



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0052279
(43) 공개일자 2010년05월19일

(51) Int. Cl.

H04W 16/10 (2009.01) H04B 7/04 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0111229

(22) 출원일자 2008년11월10일

심사청구일자 2008년11월10일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자

정재학

서울 서초구 서초2동 무지개아파트 3동 1207호

권양수

서울특별시 구로구 신도림동 e편한세상대림7차아파트 804동 1702호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인태동

전체 청구항 수 : 총 9 항

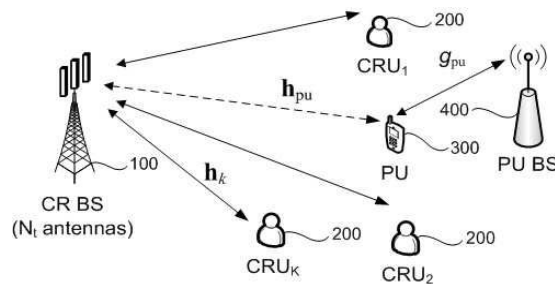
(54) 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법

(57) 요약

본 발명은 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 N개의 송신 안테나를 가지는 코그니티브 라디오 기지국에서 주파수를 공유하는 방법에 있어서, (1) 코그니티브 라디오 기지국(Cognitive Radio Base Station: CR BS, 이하 'CR BS')과 우선 사용자(Primary User: PU, 이하 'PU')와의 채널 정보를 이용하여 기본 부공간을 설정하는 단계, (2) 상기 설정된 기본 부공간에 대해 직교 빔을 생성하여 상기 기본 부공간에 직교가 되는 코그니티브 라디오 사용자(Cognitive Radio User; CRU, 이하 'CRU') 부공간을 구성하는 단계, 및 (3) 상기 구성된 CRU 부공간을 이용하여 CR BS와 CRU 간의 링크(link)를 설정하여 주파수를 공유하는 단계를 포함하는 것을 그 구성상의 특징으로 한다.

본 발명의 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법에 따르면, CR BS와 PU와의 채널 정보를 이용하여 기본 부공간을 설정하고, 그람-슈미츠 직교화 방법(Gram-Schmidt orthogonalization)을 사용하여 설정된 기본 부공간과 직교가 되는 CRU 부공간을 구하여 CR BS와 CRU 간의 링크로서 사용함으로써, PU에게 간섭을 전혀 미치지 않고 주파수를 공유할 수 있는 CRU를 위한 다중 빔을 생성할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김현수

충청남도 논산시 내동 동신아파트 101동 402호

유재호

전라남도 목포시 신흥동 신안꿈동산아파트 106동
1201호

특허청구의 범위

청구항 1

N_t 개의 송신 안테나를 갖는 코그니티브 라디오 기지국에서 주파수를 공유하는 방법에 있어서,

- (1) 코그니티브 라디오 기지국(Cognitive Radio Base Station; CR BS, 이하 'CR BS')과 우선 사용자(Primary User; PU, 이하 'PU')와의 채널 정보를 이용하여 기본 부공간을 설정하는 단계;
- (2) 상기 설정된 기본 부공간에 대해 직교 빔을 생성하여 상기 기본 부공간에 직교가 되는 코그니티브 라디오 사용자(Cognitive Radio User; CRU, 이하 'CRU') 부공간을 구성하는 단계; 및
- (3) 상기 구성된 CRU 부공간을 이용하여 CR BS와 CRU 간의 링크(link)를 설정하여 주파수를 공유하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

기본 부공간을 설정하는 상기 단계 (1)은,

CR BS가 PU의 상향 링크 동안 PU와 CR BS 간의 채널 상태 정보(Channel State Information: CSI, 이하 'CSI')를 측정하는 단계; 및

