$

제 1 패턴은 46° 및 134° 에서 최대이고, 123.0° 의 HPBW를 가지며, 2.48dB의 최대 방향성을 가진다. 제 2 패턴은 방향 72° 및 108° 에서 최대이며, 62.9° 의 HPBW를 가지며 2.48dB의 최대 방향성을 가진다.

[0073]

도 5D는 3 개의 쿼시-직교 빔-형성 벡터들을 포함하는 5-엘리먼트 배열에 대한 코드북에 대응하는 3 개의 쿼시-직교 빔 패턴들을 도시한다. 코드북 벡터들은 다음의 가중 행렬의 열이다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 \end{bmatrix}.$$

제 1 패턴은 0° 에서 최대이고, 109.3° 의 HPBW를 가지며, 2.55dB의 최대 방향성을 가진다. 제 2 패턴은 방향 54° 및 126° 에서 최대이며, 63.5° 의 HPBW를 가지며 3.25dB의 최대 방향성을 가진다. 제 3 패턴은 방향 79° 및 101° 에서 최대이며, 43.8° 의 HPBW를 가지며 3.22dB의 최대 방향성을 가진다.

[0074]

도 5E는 6-엘리먼트 배열에 대한 코드북에 대응하는 3개의 쿼시-직교 빔 패턴들을 도시한다. 코드북은 3 개의 쿼시-직교 빔형성 벡터들을 포함하고, 이들은 다음 가중치 행렬의 열들이다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 \end{bmatrix}.$$

이 경우, 제 1 패턴은 23° 및 157° 에서 최대이고, 88.2° 의 HPBW를 가지며, 4.30dB의 최대 방향성을 가진다. 제 2 패턴은 방향 57° 및 123° 에서 최대이며, 20.0° 의 HPBW를 가지며 5.11dB의 최대 방향성을 가진다. 제 3 패턴은 방향 85° 및 95° 에서 최대이며, 32.7° 의 HPBW를 가지며 4.30dB의 최대 방향성을 가진다.

[0075]

도 5F는 7-엘리먼트 배열에 대한 코드북에 대응하는 3개의 쿼시-직교 빔 패턴들을 도시한다. 코드북은 3 개의 쿼시-직교 빔형성 벡터들을 포함하고, 이들은 다음 가중치 행렬의 열들이다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 \\ -1 & -1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

제 1 패턴은 133.3°의 HPBW를 가지며, 2.77dB의 최대 방향성을 가진다. 제 2 패턴은 109.7°의 HPBW를 가지며 1.39dB의 최대 방향성을 가진다. 제 3 패턴은 53.8°의 HPBW를 가지며 2.77dB의 최대 방향성을 가진다.

[0076] 8-엘리먼트 배열에 대한 쿼시-옴니 코드북은 가중치 행렬의 열에 의해 주어지는 두 개의 직교 빔형성 (또는 결합) 벡터들을 포함한다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \\ -1 & -1 \\ -1 & +1 \\ +1 & +1 \\ -1 & +1 \\ +1 & +1 \\ -1 & +1 \end{bmatrix}$$

두 개의 상보적 골레이 패턴들

$g_1(\theta, \varphi) + g_2(\theta, \varphi) = 2$ 은 도 5G에 도시된다. 제 1 패턴은 0°에서 최대이고, 98.7°의 HPBW를 가지며, 3.0dB의 최대 방향성을 가진다. 제 2 패턴은 방향 90°에서 최대이며, 40.9°의 HPBW를 가지며 3.0dB의 최대 방향성을 가진다.

[0077] 직각 위상 가중치들을 사용하는 2-엘리먼트 배열에 대한 쿼시-옴니 코드북은 이진 가중치들이 사용되는 경우와 동일하다. 따라서, 코드북은 가중 행렬의 열에 의해 주어지는 두 개의 직교 빔형성 (또는 결합) 벡터들을 포함

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

한다:

두 개의 상보적인 골레이 패턴들 $g_1(\theta, \varphi)$ 및 $g_2(\theta, \varphi)$ 여기서,

$g_1(\theta, \varphi) + g_2(\theta, \varphi) = 2$ 은 도 6A에 도시되어 있다. 제 1 패턴은 0°에서 최대이고, 120.5°의 HPBW를 가지며, 3.0dB의 최대 방향성을 가진다. 제 2 패턴은 방향 90°에서 최대이며, 60.4°의 HPBW를 가지며 3.0dB의 최대 방향성을 가진다.

[0078] *도 6B는 직각 위상 가중치들을 사용하는 3-엘리먼트 배열에 대한 쿼시-옴니 빔 패턴들의 쌍을 도시한다. 코드북은 다음의 가중치 행렬에서 열들의 쌍으로부터 도출되는 직각 위상 벡터들의 쌍을 포함한다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +j & +1 \\ +1 & -1 \end{bmatrix}.$$

일 패턴은 123.6°의 HPBW를 가지고, 다른 패턴은 80.0°의 HPBW를 가진다. 두 패턴들 모두는 2.22dB의 최대 방향성을 가진다.

[0079] 도 6C는 직각 위상 가중치들을 가진 4-엘리먼트 배열에 의해 생성되는 두 개의 상보적인 골레이 패턴들, $g_1(\theta, \varphi)$ 및 $g_2(\theta, \varphi)$ (여기서, $g_1(\theta, \varphi) + g_2(\theta, \varphi) = 2$)의 플롯이다. 이 경우에 대한 결과적인 퀴시-옴니 코드북은 다음의 가중 행렬의 컬럼들에 의해 나타나는 벡터들에 의해 주어진다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ -j & +j \\ +j & +j \\ -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

제 1 패턴은 0° 에서 최대이고, 83.4° 의 HPBW를 가지며, 3.01dB의 최대 방향성을 가진다. 제 2 패턴은 방향 90° 에서 최대이며, 29.4° 의 HPBW를 가지며 3.01dB의 최대 방향성을 가진다.

[0080] 도 6D는 가중치 벡터 $\mathbf{w} = [+1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1]$ 을 사용하는 5-엘리먼트 배열에 의해 생성되는 2.55dB의 최대 방향성을 가진 퀴시-옴니 패턴을 도시한다.

[0081] 도 7A-7D는 퀴시-옴니 코드북의 벡터들에 대응하는 6-엘리먼트 배열에 대한 퀴시-옴니 빔 패턴들을 도시하며, 여기서 각각의 벡터는 다음 가중치 행렬의 열이다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 \\ +j & -j & -j & +j \\ -1 & -1 & -1 & -1 \\ +j & -j & +1 & +1 \\ +j & -j & -1 & -1 \end{bmatrix}.$$

도 7A 및 7B에서 도시된 퀴시-옴니 빔 패턴들은 2.39dB의 최대 방향성을 가지며, 도 7C 및 7D에서 도시된 퀴시-옴니 패턴들은 2.86dB의 최대 방향성을 가진다.

[0082] 6-엘리먼트 배열은 골레이 상보적 패턴들 $g_1(\theta, \varphi)$ 및 $g_2(\theta, \varphi)$ 의 쌍을 생성하기 위해 구성되고(여기서, $g_1(\theta, \varphi) + g_2(\theta, \varphi) = 1.93$), 이는 도 8A에 도시된다. 직교 빔형성/결합 벡터들의 관련된 쌍은 다음의 가중

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ -j & +j \\ -j & -j \\ -j & +j \\ +1 & +1 \\ +j & -j \end{bmatrix}.$$

치 행렬의 열들을 포함한다:

제 1 패턴은 31° 및 149° 에서 최대이고, 120.7° 의 HPBW를 가지며, 2.86dB의 최대 방향성을 가진다. 제 2 패턴은 방향 82° 및 98° 에서 최대이며, 61.2° 의 HPBW를 가지며 2.86dB의 최대 방향성을 가진다.

[0083] 도 8B는 직각 위상 가중 벡터들을 가진 7-엘리먼트 배열로부터 3 개의 퀴시-옴니 빔 패턴들을 도시한다. 벡터들은 다음의 가중 행렬의 열을 포함하는 퀴시-옴니 코드북의 컴포넌트들이다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ +j & +1 & -1 \\ -1 & +1 & -1 \\ +j & -1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 \\ +j & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 \end{bmatrix}.$$

처음 두 개의 패턴들의 최대 방향성은 1.39dB이며, 세 번째 패턴의 최대 방향성은 2.77dB이다.

[0084] 8-엘리먼트 배열은 도 8C에 도시되는 두 개의 상보적 빔 패턴들을 생성하기 위해 직각 위상 가중 벡터들의 쌍 (다음 가중치 행렬의 열에 의해 표현되는)을 포함하는 코드북을 사용한다.

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \\ -1 & -1 \\ -1 & +1 \\ +1 & +1 \\ -1 & +1 \\ +1 & +1 \\ -1 & +1 \end{bmatrix}$$

패턴들 둘 다는 3.0dB의 최대 방향성을 가진다. 일 패턴은 0° 에서 최대이고 98.7° 의 HPBW를 가지고, 다른 패턴은 90° 에서 최대이고 40.9° 의 HPBW를 가진다.

[0085] (도 8D 및 8E에 도시된) 직교 빔형성/결합 벡터들의 쌍은 다음 가중 행렬을 이용하여 8-엘리먼트 배열에 대해 또한 생성될 수 있다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \\ -1 & +1 \\ +1 & +1 \\ -1 & +1 \\ +1 & +1 \\ +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{bmatrix}$$

[0086] 본 발명의 임의의 실시예들은 SEAA(sectored antenna array) 또는 SWAA(switched antenna array)를 사용할 수 있다. N-엘리먼트 SEAA 또는 SWAA에 대한 코드북은 단위 행렬(identity matrix)에 의해 표현될 수 있다:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

각각의 빔형성 벡터는 단 하나의 비-제로 엔트리(를 가지는데 이는 한번에 단 하나의 안테나 엘리먼트만 활성화되기 때문이다.

- [0087] 본 발명의 일 실시예는 빔형성에 대해 사용되는 추정 알고리즘 및 안테나 구성(즉, w 및 c 를 추정함)에 독립적인 단일화된 메시징 프로토콜을 제공한다. 메시징 프로토콜은 전송 및 수신을 위해 사용되는 다양한 안테나 구성들을 지원하도록 구성될 수 있다. 이러한 구성들은 위상화된(phased) 배열들과 같은 빔형성 안테나 배열들을 포함할 수 있다. 안테나 구성들은 섹터화되고 스위칭된 안테나 배열들을 포함할 수 있다. 안테나 구성은 옴니, 퀴시-옴니, 또는 방향성 단일 안테나를 포함하는 다양한 빔 패턴들에 의해 정의될 수 있다. 메시징 프로토콜은 또한 SAS 및 AAS 구성들을 지원하며, 이는 사전 빔형성 및 온-디맨드 빔형성을 지원하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 메시징 프로토콜은 다양한 링크 모델들을 지원하도록 추가적으로 구성될 수 있으며, 이는 다수의 피코넷 컨트롤러 및 다수의 가입자 장치들 사이의 패킷-당 빔형성, 피코넷 컨트롤러 및 단일 가입자 장치 사이의 링크, 가입자 장치들 사이의 피어-투-피어 링크들을 포함한다(그러나 이에 제한되지 않는다).
- [0088] 본 발명의 실시예들은 구현될 복수의 빔형성 프로토콜들을 제공하며, 이는 사전 빔형성 프로토콜 및 온-디맨드 빔형성 프로토콜을 포함한다. 사전 빔형성은 (도 9에 도시되는 바와 같이) 수퍼 프레임의 비컨 부분을 이용하여 수행되며, 피코넷 컨트롤러가 하나 이상의 가입자 장치들에 대한 데이터 소스인 경우 사용된다. 예를 들어, 피코넷 컨트롤러는 Kiosk, STB, 또는 랩탑 컴퓨터일 수 있으며, 이는 각각의 패킷을 목표 장치로 복수의 상이한 방향 중 적어도 하나로 전송하도록 구성된다.
- [0089] 온-디맨드 빔형성은 두 개의 가입자 장치들 사이의 전송 또는 피코넷 컨트롤러와 하나의 가입자 장치 사이의 전송을 위해 사용될 수 있다. 온-디맨드 빔형성은 트랜시버의 쌍에 할당된 수퍼프레임의 CTA(Channel Time Allocation) 부분(도 9에 도시된 바와 같이)을 사용한다. 빔형성 프로토콜들 둘 다에서, 퀴시-옴니 전송은 방향성 트레이닝 섹션들의 구조에 관한 정보를 전달하고, 방향성 트레이닝 섹션들은 CSI 획득 및 추적을 인에이블한다.
- [0090] 피코넷 컨트롤러 비컨은 적어도 하나의 퀴시-옴니(Q-옴니) 섹션 및 적어도 하나의 방향성 섹션을 포함한다. 일 실시예에서, Q-옴니 섹션은 피코넷 컨트롤러 주변의 상이한(그리고 가능하게는 중첩하는) 지리적 영역을 커버하는 L 개의 동일한 Q-옴니 서브-비컨들(S-비컨들)을 가진다. Q-옴니 S-비컨들의 집합된 커버리지는 피코넷 컨트롤러 주변의 타깃 공간을 커버한다. 각각의 Q-옴니 S-비컨은 Q-옴니 코드북으로부터 선택된 상이한 Q-옴니 빔형성 패턴을 사용하여 전송된다.
- [0091] 도 9에 도시된 실시예에서, 방향성 섹션은 트레이닝 시퀀스의 N 개의 반복들(즉, 복수의 (N 개) 방향성 트레이닝 세그먼트들)을 포함할 수 있으며, 여기서 각각의 반복은 직교 (또는 퀴시-직교) 코드북으로부터의 직교 또는 퀴시-직교 빔형성 벡터를 이용하여 피코넷 컨트롤러에 의해 전송된다. 이 경우, 방향성 트레이닝 세그먼트들은 작은 보호구간을 제외하고, 연속해서(back-to-back) 전송된다. 그러나, 본 발명의 선택적인 실시예들은 방향성 섹션 내에서 Q-옴니 트레이닝 세그먼트들을 인터리빙(또는 포지셔닝)하는 것을 제공할 수 있다. 예를 들어, Q-옴니 트레이닝 세그먼트는 방향성 트레이닝 세그먼트와 동일한 포켓을 가질 수 있으나, 이는 옴니-방향성(omni-directionality)이다. 일 실시예에서, Q-옴니 트레이닝 세그먼트는 각각의 방향성 트레이닝 세그먼트를 따른다. 가입자 장치는 타이밍 및 주파수 드리프트에 대한 보상(compensate)을 돕기 위해 Q-옴니 트레이닝 세그먼트들을 사용하는데, 이는 이러한 보상이 CSI의 정확한 추정들을 생성하기 위해 필요하기 때문이다.
- [0092] 경쟁 액세스 기간(CAP)은 서브-CAP(S-CAP)들로서 지칭되는 L 개의 동일한 기간들로 나뉜다. L 개의 S-CAP들은 L 개의 Q-옴니 비컨들에 대응한다. 1번째 S-CAP 동안, 피코넷 컨트롤러는 1번째 Q-옴니 비컨 동안 전송을 위해 사용한 동일한 Q-옴니 빔형성기 벡터를 이용하여 수신 모드에 있다.
- [0093] 도 10A는 OFDM에 대한 S-비컨의 패킷 구조를 도시하고, 도 10B는 단일 캐리어(SC) 시그널링에 대한 S-비컨의 패킷 구조를 도시한다. Q-옴니 비컨의 안테나 이득에 따라, 피코넷 컨트롤러는 SYNC의 길이, 헤더의 데이터 레이트 및 PSDU 필드들을 조정할 수 있다.
- [0094] Q-옴니 S-비컨들의 수 L 개는 오버헤드를 감소시키기 위해 감소될 수 있다. 단일 안테나에 대하여 $L=1$ 이다. SAA에 대하여, L 은 섹터(또는 스위칭된) 안테나들의 수이다. 빔형성 또는 위상된-배열 구성에서, L 은 1또는2와 동일하나, 이는 그 이상일 수 있다. 전송 동안, 피코넷 컨트롤러는 L 개의 대응하는 퀴시-옴니 코드북으로부터 퀴시-옴니 빔형성 벡터들을 사용하고, Q-옴니 빔형성 벡터는 Q-옴니 서브-비컨 전송 마다 사용된다.
- [0095] 본 발명의 일 실시예에서, 6개의 엘리먼트들을 가진 전송 위상된 배열에 대하여 $L=1$ 이고, 6 개의 엘리먼트들은 Q-옴니 서브-비컨을 전송하기 위해 1-차원 벡터 $w=[+1 \ -1 \ +j \ -1 \ +j \ +j]^T$ 를 사용한다. 상이한 실시예에서, 2-차원 위상된 안테나 배열에 대해 $L=2$ 이고, 여기서 $N_x=4$ 이고 $N_y=3$ 이다. 제 1 Q-옴니 서브-비컨은 빔형성 행렬