상기 측정된 CSI에 기초하여 기본 부공간을 설정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

설정된 기본 부공간에 대해 직교 빔을 생성하여 상기 기본 부공간에 직교가 되는 CRU 부공간을 구성하는 상기 단계 (2)는,

- (a) 상기 기본 부공간에 기초하여 PU의 가중치 벡터(w_{pu})를 획득하여 기본 벡터(u_1)에 대입하는 단계;
- (b) 상기 획득된 우선 사용자의 가중치 벡터(w_{pu})에 대한 N_t-1 개의 선형 독립 벡터(v_k)를 생성하는 단계;
- (c) 상기 생성된 선형 독립 벡터(v_k)를 상기 기본 벡터(u_1)에 투영하고, 그람-슈미츠 직교화 방법(Gram-Schmidt orthogonalization)을 이용하여 상기 기본 벡터(u_1)에 직교하는 가중치 벡터(u_k)를 순차적으로 획득하는 단계;
- (d) 상기 획득된 가중치 벡터(u_k)를 정규화하여 PU에게 직교하는 CRU의 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 획득하는 단계;
- (e) 상기 단계 (c)와 단계 (d)를 반복하여 CRU를 위한 N_t-1 개의 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 순차적으로 획득하는 단계;
- (f) 상기 CR BS에서 획득된 상기 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 이용하여 직교 빔을 생성하는 단계; 및
- (g) 상기 생성된 직교 빔을 이용하여 상기 기본 부공간에 직교가 되는 CRU 부공간을 구성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

PU의 가중치 벡터(w_{pu})를 획득하여 기본 벡터(u_1)에 대입하는 상기 단계 (a)에서, 상기 PU의 가중치 벡터(w_{pu})는, 다음 수학식에 의해 획득되는 것을 특징으로 하는 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법.

$$\mathbf{w}_{pu} = [w_1, w_2, \dots, w_{N_t}]^T (\mathbf{w}_{pu} \in \mathbb{C}^{N_t \times 1})$$

청구항 5

제3항에 있어서,

우선 사용자의 가중치 벡터(w_{pu})에 대한 N_t-1 개의 선형 독립 벡터(v_k)를 생성하는 상기 단계 (b)에서, 상기 선형 독립 벡터(v_k)는, 다음 수학식에 의해 생성되는 것을 특징으로 하는 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법.

$$\mathbf{v}_k = [w_1, \dots, w_i + \alpha, \dots, w_{N_t}]^T, \quad k = 2, 3, \dots, N_t.$$

청구항 6

제3항에 있어서,

기본 벡터(u_1)에 직교하는 가중치 벡터(u_k)를 순차적으로 획득하는 상기 단계 (c)에서, 상기 가중치 벡터(u_k)는, 다음 수학식에 의해 획득되는 것을 특징으로 하는 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법.

$$\mathbf{u}_k = \mathbf{v}_k - \sum_{j=1}^{k-1} \frac{\mathbf{u}_j^H \mathbf{v}_k}{\mathbf{u}_j^H \mathbf{u}_j} \mathbf{v}_j, \quad k = 2, 3, \dots, N_t.$$

청구항 7

제3항에 있어서,

CRU의 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 획득하는 상기 단계 (d)에서, 상기 직교 빔 가중치 벡터(w_k)는, 다음 수학식에 의해 획득되는 것을 특징으로 하는 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법.

$$\mathbf{w}_k = \mathbf{u}_k / \|\mathbf{u}_k\|, \quad k = 2, 3, \dots, N_t.$$

청구항 8

제3항에 있어서,

상기 N_t-1 개의 직교 빔 가중치 벡터(w_k)와 PU의 가중치 벡터(w_{pu})는, 다음 조건식을 만족하는 것을 특징으로 하는 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법.

$$\mathbf{w}_{pu}^H \mathbf{w}_k = \begin{cases} 1, & pu = k, \\ 0, & pu \neq k. \end{cases}$$