$\mathbf{W}_{xy,11} = \mathbf{w}_{x,1} \mathbf{w}_{y,1}^T$ 을 이용하여 전송되며, 여기서, $\mathbf{w}_{x,1} = [+1 \ -j \ +j \ -1]^T$ 이고, $\mathbf{w}_{y,1} = [+1 \ +1 \ -1]^T$ 이다. 제 2 Q-옴니 서브-비컨은 빔형성 행렬 $\mathbf{W}_{xy,21} = \mathbf{w}_{x,2} \mathbf{w}_{y,1}^T$ 을 이용하여 전송되며, 여기서 $\mathbf{w}_{x,2} = [+1 \ +j \ +j \ +1]^T$ 이고 $\mathbf{w}_{y,1} = [+1 \ +1 \ -1]^T$ 이다.

[0096] 도 9에 도시된 프레임의 방향성 섹션은 트레이닝 시퀀스의 N개의 반복들을 포함한다. 도 11A는 짧은 OFDM 트레이닝 시퀀스를 도시한다. 도 11B는 긴 OFDM 트레이닝 시퀀스를 도시한다. 도 11C는 짧은 단일-캐리어 트레이닝 시퀀스를 도시한다. 도 11D는 긴 단일 캐리어 트레이닝 시퀀스를 도시한다. 벡터들 \mathbf{u}_{512} , \mathbf{v}_{512} 및 \mathbf{s}_{512} 로 표시되는 시퀀스들은 가출원 번호 60/985,957(2007년 11월 6월에 출원됨)에 설명되며, 이는 전체로서 여기에 참조된다.

[0097] 트레이닝 시퀀스는 CES 필드의 N_c (예를 들어, 1 또는 2)개의 반복들에 이어서 싱크 시퀀스 \mathbf{s} 의 N_s 개의 반복들(N_s 는 0일 수 있음)을 포함한다. 피코넷 컨트롤러에 의해 전송되는 각각의 트레이닝 시퀀스는 직교(또는 쿼시-직교) 코드북으로부터 선택되는 상이한 직교 (또는 쿼시-직교) 빔 패턴을 사용한다. OFDM 및 단일-캐리어가 짧은 트레이닝 시퀀스를 사용하는 경우, 두 개의 싱크 시퀀스는 자동 이득 제어(AGC)를 위해 사용될 수 있다. 또한, CES 필드는 CSI를 획득하기 위해 사용될 수 있다. 매치드-필터 수신기는 완벽한 채널 추정을 생성하기 위해 수신된 신호를 수정된 골레이 시퀀스들 \mathbf{u} 및 \mathbf{v} 와 코릴레이트하도록 구성되는 골레이 매치드 필터의 출력을 조정(align)하고 부가한다. 또한, 수신기는 상이한 신호를 생산할 수 있으며, 이는 완벽한 잡음 추정을 제공한다.

[0098] 일 실시예에서, $N_x=4$ 및 $N_y=2$ 를 가지는 빔형성 안테나 배열은 길이-4 x-축 코드북을 사용한다:

$$\mathbf{W}_x = [\mathbf{w}_{x,1} \ \mathbf{w}_{x,2} \ \mathbf{w}_{x,3} \ \mathbf{w}_{x,4}] = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & +1 & +j \\ +1 & -1 & +1 & -1 \\ -1 & +j & +1 & -j \end{bmatrix}$$

드북은:

$$\mathbf{W}_y = [\mathbf{w}_{y,1} \ \mathbf{w}_{y,2}] = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ -1 & +1 \end{bmatrix},$$

이고,

대응하는 길이-2 y-축 코

여기서 직교 빔

형성 행렬들의 총수는 $J=8$ 이다, 즉 $\mathbf{W}_{xy,mn} = \mathbf{w}_{x,m} \mathbf{w}_{y,n}^T$ 이고, $m=1, \dots, 4$, 및 $n=1,2$ 이다:

$$\mathbf{W}_{xy,11} = \begin{bmatrix} +1 & -1 \\ -1 & +1 \\ +1 & -1 \\ -1 & +1 \end{bmatrix}, \mathbf{W}_{xy,12} = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ -1 & -1 \\ +1 & +1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}, \dots, \mathbf{W}_{xy,42} = \begin{bmatrix} +1 & -1 \\ +j & -j \\ -1 & +1 \\ -j & +j \end{bmatrix}.$$

이 경우에, 피코넷 컨트롤러는 $J=8$ 개의 트레이닝 시퀀스들을 전송함으로써 트레이닝의 사이클을 완료하며, 이들 각각은 빔형성 행렬들 $\mathbf{W}_{xy,11}$, $\mathbf{W}_{xy,12}$, ..., $\mathbf{W}_{xy,42}$ 에 의해 특정된 바와 같은 상이한 방향으로 전송된다. 예를 들어, 제 1 트레이닝 시퀀스는 빔형성 행렬 $\mathbf{W}_{xy,11}$ 에 대응하는 방향으로 전송되고, 제 2 트레이닝 시퀀스는 빔형성 행렬 $\mathbf{W}_{xy,12}$ 에 대응하는 방향으로 전송되는 등이다.

[0099] 임의의 실시예들에서, 피코넷 컨트롤러는 사용가능한 빔형성 행렬들 중 하나의 서브셋 만을 사용하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 피코넷 컨트롤러는 제한된 각도 범위(예를 들어, 360° 대신에 180°)에 걸쳐 전송될 수

있다. 피코넷 컨트롤러는 방향성 코드북을 사용하며, 이는 피코넷 컨트롤러가 가입자 장치들을 트레이닝하기 위해 사용할 수 있는 가능한 빔형성 행렬들의 서브셋이다. 방향성 코드북이 크기 J 인 경우, 대응하는 J 개의 방향들에서의 J 개의 트레이닝 시퀀스들의 전송은 사이클로 지칭된다. 임의의 실시예들에서, L 개의 동일한 Q-옴니 S-비컨들은 피코넷 컨트롤러에 의해 선택된 코드북 벡터들의 인덱스들을 포함할 수 있다. Q-옴니 S-비컨들은 또한 수퍼프레임당 사이클의 수 및/또는 사이클당 수퍼프레임들의 수를 전달할 수 있다.

[0100] 도 12A는 M 개의 사이클들을 포함하는 수퍼프레임을 도시하며, 도 12B는 매 M 개의 수퍼프레임들마다 발생하는 하나의 사이클을 도시한다. 가입자 장치는 피코넷 컨트롤러로부터 Q-옴니 전송들을 청취하도록 구성된다. 검출되면, 가입자 장치는 방향성 섹션의 구조를 획득하기 위해 Q-옴니 S-비컨의 콘텐츠를 디코딩한다. 가입자 장치는 제 1 방향으로 자신의 안테나를 지향(steer)하기 위해 제 1 코드북 벡터를 선택한다. 가입자 장치는 자신의 안테나를 제 2 방향으로 지향하기 위해 제 2 코드북 벡터를 선택하고, 가입자 장치는 이 절차를 각각의 코드북 벡터에 대해 반복할 수 있다. 선택적으로, 가입자 장치는 코드북의 서브셋으로부터 코드북 벡터들을 선택할 수 있다. 가입자 장치는 CSI 행렬, H 를, 피코넷 컨트롤러에 대한 최적 빔형성 가중치 및 자신을 위한 최적 결합 벡터를 추정함으로써 계산할 수 있다. SAS 경우에서, 가입자 장치는, 가입자 장치가 가중치들의 결합이 적절한 링크 품질을 제공한다고 판단된다고 결정할 때까지 Q-옴니 전송들을 청취할 수 있다. 결과적인 빔형성 가중치들은 피코넷 컨트롤러로 다시 전송된다.

[0101] 도 13A는 트레이닝 시퀀스 정보, 전송 및 수신 안테나들과 관련된 안테나 배열 정보, Q-옴니 S-비컨 식별자 및 Q-옴니 S-비컨의 수를 포함하는 전송 프레임의 빔형성 정보 엘리먼트를 도시한다. 안테나 종류는 피코넷 컨트롤러 안테나에 관한 정보(예를 들어, 단일 안테나, 빔형성 배열, 위상된 배열, SEAA, SWAA), SAS 또는 AAS 안테나 구성인지 그리고 직각 위상 또는 이진 가중치들이 전송 및 수신단에 대하여 사용되는지 여부에 관한 정보를 포함할 수 있다. 빔형성 정보 엘리먼트의 필드들은 상이한 안테나 구성들에 대해 적용될 수 있다. 예를 들어, 트레이닝 시퀀스 정보 및 안테나 배열 정보는 단일 안테나 구성 또는 스위칭된 안테나 배열에 대하여 생략될 수 있다.

[0102] 도 13B는 빔형성 정보 엘리먼트의 안테나 배열 정보 부분을 도시한다. 이 정보는 2-차원 배열의 경우에, x -축을 따른 안테나들의 수(N_x), x -축을 따라 사용되는 코드북의 ID, y -축을 따른 안테나들의 수(N_y), 및 y -축을 따라 사용되는 코드북의 ID를 포함할 수 있다. 임의의 실시예들은 x -축을 따라 사용될 빔형성 벡터들의 서브셋의 ID 및 크기 J_x , y -축을 따라 사용될 빔형성 벡터들의 서브셋의 ID 및 크기 J_y 를 포함할 수 있다.

[0103] 도 13C는 빔형성 정보 엘리먼트의 트레이닝 시퀀스 정보 부분을 도시하며, 이는 $32 \times T_c$ 단위의 보호 인터벌 듀레이션(여기서 T_c 는 칩 또는 샘플 듀레이션), CES 반복들의 수(N_c), SYNC 반복들의 수(N_s) 및 트레이닝 시퀀스 반복들의 수를 포함한다.

[0104] 도 16A는 사전 빔형성을 수행하기 위한 방법을 도시한다. 피코넷 컨트롤러는 수퍼프레임당 다수의 (N 개)의 방향성 트레이닝 시퀀스들 및 다수의 (L 개)의 Q-옴니 S-비컨들을 전송한다(1601). 가입자 장치들은 자신이 방향성 섹션에 관련된 정보를 획득하는 Q-옴니 S-비컨들 중 적어도 하나를 청취하고 디코딩한다(1602). 본 발명의 일 실시예에서, 가입자 장치는 Q-옴니 S-비컨들의 전체 세트를 청취할 수 있다. 가입자 장치는 직교(또는 쿼시-직교) 코드북의 적절한 코드북을 선택하고(1603) 선택된 결합 벡터들을 이용하여 스캐닝 절차를 시작한다.

[0105] 일 실시예에서, 가입자 장치가 코드북으로부터의 벡터를 이용하여 특정 방향으로 지향하고 전송된 사이클을 청취하는 경우, 가입자 장치는 링크 품질 인자(LQF)를 저장할 수 있다. 이 프로세스는 가입자 장치가 미리 결정된 임계값 이상의 1번째 LQF를 찾거나, 가입자 장치가 모든 코드북 벡터들을 청취하는 것을 완료하고 CSI 행렬을 획득할 때까지 반복된다.

[0106] 가입자 장치는 피코넷 컨트롤러에 대한 자신의 최적 결합 벡터 \mathbf{c}_2 및 최적 빔형성 벡터 \mathbf{w}_1 을 추정한다(1604). 추정된 최적 빔형성 벡터 \mathbf{w}_1 (그리고 선택적으로, 최적 결합 벡터 \mathbf{c}_2)는 1번째 S-CAP 동안 피코넷 컨트롤러로 피드백(1605)된다.