청구항 9

제1항 내지 제8항 중의 어느 한 항의 방법을 실행하기 위한 프로그램이 기록되어 있는 것을 특징으로 하는 컴퓨터

터에서 판독 가능한 기록 매체.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 CR BS과 PU와의 채널 정보를 이용하여 기본 부공간을 설정하고, 그람-슈미츠 직교화 방법(Gram-Schmidt orthogonalization)을 사용하여 설정된 기본 부공간과 직교가 되는 CRU 부공간을 구하여 CR BS과 CRU 간의 링크로서 사용함으로써, PU에게 간섭을 전혀 미치지 않고 주파수를 공유할 수 있는 CRU를 위한 다중 빔을 생성할 수 있는 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 통신 기술의 급속한 발달은 사용자들에게 보다 높은 데이터 전송률과 서비스 품질을 제공하고 있다. 무선 통신 기술은 음성 데이터의 전송을 주요 목적으로 하던 제2 세대를 거쳐서 음성과 더불어 보다 많은 데이터의 송수신을 위한 제3 세대로 발전하였으며, 3GPP(3rd Generation Partnership Project)와 같은 다양한 무선 통신 기술들이 표준화를 통해 상용화되고 있다. 새로운 무선 통신 기술들의 출현과 사용자들의 데이터 요구량의 증가에 비해 무선 자원은 유한하기 때문에 새로운 통신 기술이 사용가능한 주파수 대역은 부족한 실정이다. 특히, 채널 품질이 좋은 주파수 대역을 사용할 수 있는 여지는 거의 없는 실정이다. 이러한 문제점의 해결 방안으로 Mitola는 사업자에게 할당되어 있지만, 실제 사용되지 않고 있는 주파수 대역을 감지하여 무선 통신을 하는 기술인 코그니티브 라디오(Cognitive Radio; CR)의 기본 개념을 제시하였다. 2002년 12월 FCC(Federal Communications Commission)는 주파수의 실제 사용률에 대한 연구를 시작하여 할당되어 있는 주파수 대역에 대한 실제 사용 효율을 분석하였고, 그 결과 사업자에게는 할당되어 있으나 일시적 또는 지역적으로 실제 이용 효율은 약 15%에서 약 85% 미만인 것으로 나타났다. 이러한 결과에 기초하여, FCC는 보다 높은 주파수 사용 효율을 달성하기 위해 NPRM(Notice of Proposed Rule Making)을 통하여 비어 있는 주파수에 대한 중복 사용에 대한 내용을 발표하였다. 그리고 2004년 11월에 CR 기술에 기초한 IEEE802.22 WRAN(Wireless Regional Area Networks)의 표준화가 시작되었다. 이와 같이 CR 기술은 차세대 통신 시스템을 위한 보다 실체적인 기술로 인식되어 왔으며 연구가 활발히 진행 중이다.

[0003] CR의 중요한 기술 중 하나는 주파수에 대한 권리를 가진 우선 사용자(Primary Users; PU)가 해당 주파수를 사용하지 않을 때를 인지하는 스펙트럼 센싱(spectrum sensing) 기술이다. 만일 비어있던 주파수를 사용 중이던 CR 시스템은 PU가 주파수 사용을 시작하면 통신을 멈추고 새로운 가용한 채널을 검색하고 사용하여야 한다. 현재의 스펙트럼 센싱 기술은 PU 시스템의 주파수 사용을 짧은 시간 내에 인지할 수 있고, CR 시스템이 다른 주파수로 옮겨 통신을 하는 것이 가능하다. 그러나 만약 CR 시스템이 사용 중이던 주파수에서의 통신을 멈추지 않고 PU 시스템과 주파수를 공유할 수 있다면, 해당 지역 내의 주파수 효율을 현저히 증가시킬 수 있다. 이 때문에 CR 시스템이 PU 시스템과 주파수를 공유할 수 있도록 하는 기술이 연구되어 왔다. 주파수 공유 기술의 예로서, CR 시스템의 송신 전력 제어(transmit power control)와 동적 자원 관리(dynamic resource management) 등이 있다. 그러나 만약 PU 시스템이 해당 주파수를 지속적으로 사용한다면 주파수 공유의 여지가 없기 때문에 CR 시스템의 주파수 사용 효율은 효과적이지 못하게 된다. 이러한 문제를 극복하기 위해 다중 안테나 시스템(Multiple Input Multiple Output; MIMO)을 적용하여 주파수 효율을 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. M. H. Islam, Y. C. Liang, and A. T. Hoang, "Joint beamforming and power control in the downlink of cognitive radio networks,"(in *Proc. IEEE WCNC*, Hong Kong, pp. 21-26, Mar. 2007.)은 CR 시스템의 하향 링크에서 빔 포밍(beamforming)과 전력 제어를 통해 주파수를 공유하여 합 용량(sum-rate)을 증가시키는 알고리즘을 제안하였으며, PU 시스템과 CR 시스템 사이의 협력(collaboration)과 비협력(no collaboration)의 두 가지 경우로 나누어 고려하였다. 이 알고리즘을 적용하였을 경우, CR 시스템이 PU에게 미치는 허용 가능한 신호 대 간섭 잡음비 제한(tolerable Signal to Interference and Noise Ratio constraint; SINR)내에서 두 시스템이 주파수를 공유할 수 있다. L. Zhang, Y. Liang, and Y. Xin, "Joint beamforming and power allocation for multiple access channels in cognitive radio networks,"(*IEEE JSAC*, vol. 26, no.1, pp. 3851, Jan. 2008.)은 다중 접속 환경(multiple access)에서 PU에게 허용 가능한 신호 대 간섭 잡음비 제한(SINR)을 고려하

여 주파수를 고려할 수 있는 방법을 제안하였다.

[0004] 그러나 이러한 방법들은 순차적으로 CR 시스템의 PU에 대한 간섭량과 CR 시스템의 합-용량을 동시에 고려하여 CR 사용자를 선택하여야 하므로 시스템의 복잡도가 매우 크다는 문제점이 있다. K. Hamdi, W. Zhang, and K. B. Letaief, "Joint beamforming and scheduling in cognitive radio networks," (in *Proc. IEEE GLOBECOM*, Washington, D.C, USA, pp. 29772981, Nov. 2007.)에서는 빔 포밍과 스케줄링(scheduling) 방법을 결합한 방법을 제안하였는데, 이는 PU의 허용 가능한 신호대 간섭 잡음비 제한(SINR) 내에서 PU의 채널 값과 준직교(quasi orthogonal)인 CRU를 선택하여 주파수를 공유하는 방법이다. 이 방법은 CR 시스템의 높은 하향링크 합 용량을 얻을 수 있다. 그러나 같은 시간 슬롯에 동일 주파수를 사용하는 코그니티브 라디오 사용자(CRU)가 많을 경우 우선 사용자(PU)에게 간섭이 누적되므로 우선 사용자(PU)의 통신서비스 품질(Quality of Service: QoS)은 보장 되지 않을 수 있다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0005] 본 발명은 기존에 제안된 방법들의 상기와 같은 문제점들을 해결하기 위해 제안된 것으로서, CR BS과 PU와의 채널 정보를 이용하여 기본 부공간을 설정하고, 그람-슈미츠 직교화 방법(Gram-Schmidt orthogonalization)을 사용하여 설정된 기본 부공간과 직교가 되는 CRU 부공간을 구하여 CR BS과 CRU 간의 링크로서 사용함으로써, PU에게 간섭을 전혀 미치지 않고 주파수를 공유할 수 있는 CRU를 위한 다중 빔을 생성할 수 있는 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제 해결수단

[0006] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법은, N_t 개의 송신 안테나를 갖는 코그니티브 라디오 기지국에서 주파수를 공유하는 방법에 있어서,

[0007] (1) 코그니티브 라디오 기지국(Cognitive Radio Base Station; CR BS, 이하 'CR BS')과 우선 사용자(Primary User; PU, 이하 'PU')와의 채널 정보를 이용하여 기본 부공간을 설정하는 단계;

[0008] (2) 상기 설정된 기본 부공간에 대해 직교 빔을 생성하여 상기 기본 부공간에 직교가 되는 코그니티브 라디오 사용자(Cognitive Radio User; CRU, 이하 'CRU') 부공간을 구성하는 단계; 및

[0009] (3) 상기 구성된 CRU 부공간을 이용하여 CR BS와 CRU 간의 링크(link)를 설정하여 주파수를 공유하는 단계를 포함하는 것을 그 구성상의 특징으로 한다.

[0010] 바람직하게는, 기본 부공간을 설정하는 상기 단계 (1)은,

[0011] CR BS가 PU의 상향 링크 동안 PU와 CR BS 간의 채널 상태 정보(Channel State Information: CSI, 이하 'CSI')를 측정하는 단계; 및

[0012] 상기 측정된 CSI에 기초하여 기본 부공간을 설정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 바람직하게는, 설정된 기본 부공간에 대해 직교 빔을 생성하여 상기 기본 부공간에 직교가 되는 CRU 부공간을 구성하는 상기 단계 (2)는,

[0014] (a) 상기 기본 부공간에 기초하여 PU의 가중치 벡터(w_{pu})를 획득하여 기본 벡터(u_1)에 대입하는 단계;

[0015] (b) 상기 획득된 우선 사용자의 가중치 벡터(w_{pu})에 대한 N_t-1 개의 선형 독립 벡터(v_k)를 생성하는 단계;

[0016] (c) 상기 생성된 선형 독립 벡터(v_k)를 상기 기본 벡터(u_1)에 투영하고, 그람-슈미츠 직교화 방법(Gram-Schmidt orthogonalization)을 이용하여 상기 기본 벡터(u_1)에 직교하는 가중치 벡터(u_k)를 순차적으로 획득하는 단계;