[0107] SAS 경우에서, 가입자 장치 및 피코넷 컨트롤러는 CTAP 동안 데이터 패킷들을 교환한다(1606). 가입자 장치는 주기적으로 비컨을 생성함으로써 빔형성 및 결합 벡터들을 추적(1607)할 수 있다. 가입자 장치는 \mathbf{w} 및 \mathbf{c} 에 대한 어떠한 업데이트들을 주기적으로 피드백(1608)할 수 있다.

[0108] AAS 경우에서, 단계들(1606-1608)이 바이패스된다. 대신에, 온-디맨드 빔형성이 양방향 빔형성을 완료하기 위

해 통신 링크에 할당된 CTAP 동안 사용될 수 있다. 도 16B에 도시된 바와 같이, 피코넷 컨트롤러는 자신의 최적 결합 벡터 \mathbf{c}_1 및 가입자 장치의 최적 빔형성 벡터 \mathbf{w}_2 를 추정하기 위해 업링크 CSI, $H_{2 \rightarrow 1}(n)$ ($n=0,1,\dots,N-1$)을 획득하고, 그 후 적어도 빔형성 가중치 벡터 \mathbf{w}_2 를 가입자 장치로 전송한다. 획득이 완료되면, 가입자 장치는 피코넷 컨트롤러가 \mathbf{w}_2 및 \mathbf{c}_1 을 추적하고 업데이트하는 것을 허용하기 위해 희귀한(infrequent) "방향성 획득 기간"(즉, 매 마이크로 초마다 한번)을 전송(1618)할 수 있다. 업데이트 레이트(추적 레이트)는 시스템이 견딜(tolerate) 수 있는 최대 도플러(Doppler)에 의존한다. 60Hz에서 3m/s의 보행자 속도에 대하여, 도플러 주파수는 $f_d = 600 \text{ Hz}$ 이며, 코히어런스 시간은 약 0.3ms이고, 이는 0.3ms 또는 이하에 한번의 업데이트 레이트를 허용한다.

[0109] (두 개의 가입자 장치사이 또는 피코넷 컨트롤러 및 하나의 가입자 장치 사이에서 선호되는) 온-디맨드 빔형성은 도 14A에 도시된 슈퍼프레임의 채널 시간 할당(CTA) 부분을 사용한다. 도 17A는 본 발명의 일 실시예에 따른 SAS를 위한 온-디맨드 빔형성 방법의 플로우 다이어그램이다. 안테나 정보는 결합(association)동안 교환(1701)되어 각각의 트랜시버가 다른 트랜시버(들)의 안테나 배열 프로세싱 성능들(예를 들어, 배열 엘리먼트들의 수, 안테나-엘리먼트 가중치들의 범위 등)을 알도록 한다. 쿼시-옴니 획득(1702)은 제 1 트랜시버가 Q-옴니 S-비컨을 제 2 트랜시버로 전송하면서 수행된다. 방향성 획득(1703)은 제 트랜시버가 방향성 트레이닝 시퀀스를 제 2 트랜시버로 전송하면서 수행된다. 획득이 완료되면, 시스템은 제 1 트랜시버가 데이터를 제 2 트랜시버로 전송하면서 추적(1704)을 수행할 수 있다.

[0110] 도 17B는 본 발명의 일 실시예에 따른 AAS를 위한 온-디맨드 빔형성 방법의 단계들을 도시한다. 안테나 정보는 결합 동안 교환(1701)된다. 쿼시-옴니 획득(1702)은 제 1 트랜시버가 Q-옴니 S-비컨을 제 2 트랜시버로 전송하면서 수행된다. 방향성 획득(1703)은 제 1 트랜시버가 제 2 트랜시버로 방향성 트레이닝 시퀀스를 전송하면서 수행된다. 쿼시-옴니 획득(1712)은 제 2 트랜시버가 Q-옴니 S-비컨을 제 1 트랜시버로 전송하면서 수행된다. 유사하게, 방향성 획득(1713)은 제 2 트랜시버가 방향성 트레이닝 시퀀스를 제 1 트랜시버로 전송하면서 수행된다. 양방향에서 획득이 완료되면, 시스템은 제 1 트랜시버가 데이터를 제 2 트랜시버로 전송하면서 그리고/또는 제 2 트랜시버가 데이터를 제 1 트랜시버로 전송하면서 추적(1714)을 수행할 수 있다.

[0111] 도 14B는 본 발명의 일 실시예에 따른 쿼시-옴니 획득 시그널링 프로토콜을 도시한다. (또 14A에 도시된) CTA 프레임에서, 제 1 트랜시버는 빔형성 정보 엘리먼트를 전달하는 다수의 (L개) 쿼시-옴니 패킷들을 전송한다. L개의 전송들 각각은 L개의 청취 기간들(ACK)들을 따른다. 제 1 트랜시버는 L개의 청취 기간들 중 하나에서(예를 들어, 1번째 청취 기간에서) ACK를 수신할 때까지 이 구조를 반복하는 것을 계속한다. 이 지점으로부터, 제 1 트랜시버는 Q-옴니 코드북으로부터 전송을 위해 1번째 Q-옴니 방향을 선택한다(이는 또한 SAS 경우에서 수신 방향이다). 제 2 트랜시버는 최선의 Q-옴니 수신 방향(이는 또한 SAS 경우에서 최선의 전송 방향이다)을 기록하고 임의의 장래 Q-옴니 수신을 위해 이것을 사용한다. AAS 경우에서, 프로세스는 제 2 트랜시버가 제 1 트랜시버로 전송하면서 반복된다.

[0112] 도 15는 제 1 트랜시버로부터 제 2 트랜시버로 주기적인 전송을 사용하는 방향성 트레이닝에 대한 프레임 포맷을 도시하며, 도 18A는 그 프레임 포맷을 사용하는 본 발명의 일 실시예에 따른 방법을 도시한다. 방향성 획득 기간은 청취 기간을 따르는 Q-옴니 패킷을 포함할 수 있다. 제 1 트랜시버에 의해 전송되는 방향성 트레이닝 시퀀스들의 일 사이클은 선택된 코드북의 일 서브셋으로부터 모든 J개의 직교(쿼시-직교) 빔형성 벡터들에 대응한다. 각각의 사이클은 제 2 트랜시버로부터의 임의의 피드백을 청취하기 위해 청취 기간(ACK)을 따른다.

[0113] 제 1 트랜시버는 제 2 트랜시버가 $CSI(H_{1 \rightarrow 2}(n))$, $n=0,1,\dots,N-1$ 을 획득하거나, 적합한 링크-품질 표시자(CQI)를 찾을(1802) 때까지 그 기간(1801)을 반복한다. 제 2 트랜시버는 선호되는 \mathbf{w}_1 및 \mathbf{c}_2 를 추정하고 청취(ACK) 기간 동안 제 1 트랜시버(1804)로 적어도 \mathbf{w}_1 추정을 연결(couple)한다. 선호되는 빔형성 벡터 \mathbf{w}_1 는 트랜시버의 코드북 벡터들 중 하나 이거나, 코드북 벡터의 선형 조합이거나, 트랜시버의 코드북 벡터들과 관련되지 않을 수 있다.

[0114] 다음의 가중치 행렬에 의해 나타나는 코드북을 이용한 4-엘리먼트 배열을 사용하는 일 실시예에서:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -j & +1 & +j \\ +1 & -1 & +1 & -1 \\ -1 & +j & +1 & -j \end{bmatrix},$$

코드북은 벡터들[1 -1 1 -1], [1 -j -1 j], [1 1 1 1], 및 [1 j -1 -j] 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 최적 빔형성/결합 벡터가 코드북 벡터들 중 하나로부터 선택되면, 실시예는 빔-스위칭으로 지칭된다.

[0115] 일 실시예에서, 최적 빔형성/결합 벡터는 4-엘리먼트 배열에 대한 가능한 가중치 조합들 중 임의의 것으로부터 선택된다. 직각 위상 가중치들이 사용되는 경우(즉, 가중치들 ± 1 및 $\pm j$), 벡터를 선택할 수 있는 4^4 개의 가능한 조합들이 존재한다. 본 발명의 일 실시예는 임의의 페이저(phasor)를 포함하는 가중치들로부터 최적 빔형성/결합 벡터를 선택하는 것을 제공한다. 다른 실시예는 크기 및 위상들의 범위를 포함하는 가중치들을 사용할 수 있다.

[0116] 트랜시버들은 데이터 통신 동안 빔형성 및 결합을 위해 \mathbf{w}_1 및 \mathbf{c}_2 추정들을 사용할 것이다. 트랜시버들 중 하나 또는 모두는 제 1 트랜시버가 방향성 획득 기간을 전송할 때 추정들 \mathbf{w}_1 및 \mathbf{c}_2 을 업데이트(1805)할 수 있다.

[0117] AAS 경우에 대하여, 도 18B에 도시된 추가적인 단계들이 수행된다. 제 2 트랜시버는 제 1 트랜시버로 방향성 트레이닝 시퀀스들(1811)을 전송하며, 제 1 트랜시버는 CSI, $H_{2 \rightarrow 1}$ 를 획득한다(또는 적절한 LQI를 결정한다)(1812). 제 1 트랜시버는 \mathbf{w}_2 및 \mathbf{c}_1 를 추정하고(1813) 제 2 트랜시버로 적어도 \mathbf{w}_2 추정을 연결한다. 추정들 \mathbf{w}_1 및 \mathbf{c}_2 은 데이터 전송 동안 빔형성 및 결합 가중치들로서 사용되며, 이러한 추정들 \mathbf{w}_1 및 \mathbf{c}_2 은 제 2 트랜시버가 방향성 획득 기간을 전송할 때 주기적으로 업데이트(1815)된다.

[0118] 본 발명의 범위는 여기에 설명된 배열-프로세싱 실시예들로 제한되는 것으로서 해석되어서는 안된다. 오히려, 출원인은 선택적인 실시예들이 복수의 극성들을 가진 안테나들을 포함하는 안테나 배열들 및 특정 축을 따라 8 개 이상의 엘리먼트들을 가진 안테나 배열들을 포함하여, 안테나-배열 구성들이 본 발명의 범위 및 내용에 포함될 수 있음을 예측한다. 일 실시예에서, 직교 선형 극성들을 가진 두 개의 양극(dipole) 안테나들 쿼시-옵니 패턴을 생성하기 위해 사용될 수 있다.

[0119] 본 발명의 장치 및 방법 실시예들이 다양한 하드웨어 및 소프트웨어를 이용하여 구현될 수 있음을 이해하여야 한다. 예를 들어, 빔형성, 결합 및 본 발명의 실시예들에 따른 관련된 애플리케이션들은 주문형 반도체(ASIC)와 같은 특수-목적 하드웨어, 게이트 어레이들과 같은 프로그램 가능한 논리 장치들, 및/또는 마이크로프로세서, 마이크로 컨트롤러 또는 디지털 신호 프로세서(DSP)와 같은 컴퓨팅 장치 상에서 동작하는 소프트웨어 또는 펌웨어를 이용하여 구현될 수 있다. 빔형성/결합 가중치 계산 및 선택의 기능들이 단일 ASIC과 같은 단일 장치에서 집적될 수 있으나, 이들은 몇몇 장치들에 걸쳐 분산될 수도 있다.

[0120] 본 발명은 선호되는 실시예들로 제한하고자 하는 의도가 아니다. 또한, 당업자는 여기에 설명된 방법 및 장치 실시예들이 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어 또는 이들의 조합을 포함하는 다양한 방법들로 구현될 수 있음을 이해한다. 이러한 하드웨어의 예시들은 ASIC들, 필드 프로그램가능한 게이트 어레이들, 범용 프로세서들, DSP들 및/또는 다른 회로를 포함할 수 있다. 본 발명의 소프트웨어 및/또는 펌웨어 구현들은 JAVA, C, C++, MATLAB™, Verilog, VHDL, 및/또는 프로세서 특정 기계 및 어셈블리 언어를 포함하는 프로그램 언어들의 임의의 조합을 통해 구현될 수 있다.

[0121] 다양한 디지털 컴퓨터 시스템 구현들이 본 발명의 방법 실시예들을 수행하기 위해 사용될 수 있으며, 특정 시스템 구성은 본 발명의 방법 실시예들을 수행할 수 있으며, 이는 여기에 설명된 본 발명의 대표적인 시스템 실시예들도 그러하며, 이는 본 발명의 범위 및 내용에 포함된다.

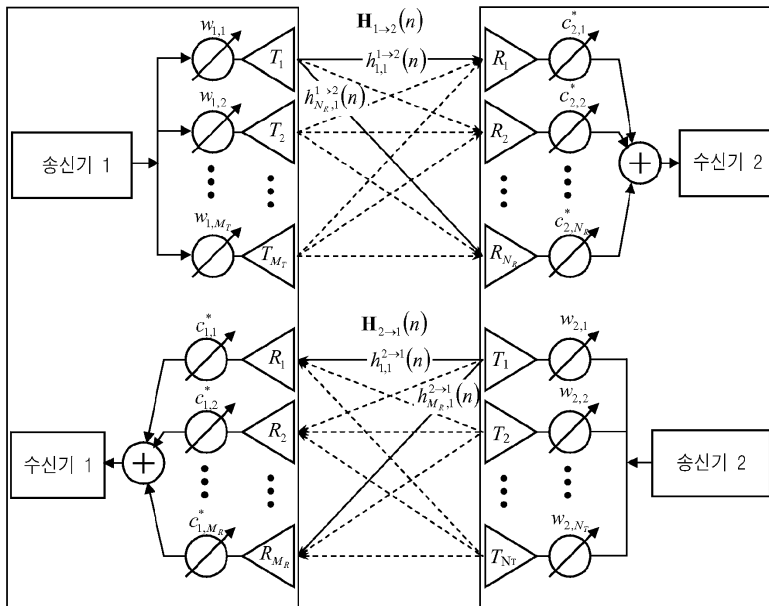
[0122] 디지털 컴퓨터 시스템들이 본 발명의 방법 실시예들을 구현하는 프로그램 소프트웨어로부터 명령들과 관련된 특정 기능들을 수행하도록 프로그램되면, 이러한 동작중인 디지털 컴퓨터 시스템들은 본 발명의 방법 실시예들에 특정된 특수-목적 컴퓨터들이 된다. 이 프로그래밍을 위해 필요한 기술들은 또한 컴퓨터 시스템들의 당업자에게 잘 알려져 있다.