[0017] (d) 상기 획득된 가중치 벡터(u_k)를 정규화하여 PU에게 직교하는 CRU의 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 획득하는 단

계;

(e) 상기 단계 (c)와 단계 (d)를 반복하여 CRU를 위한 N-1개의 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 순차적으로 획득하는 단계;

(f) 상기 CR BS에서 획득된 상기 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 이용하여 직교 빔을 생성하는 단계; 및

(g) 상기 생성된 직교 빔을 이용하여 상기 기본 부공간에 직교가 되는 CRU 부공간을 구성하는 단계를 포함할 수 있다.

더욱 바람직하게는, PU의 가중치 벡터(w_{pu})를 획득하여 기본 벡터(u_1)에 대입하는 상기 단계 (a)에서, 상기 PU의 가중치 벡터(w_{pu})는, 다음 수학식에 의해 획득될 수 있다.

$$w_{pu} = [w_1, w_2, \dots, w_{N_t}]^T (w_{pu} \in \mathbb{C}^{N_t \times 1})$$

더욱 바람직하게는, 우선 사용자의 가중치 벡터(w_{pu})에 대한 N-1개의 선형 독립 벡터(v_k)를 생성하는 상기 단계 (b)에서, 상기 선형 독립 벡터(v_k)는, 다음 수학식에 의해 생성될 수 있다.

$$v_k = [w_1, \dots, w_i + \alpha, \dots, w_{N_t}]^T, \quad k = 2, 3, \dots, N_t.$$

더욱 바람직하게는, 기본 벡터(u_1)에 직교하는 가중치 벡터(u_k)를 순차적으로 획득하는 상기 단계 (c)에서, 상기 가중치 벡터(u_k)는, 다음 수학식에 의해 획득될 수 있다.

$$u_k = v_k - \sum_{j=1}^{k-1} \frac{u_j^H v_k}{u_j^H u_j} v_j, \quad k = 2, 3, \dots, N_t.$$

더욱 바람직하게는, CRU의 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 획득하는 상기 단계 (d)에서, 상기 직교 빔 가중치 벡터(w_k)는, 다음 수학식에 의해 획득될 수 있다.

$$w_k = u_k / \|u_k\|, \quad k = 2, 3, \dots, N_t.$$

더욱 바람직하게는, 상기 N_t-1 개의 직교 빔 가중치 벡터(w_k)와 PU의 가중치 벡터(w_{pu})는, 다음 조건식을 만족한다.

$$w_{pu}^H w_k = \begin{cases} 1, & pu = k, \\ 0, & pu \neq k. \end{cases}$$

상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 특징에 따른 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체는, 상기 어느 한 항의 방법을 실행하기 위한 프로그램을 기록할 수 있다.

효 과

본 발명의 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법에 따르면, CR BS과 PU와의 채널 정보를 이용하여 기본 부공간을 설정하고, 그람-슈미트 직교화 방법(Gram-Schmidt orthogonalization)을 사용하여 설정된 기본 부공간과 직교가 되는 CRU 부공간을 구하여 CR BS과 CRU 간의 링크로서 사용함으로써, PU에게

간섭을 전혀 미치지 않고 주파수를 공유할 수 있는 CRU를 위한 다중 빔을 생성할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0033] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여, 본 발명에 따른 실시예에 대하여 상세하게 설명하기로 한다.

[0034] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법에서 코그니티브 라디오(Cognitive Radio; CR, 이하 'CR') 시스템과 우선 사용자(Primary User; PU, 이하 'PU')가 공존하여 주파수를 공유하는 개념을 도식화한 도면이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법에서, 코그니티브 라디오(CR) 시스템과 우선 사용자(PU)가 공존하여 주파수를 공유하기 위하여 N_t 개의 안테나를 가진 코그니티브 라디오 기지국(Cognitive Radio Base Station; CR BS, 이하 'CR BS')(100)이 k 명의 코그니티브 라디오 사용자(Cognitive Radio User; CRU, 이하 'CRU')(200)를 지원하고 몇몇의 코그니티브 라디오 사용자(CRU)가 우선 사용자 기지국(PU BS)(400)의 단위 지역 내에 위치한다고 가정한다. 이 경우 하나의 우선 사용자(PU)(300)의 수신 신호는 다음 수학적 식 1과 같다.

수학적 식 1

$$y_{pu} = g_{pu}x_{pu} + \sum_i \mathbf{h}_{pu} \mathbf{w}_i x_i + n_{pu}, \quad i = 1, \dots, K.$$

[0036] 여기서, g_{pu} 는 우선 사용자(PU)와 우선 사용자 기지국(PU BS) 사이의 채널 값을 나타내고, x_{pu} 와 x_i 는 각각 우선 사용자 기지국(PU BS)이 우선 사용자(PU)에게 송신한 데이터와 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)이 i 번째 코그니티브 라디오 사용자(CRU)에게 전송한 데이터를 나타낸다. $\mathbf{h}_{pu} = [h_1, h_2, \dots, h_{N_t}]$ 는 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)과 우선 사용자(PU) 사이의 채널 값 벡터이다. $\mathbf{h}_{pu}$ 는 우선 사용자(PU) 시스템이 IEEE802.16d/e와 같은 TDD 시스템을 기반으로 한다면 우선 사용자(PU) 시스템의 상향링크 시 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)에 의해 CSI의 측정이 가능하다. $\mathbf{w}_k = [w_{1,k}, w_{2,k}, \dots, w_{N_t,k}]^T$ 는 k 번째 코그니티브 라디오 사용자(CRU)를 위해 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)에 의해 형성되는 빔의 가중치 벡터이다. 여기서 $(\)^T$ 는 벡터의 전치(transpose)를 나타낸다. n_{pu} 는 독립적이고 동일 분포를 갖으며 평균이 0이고 전력 σ_n^2 인 백색 가우시안 잡음이다. 코그니티브 라디오(CR) 시스템은 우선 사용자(PU)에게 허용 가능한 간섭레벨을 기준 이하로 보장해야 한다. 이 우선 사용자(PU)의 간섭레벨을 신호 대 간섭 잡음비(SINR)로 나타내면 다음 수학적 식 2와 같이 표현할 수 있다.

수학적 식 2

$$SINR_{pu} = \frac{|g_{pu}|^2}{\sum_i |\mathbf{h}_{pu} \mathbf{w}_i|^2 + \sigma_n^2}$$

[0038] K. Hamdi, W. Zhang, and K. B. Letaief, "Joint beamforming and scheduling in cognitive radio networks," (in *Proc. IEEE GLOBECOM*, Washington, D.C, USA, pp. 2977-2981, Nov. 2007.)의 빔 포밍 방법은 우선 사용자(PU)의 채널에 준직교하는 코그니티브 라디오 사용자(CRU)를 선택한다. 즉, 코그니티브 라디오(CR) 시스템이 우선 사용자(PU)에게 미치는 간섭량을 I_{pu} 로 나타내고, 우선 사용자(PU)의 허용 가능한 간섭레벨을 δ 라 할 때, $I_{pu} < \delta$ ($\delta > 0$)을 만족하는 코그니티브 라디오 사용자(CRU)를 선택한다. 소수의 코그니티브 라디오 사용자(CRU)들이 존재할 경우 $I_{pu} < \delta$ 가 성립할 수 있다. 그러나 코그니티브 라디오 사용자(CRU)의 수가 많아지면 우선 사용자(PU)의 간섭량이 누적되므로, 우선 사용자(PU)의 I_{pu} 는 보장되지 않을 수 있고, I_{pu} 를 코그니티브 라디오 사용자(CRU)가 측정하기 어렵다. 코그니티브 라디오(CR) 시스템이 우선 사용자(PU) 시스템과 같은 지역에서 동일 주파수 밴드를 공유하기 위해 다중안테나를 기반으로 한 빔 포밍 기법을 이용해 우선 사용자(PU)에게 간섭신호인 코그니티브 라디오 사용자(CRU)의 신호를 억제하는 널링(nulling) 빔 포밍 기술을 적용할 수 있다. 그러나 이

러한 기술은 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)이 코그니티브 라디오 사용자(CRU)들의 채널 상태 정보(CSI)를 모두 알아야 하기 때문에 빔형성을 효과적으로 하기 어렵다. 그러므로 본 발명에서는 모든 코그니티브 라디오 사용자(CRU)에 대한 채널 상태 정보(CSI) 없이 우선 사용자(PU)에 간섭을 주지 않는 빔 형성을 하고, 이를 기반으로 시스템의 합-용량을 증대시키는 코그니티브 라디오(CR) 통신 방법을 제안한다.