[0123] 본 발명의 다양한 실시예들이 방법들이 수행될 수 있는 단계들의 순서 및 시스템 구성들의 다양성을 포함할 수 있다. 많은 경우에 다수의 단계들 및/또는 다수의 컴포넌트들이 통합될 수 있다.

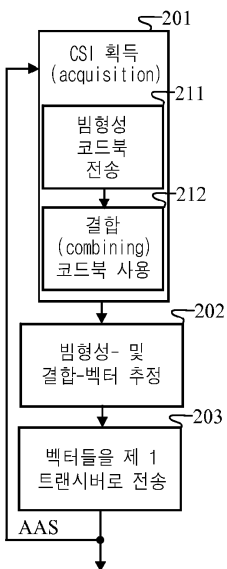
- [0124] 여기에 설명된 방법 및 시스템 실시예들은 본 발명의 특정 실시예들을 단순히 도시한 것이다. 당업자는 다양한 배열들을 고안할 수 있으며, 여기에서 명백하게 설명되거나 도시되지 않았더라도, 이들은 본 발명의 원리를 포함하며 본 발명의 사상 및 범위 내에 포함된다. 또한, 여기에 열거된 예시들 및 조건적인 언어들은 본 발명의 원리들을 이해하는데 있어서 독자를 돕기 위한 교육적인 목적으로 의도되는 것이다. 본 발명 및 이들의 연관된 참조들은 이러한 구체적으로 열거된 예시들 및 조건들로 제한됨이 없이 해석될 것이다. 또한, 여기에서 원리들, 양상들, 본 발명의 실시예들 뿐 아니라, 이들의 특정한 예시들을 열거하는 모든 문장들은 그들의 구조적 및 기능적 균등물들을 포함하고자 하는 의도이다. 추가적으로, 이러한 균등물들은 현재 알려진 균등물들뿐 아니라 장래에 개발된 균등물들(즉, 그 구조와 관계없이 동일한 기능을 수행하는 개발된 임의의 엘리먼트들)을 포함하고자 하는 의도이다.
- [0125] 당업자는 여기에 나타난 블록 다이어그램들이 예시적인 회로, 알고리즘들, 본 발명의 원리들을 구현한 기능적인 단계들의 개념적인 관점을 나타냄을 이해하여야 한다. 유사하게, 임의의 플로우 차트들, 플로우 다이어그램들, 신호 다이어그램들, 시스템 다이어그램들, 코드들 및 이와 유사한 것들은 컴퓨터 또는 프로세서가 명시적으로 도시되었는지 여부에 관계없이 컴퓨터-판독가능한 매체로 표현되고 컴퓨터 또는 프로세서에 의해 실행될 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0126] "프로세서들" 또는 "시스템들"로 라벨링된 기능 블록들을 포함하는, 도면들에 도시된 다양한 엘리먼트들의 기능은 지정된 하드웨어 뿐 아니라 적합한 소프트웨어와 관련하여 소프트웨어를 실행할 수 있는 하드웨어의 사용을 통해 제공될 수 있다. 프로세서에 의해 제공되는 경우, 기능들은 단일 지정 프로세서, 공유 프로세서, 또는 이들 중 일부가 공유될 수 있는 복수의 개별 프로세서들에 의해 제공될 수 있다. 또한, 용어 "프로세서" 및 "컨트롤러"의 명시적인 사용은 소프트웨어를 실행할 수 있는 하드웨어를 배타적으로 지칭하는 것으로 해석되어서는 안되고, 디지털 신호 프로세서(DSP) 하드웨어, 소프트웨어를 저장하기 위한 판독-전용 메모리(ROM), 랜덤 액세스 메모리(RAM) 및 비-휘발성 메모리를 함축적으로 포함할 수 있으며, 이에 제한되지 않는다. 일반적인 그리고/또는 전통적인 다른 하드웨어가 또한 포함될 수 있다. 유사하게, 여기에 설명된 임의의 컴포넌트 및 장치의 기능은 프로그램 로직, 지정된 로직, 프로그램 제어 및 지정 로직의 상호작용 또는 심지어 수동으로, 문맥으로부터 더 구체적으로 이해되는 바와 같이 수행자에 의해 선택가능한 특정 기술을 통해 수행될 수 있다.
- [0127] 특정된 기능을 수행하기 위한 수단으로서 여기에 설명된 임의의 엘리먼트는 예를 들어, 그 기능을 수행하는 회로 엘리먼트들의 조합, 또는 펌웨어, 마이크로-코드 등을 포함하고 그 기능을 수행하기 위해 소프트웨어를 실행하기 위한 적합한 회로와 조합되는 임의의 형태의 소프트웨어를 포함하기 위한 의도이다. 여기에 설명된 바와 같이 본 발명의 실시예들은 실제로 다양한 열거된 수단들이 조합되고 동작적인 설명들이 호출되는 방법으로 함께 수행되는 사실이 존재한다. 출원인은 여기에 도시된 것들에 대한 균등물로서 이러한 기능들을 제공할 수 있는 임의의 수단들을 고려한다.

도면

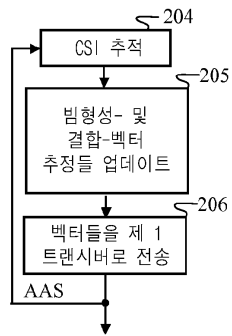
도면1



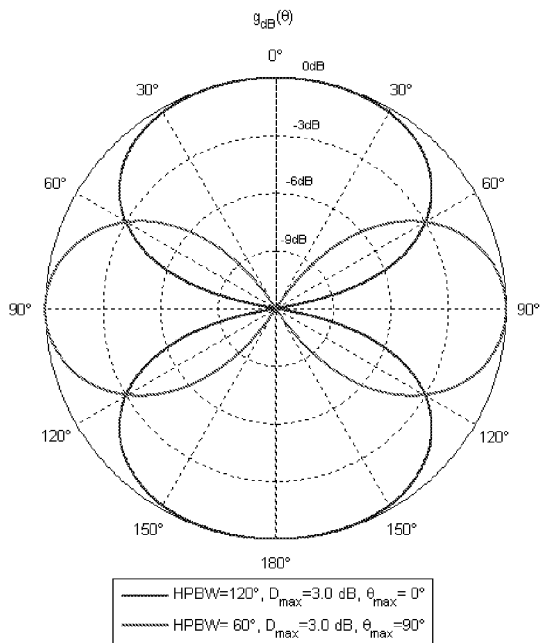
도면2a



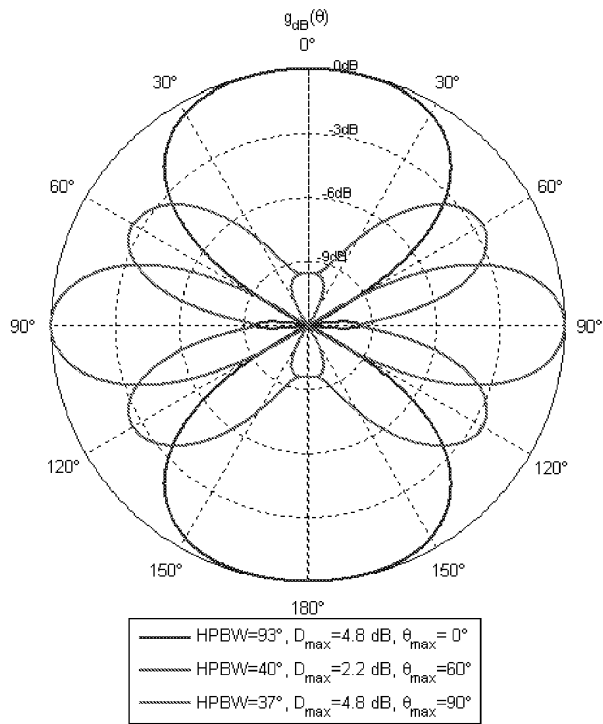
도면2b



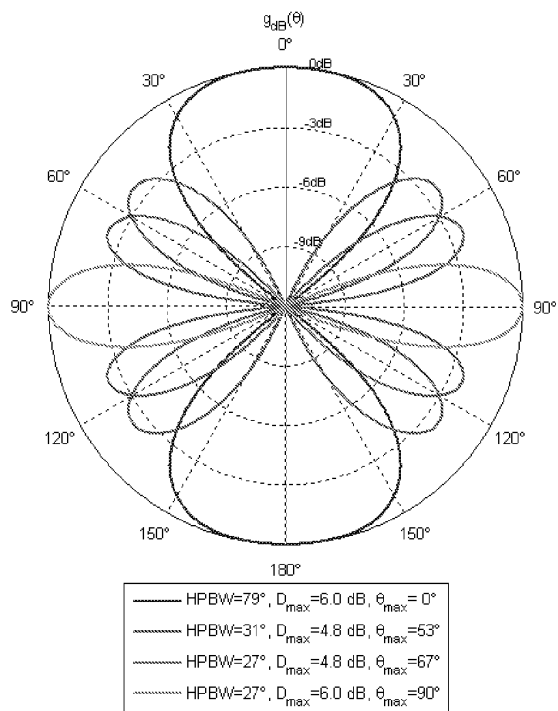
도면3a



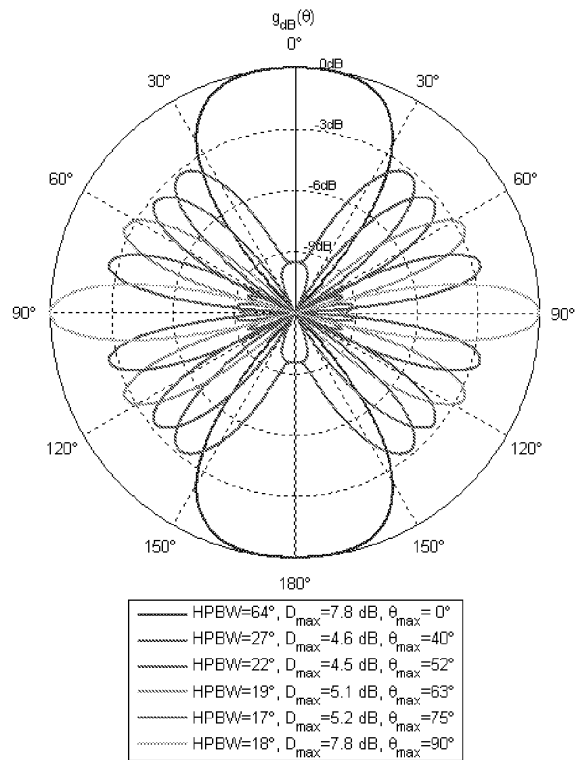
도면3b



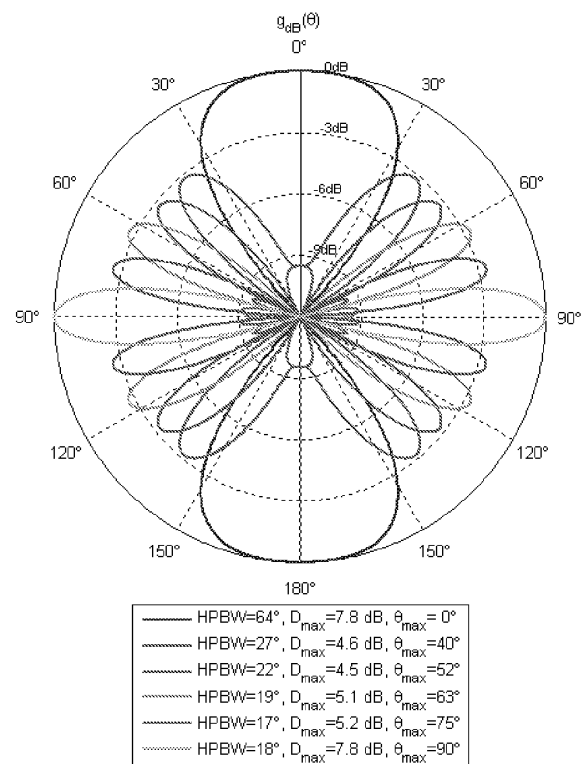
도면3c



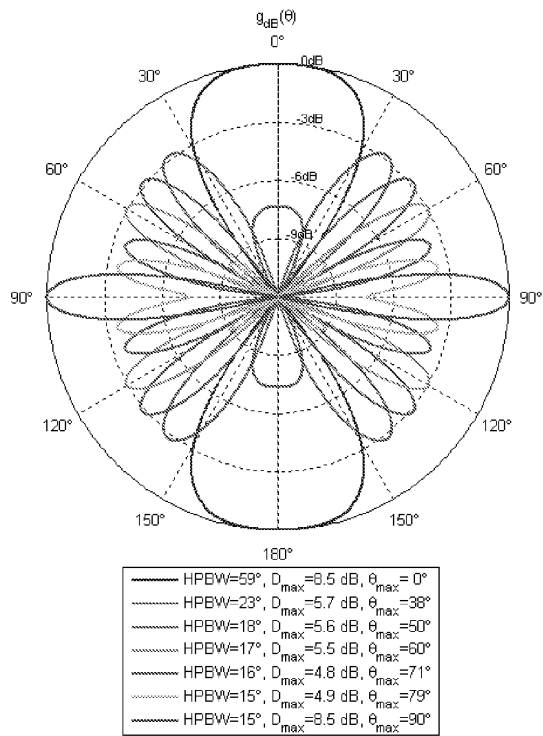
도면3d



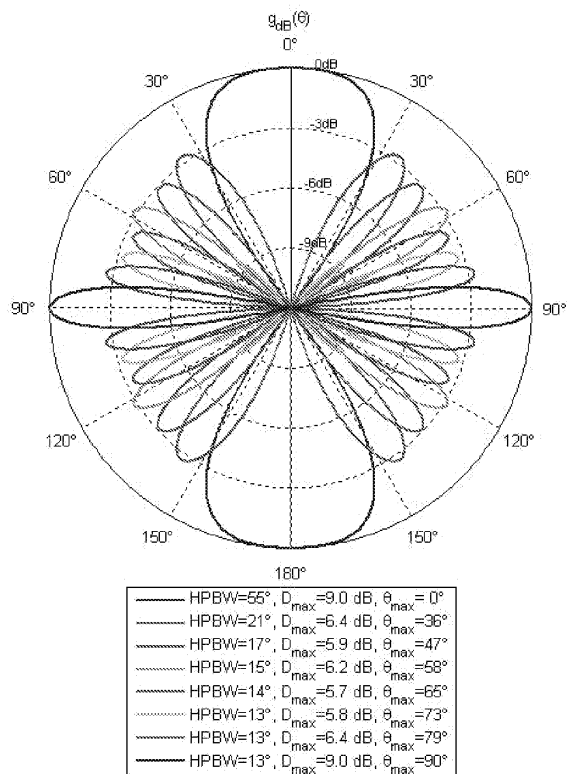
도면3e



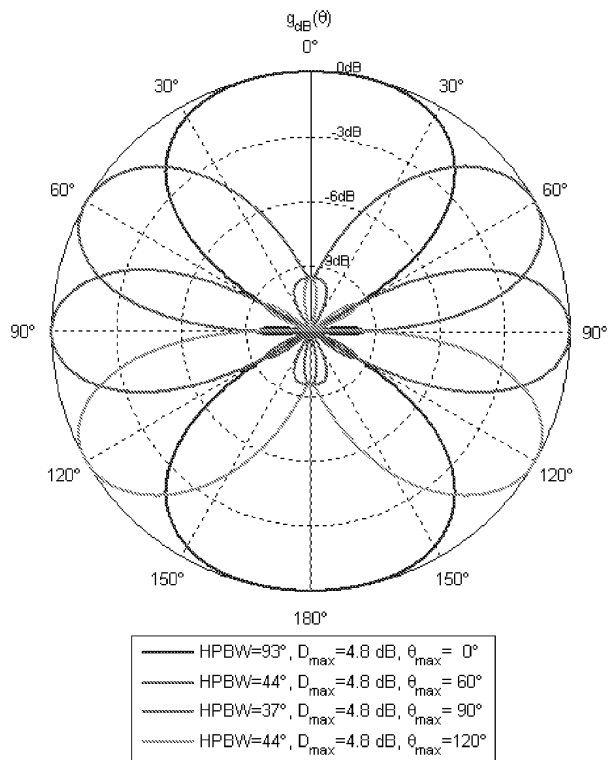
도면3f



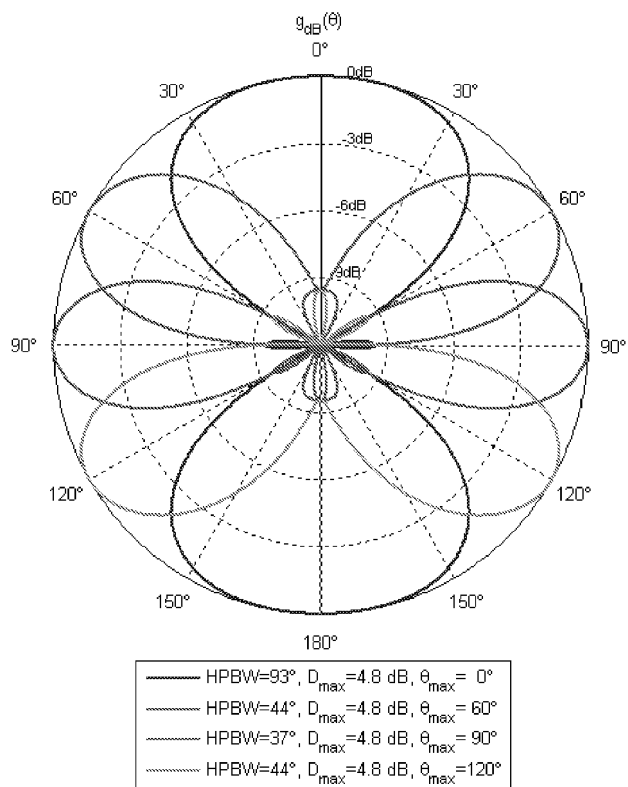
도면3g



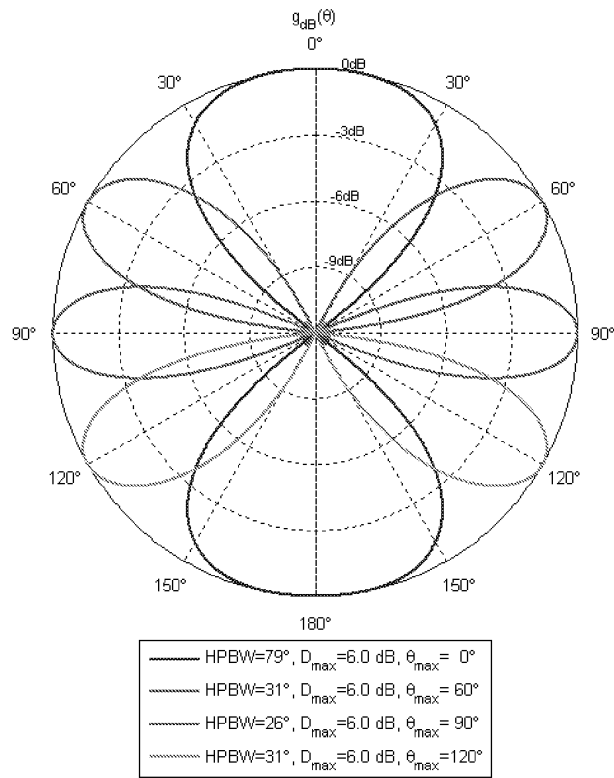
도면4a



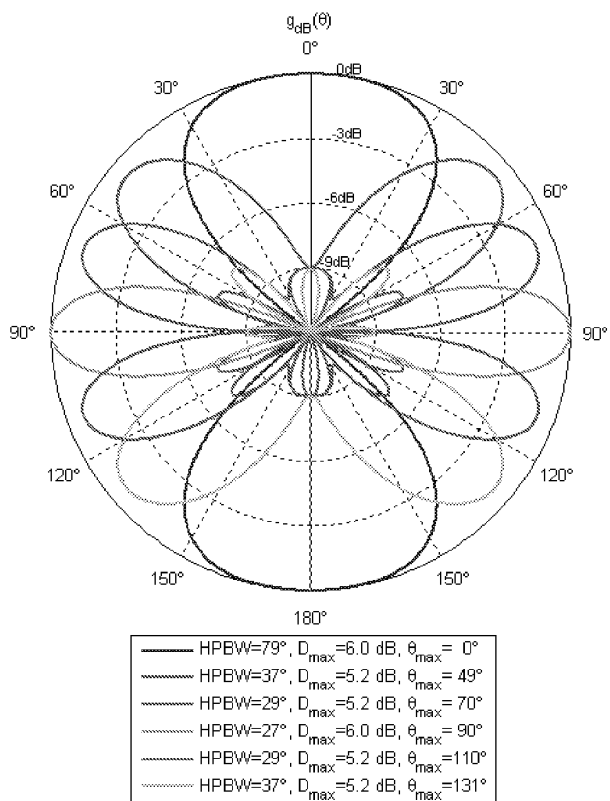
도면4b



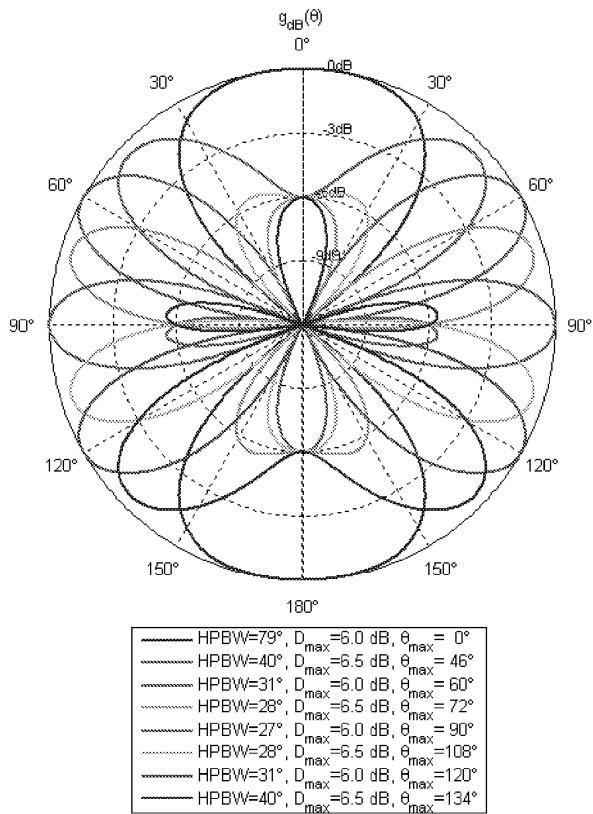
도면4c



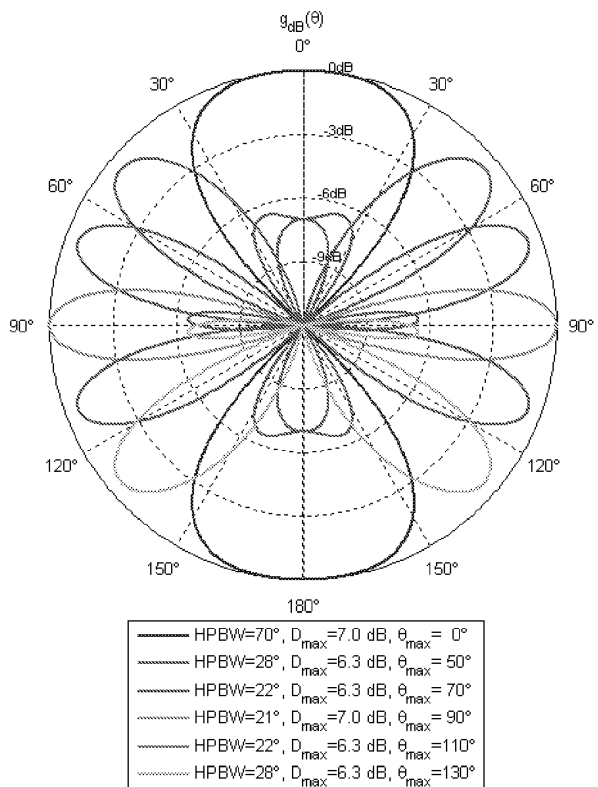
도면4d



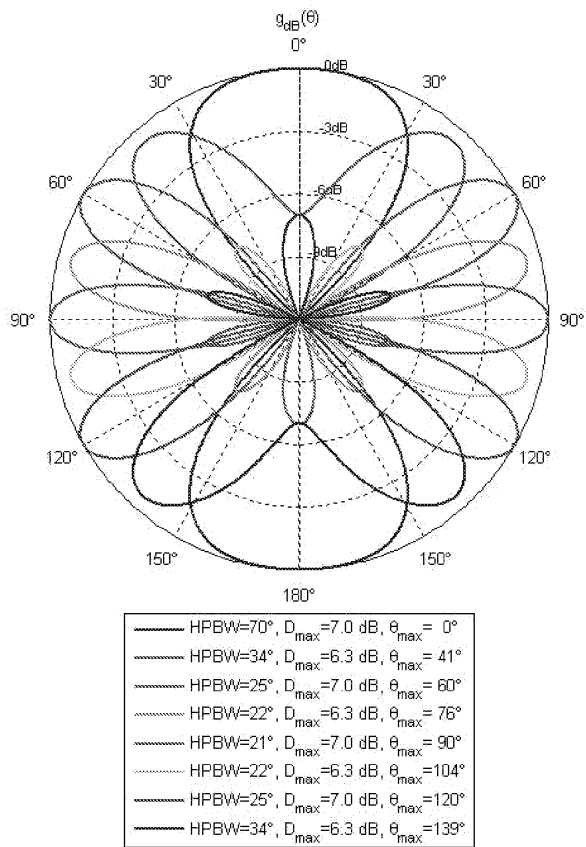
도면4e



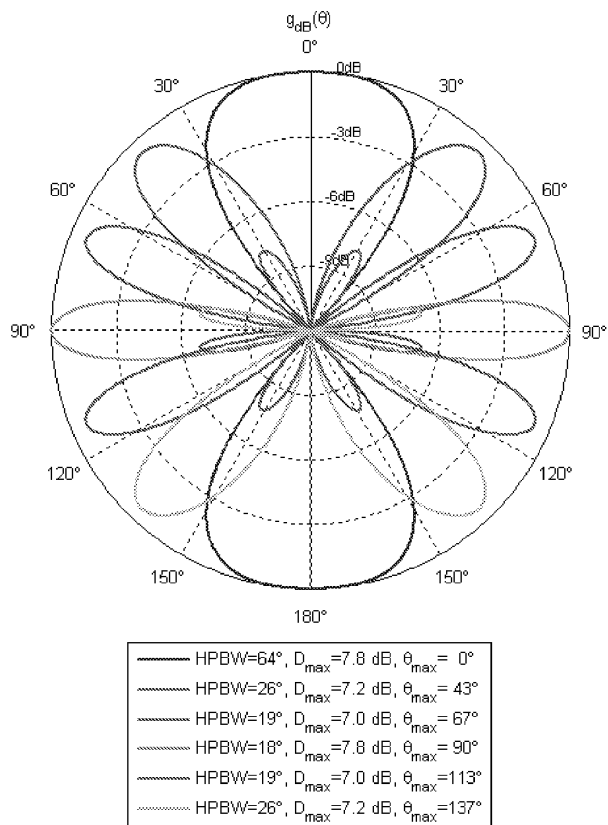
도면4f



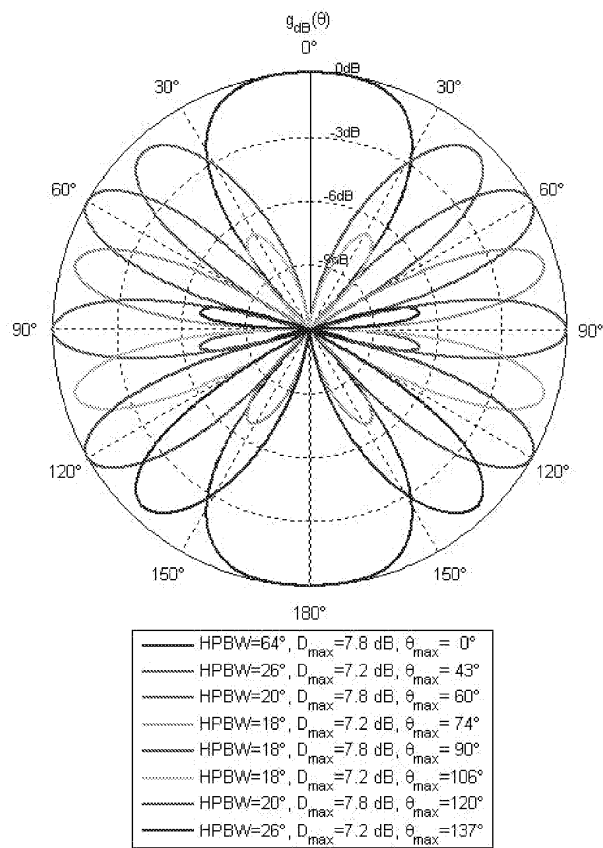
도면4g



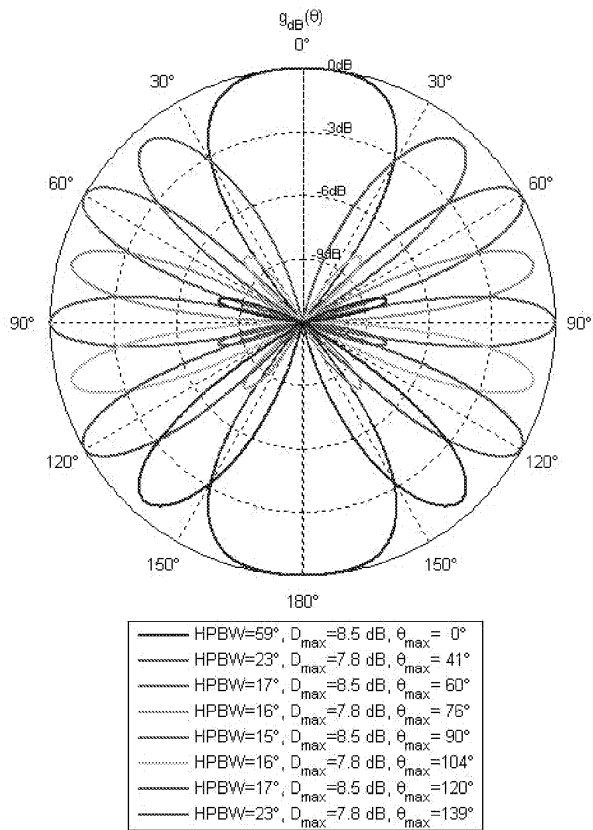
도면4h



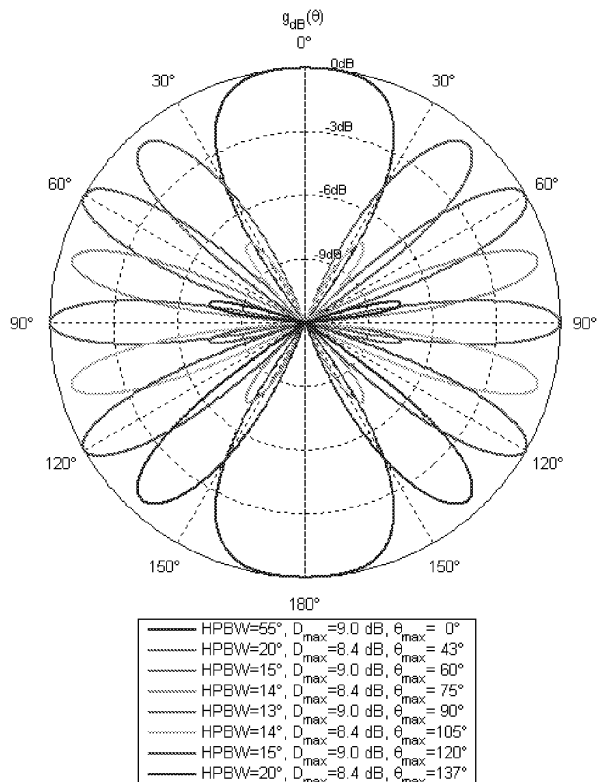
도면4i



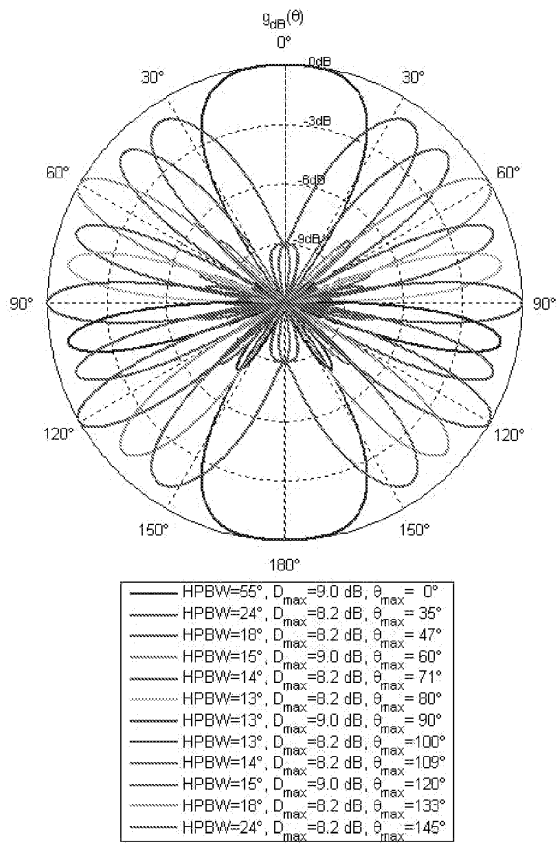
도면4j



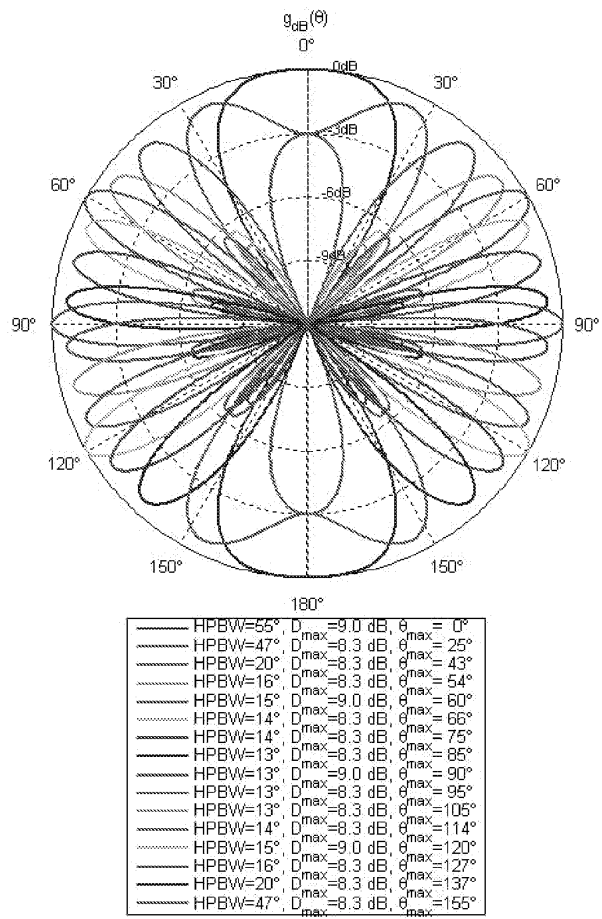
도면4k



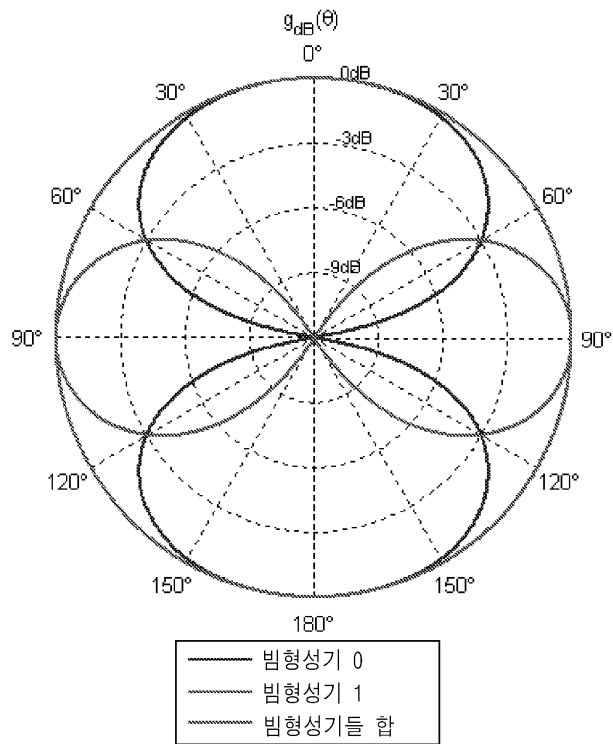
도면41



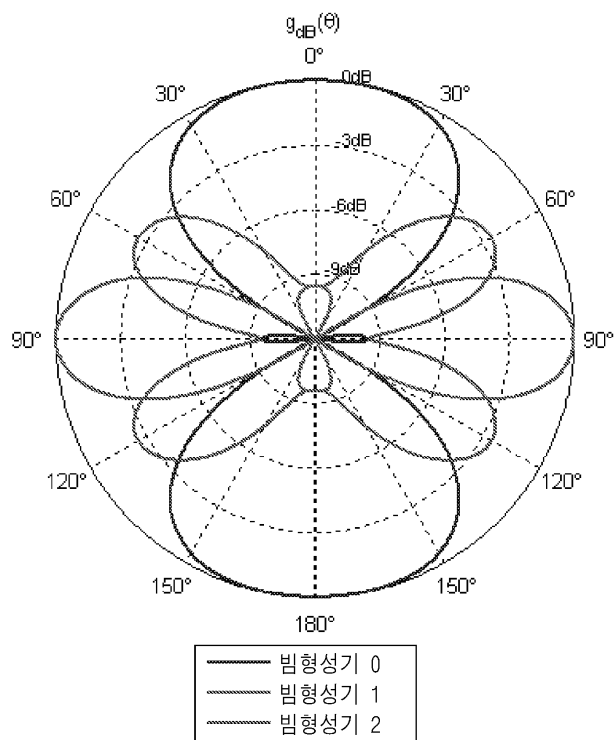
도면 4m



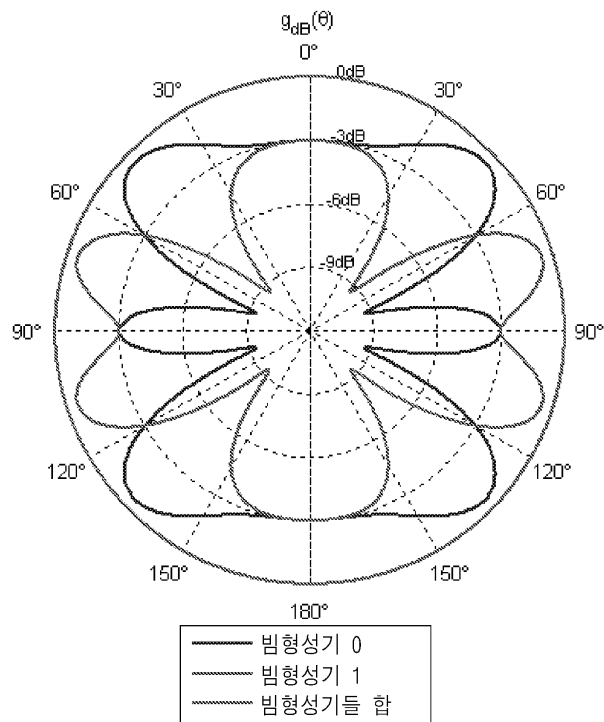
도면5a



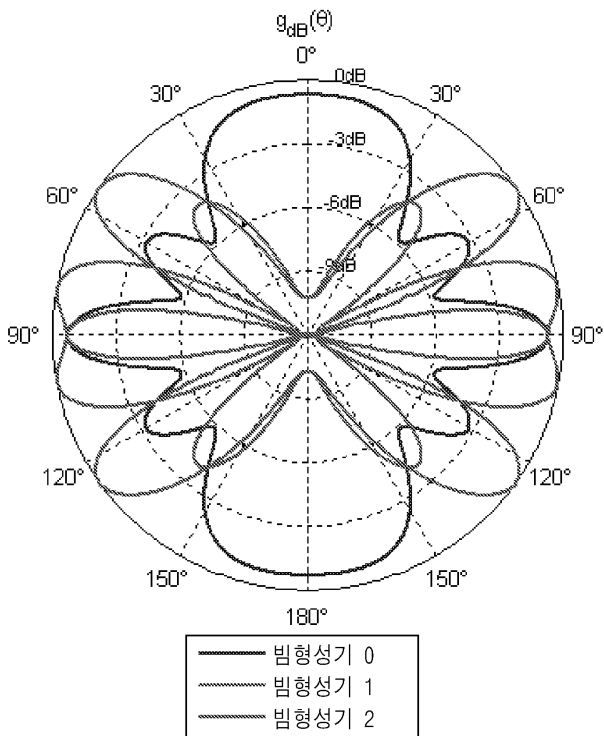
도면5b



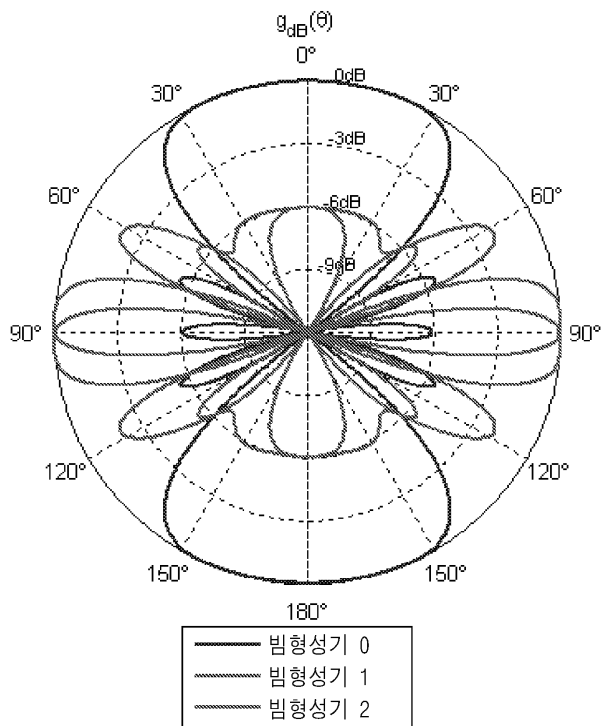
도면5c



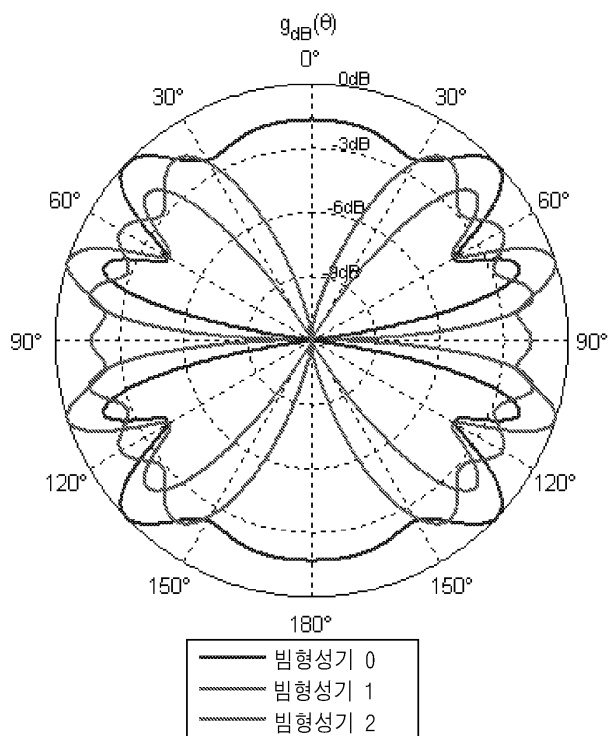
도면5d



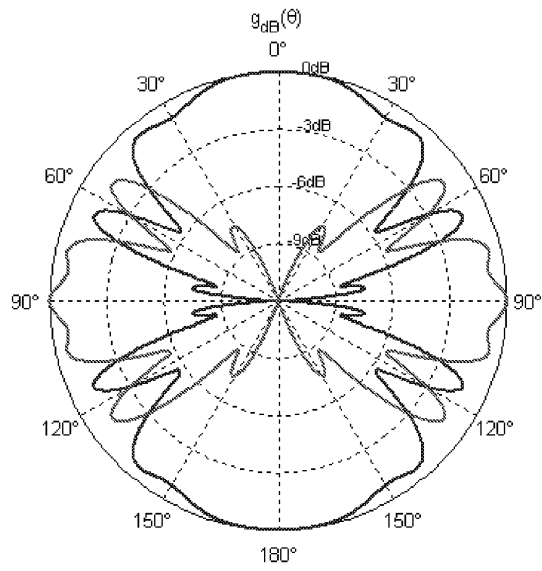
도면5e



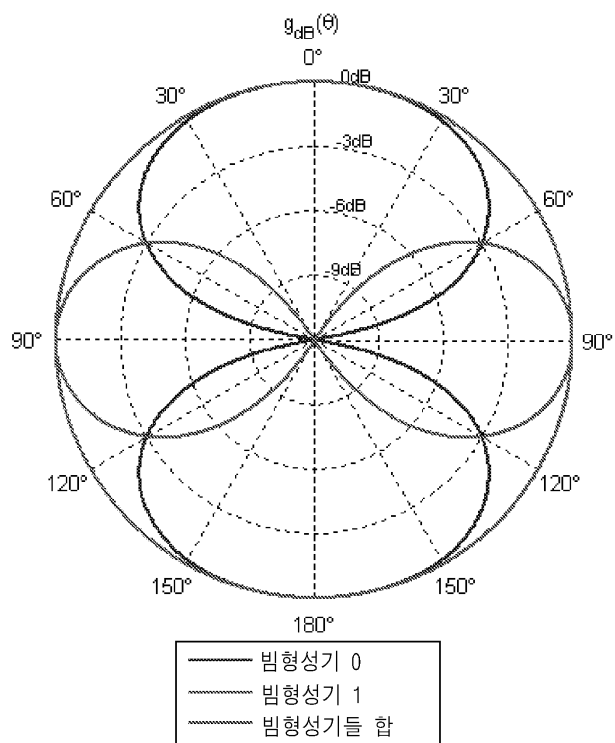
도면5f



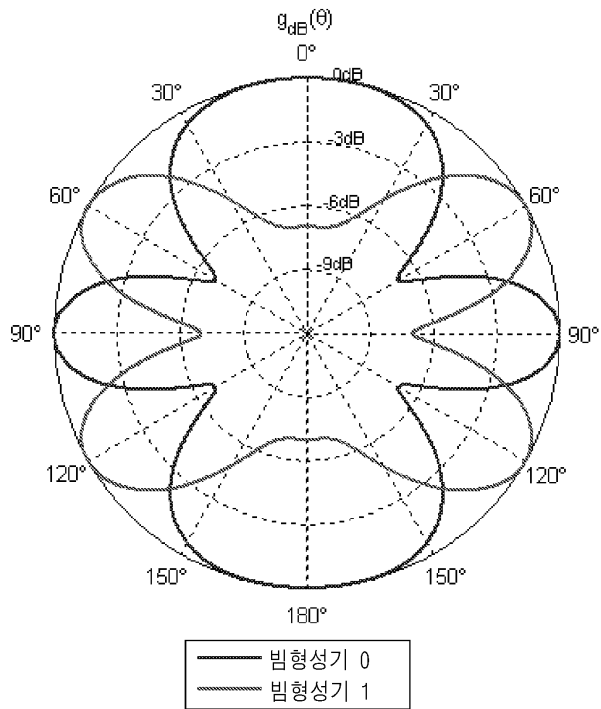
도면5g



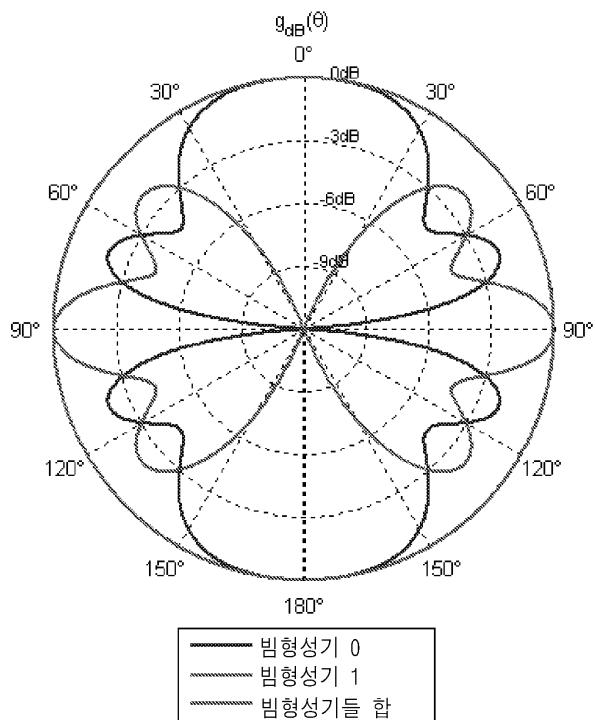
도면6a



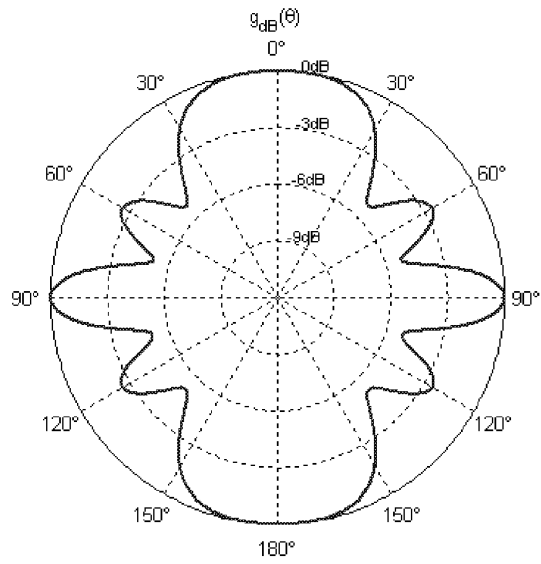
도면6b



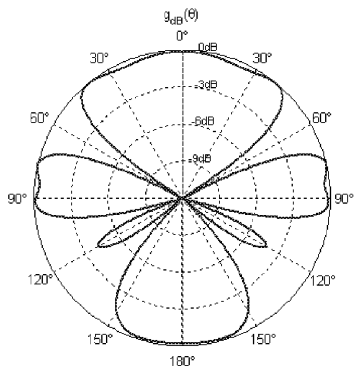
도면6c



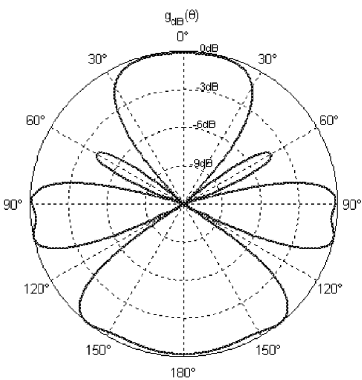
도면6d



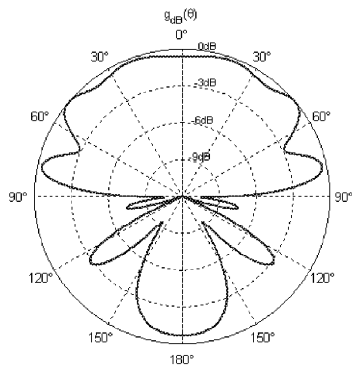
도면7a



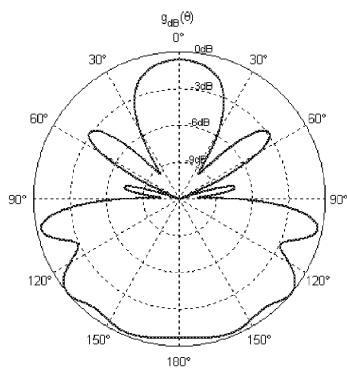
도면7b



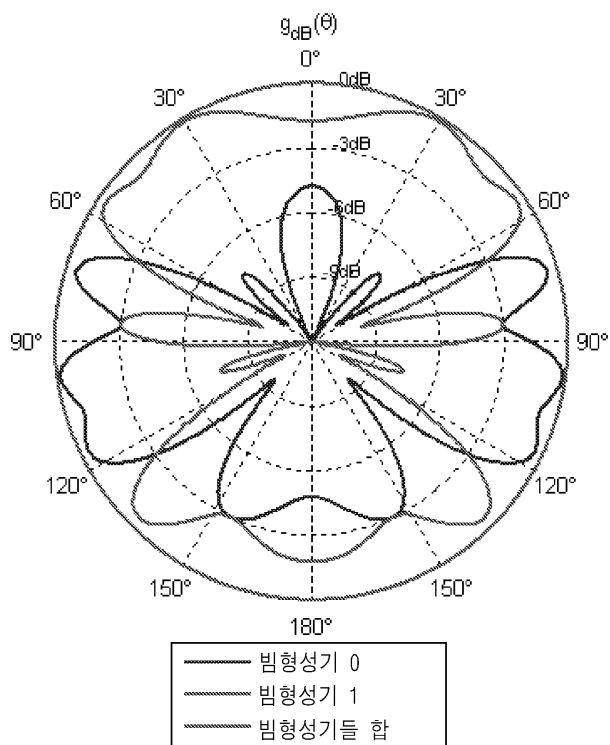
도면7c



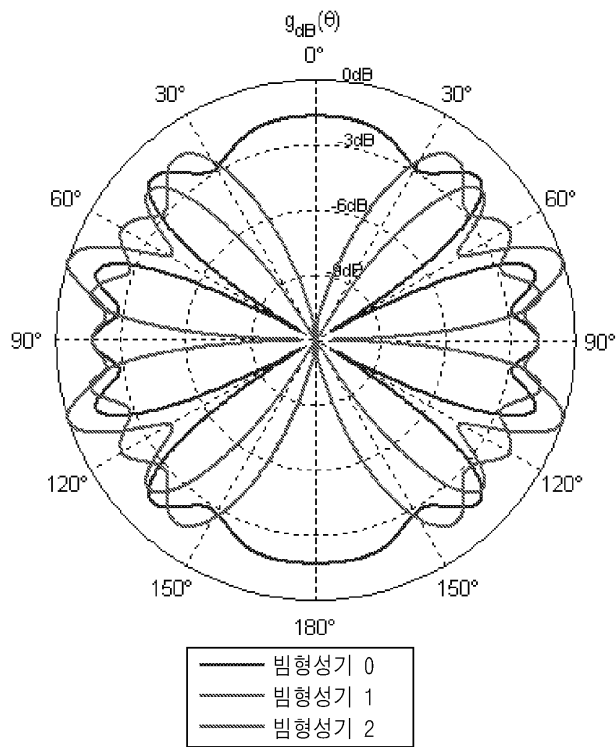
도면7d



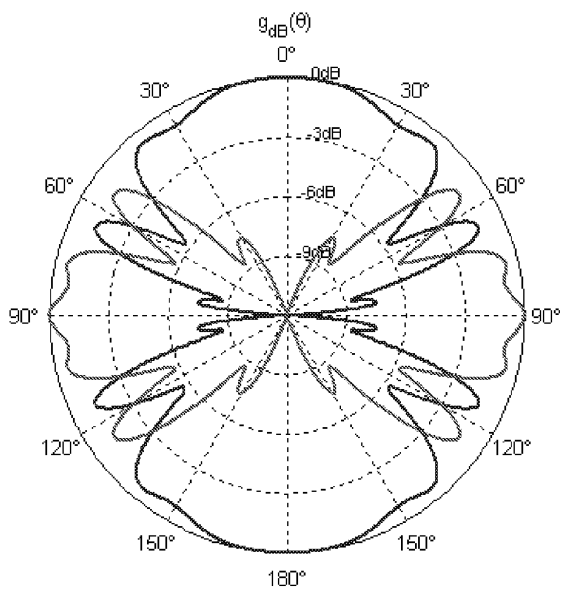
도면8a



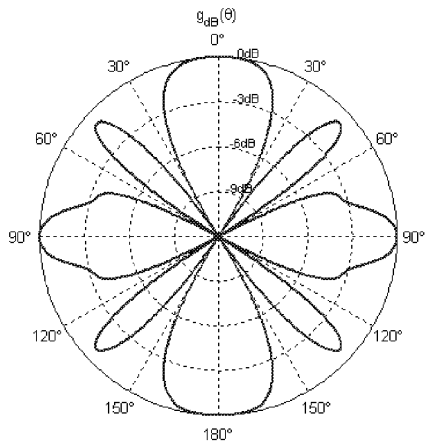
도면8b



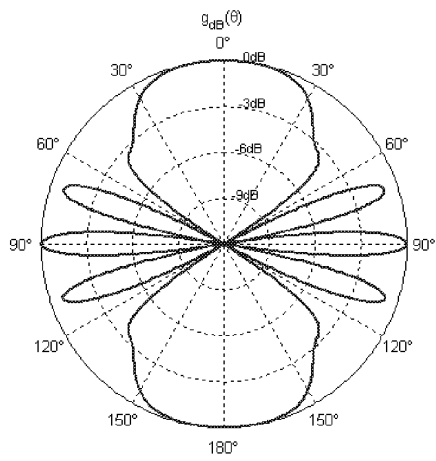
도면8c



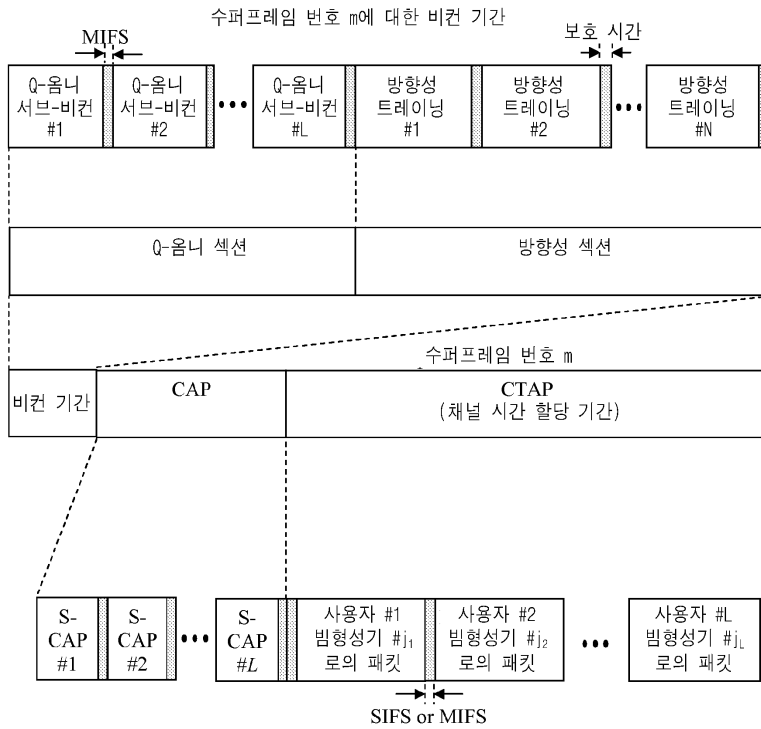
도면8d



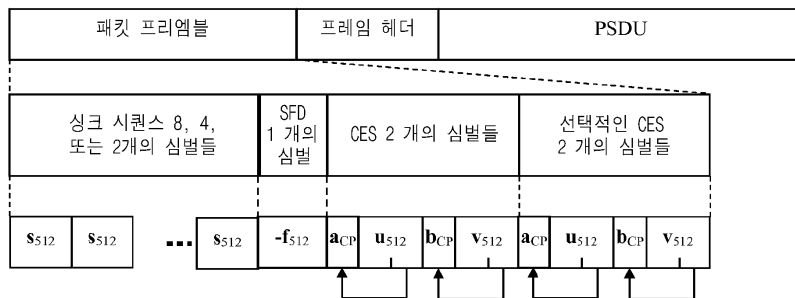
도면8e



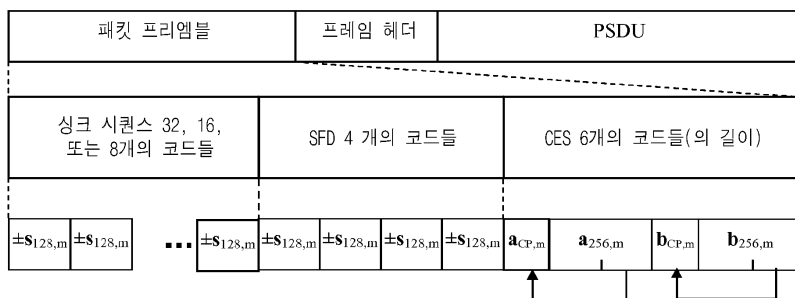
도면9



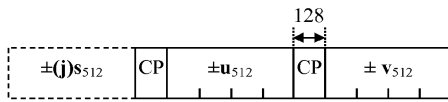
도면10a



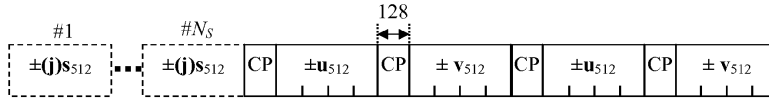
도면10b



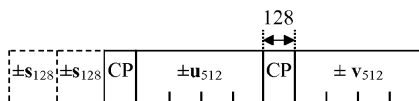
도면11a



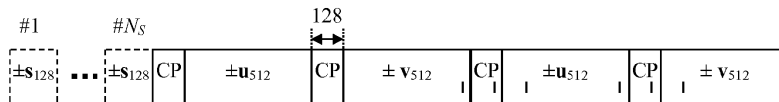
도면11b



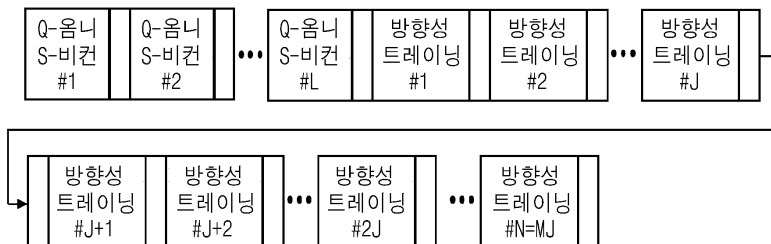
도면11c



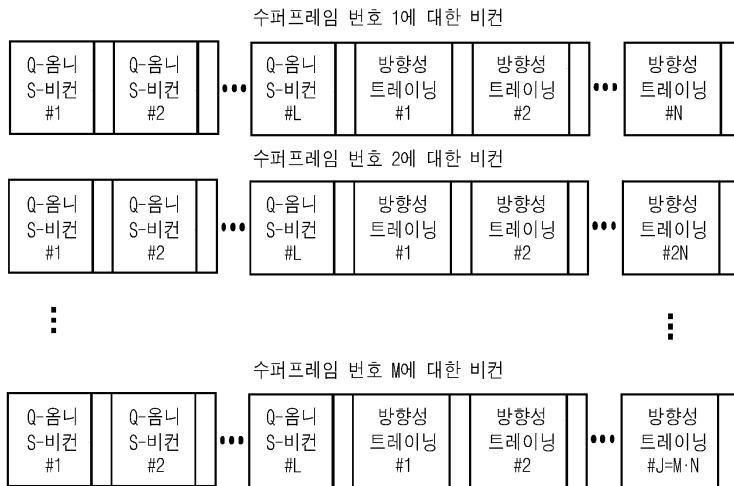
도면11d



도면12a



도면12b



도면13a

0 또는 2	0 또는 6	1	1	1	1
트레이닝 시퀀스 정보	Tx 및 Rx 안테나 배열 정보	안테나 타입	현재 Q-옴니 S-비컨 식별자 (4비트)	Q-옴니 S- 비컨들의 수 (4비트)	길이 (=3 또는 7) 엘리먼트 ID

도면13b

4b	4b	4b	4b	4b	4b
마지막 Y-섹터 ID	처음 Y-섹터 ID	마지막 X-섹터 ID	처음 X-섹터 ID	Y-코드북 ID	X-코드북 ID

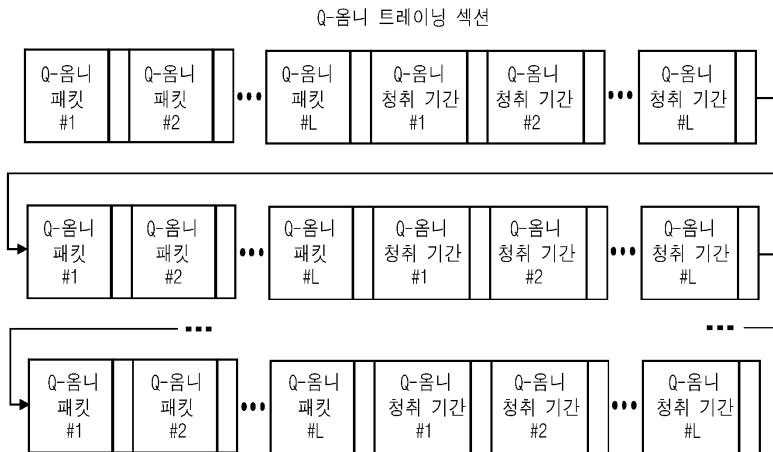
도면13c

7b	1b	4b	4b
보호 시간 듀레이션	CES 모드	트레이닝 시퀀스 당 싱크들의 수	수퍼프레임 당 트레이닝 시퀀스들의 수

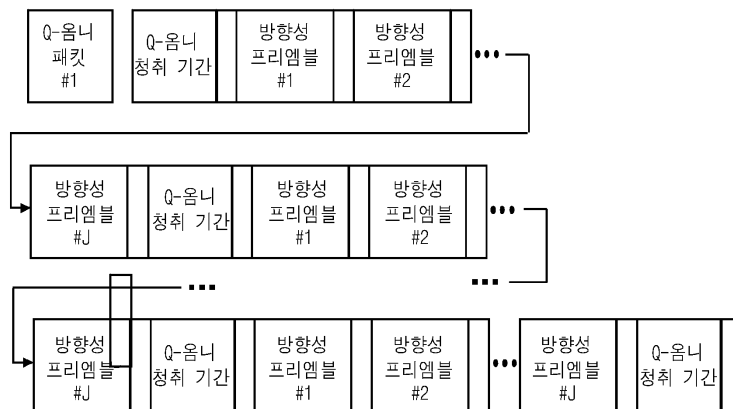
도면14a

수퍼프레임 구조						
비컨 기간	CAP (경쟁(Contention) 액세스 시간)	CTAP: 채널 시간 할당 기간				
		CTA	CTA 2	...	CTA k	...

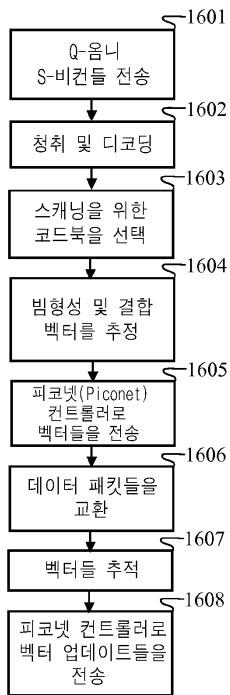
도면14b



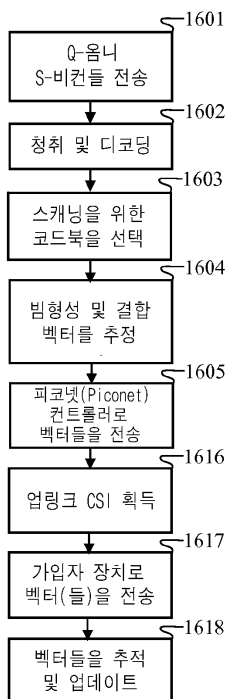
도면15



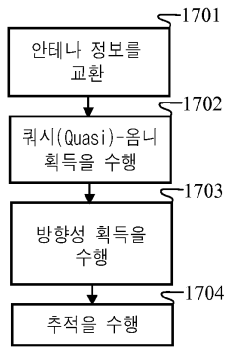
도면16a



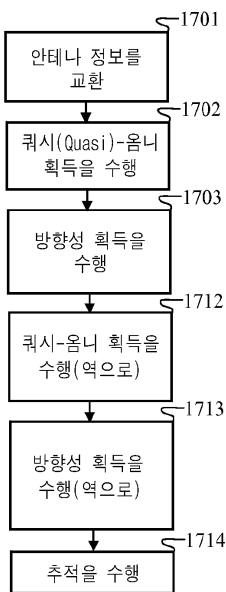
도면16b



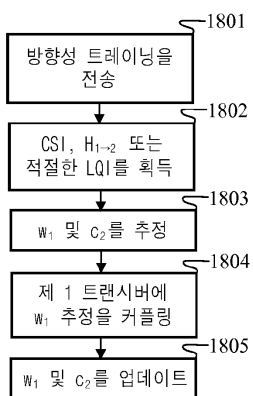
도면17a



도면17b



도면18a



도면18b