[0039] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법의 흐름도이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법에서, 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)이 N_t 개의 송신 안테나를 가지고 있을 때 $\mathbf{v}$ 를 N_t 개로 구성된 벡터 공간(vector space, $\mathbf{v} \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$)이라 하고, $\mathbf{w}$ 를 $\mathbf{v}$ 의 부공간(subspace)이라 하면, 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)은 $\mathbf{v}$ 의 부공간인 $\mathbf{w}$ 를 통해 송신신호를 전송하게 된다. 그러므로 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)과 k 번째 우선 사용자(PU) 간의 채널을 $\mathbf{w}_k$ 부공간이라 하면 이에 대한 직교 부공간 $\mathbf{w}_\perp$ 를 구성하고 이 부공간을 이용하여 전송하면 우선 사용자(PU)에 간섭을 주지 않게 된다. 직교 부공간에 포함되는 벡터 값을 얻기 위해 일반적인 방법인 특이치 분해, QR 분해와 같은 다양한 방법을 사용할 수 있지만 연산량이 많은 단점이 있다. 따라서 본 발명에서는 알고리즘 구현의 상대적으로 낮은 복잡도를 갖고 다양한 빔 형성 알고리즘의 적용이 용이한 그람-슈미트 직교화(Gram-Schmidt orthogonalization) 방법을 적용하였다. 먼저, N_t 개의 안테나를 가진 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)이 우선 사용자(PU)와의 채널 상태 정보(Channel State Information; CSI, 이하 'CSI')인 $\mathbf{h}_{pu}$ 를 이용해 N_t-1 개의 직교 빔을 생성하고, 우선 사용자(PU)의 직교 빔 벡터를 이용해 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)은 우선 사용자(PU)에게 간섭을 미치지 않고 데이터를 전송한다. 이 방법을 기술하면 다음과 같은 흐름으로 진행되게 된다. N_t 개의 송신 안테나를 가지는 코그니티브 라디오 기지국에서 주파수를 공유하는 방법으로서, 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)과 우선 사용자(PU)와의 채널 정보를 이용하여 기본 부공간을 설정하는 단계(S110), 설정된 기본 부공간에 대해 직교 빔을 생성하여 기본 부공간에 직교가 되는 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 부공간을 구성하는 단계(S130), 및 구성된 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 부공간을 이용하여 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)과 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 간의 링크(link)를 설정하여 주파수를 공유하는 단계(S150)를 포함한다.

[0040] 단계 S110은, N_t 개의 송신 안테나를 가지는 코그니티브 라디오 기지국에서 주파수를 공유하는 방법으로서, 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)과 우선 사용자(PU)와의 채널 정보를 이용하여 기본 부공간을 설정하는 역할을 한다. 이러한 기본 부공간의 설정은 이후에 직교 빔을 생성하여 우선 사용자(PU)와 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 간에 주파수를 공유할 수 있도록 하는 코그니티브 라디오 사용자 부공간을 구성하는 기본 영역을 설정하는 단계로써 이에 대한 흐름은 도 3을 통해 설명한다.

[0041] 단계 S130은, 설정된 기본 부공간에 대해 직교 빔을 생성하여 기본 부공간에 직교가 되는 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 부공간을 구성하는 역할을 한다. 이는 빔 형성 알고리즘으로써 그람-슈미트 직교화(Gram-Schmidt orthogonalization) 방법을 적용하여 직교 빔을 생성하고, 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 부공간을 구성하는 단계로서 이에 대한 세부적인 흐름은 도 4를 통해 설명한다.

[0042] 단계 S150은, 구성된 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 부공간을 이용하여 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)과 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 간의 링크(link)를 설정하여 주파수를 공유하는 역할을 한다. 이에 따라 코그니티브 라디오(CR) 시스템이 사용 중이던 주파수에서의 통신을 멈추지 않고 우선 사용자(PU) 시스템과 주파수를 공유할 수 있게 되어, 해당 지역 내의 주파수 효율을 현저히 증가시킬 수 있게 된다.

[0043] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법의 기본 부공간을 설정하는 흐름도이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법의 기본 부공간을 설정하는 방법은, 코그니티브 라디오 기지국(CR

BS)이 우선 사용자(PU)의 상향 링크 동안 우선 사용자(PU)와 코그니티브 라디오 기지국(CR BS) 간의 채널 상태 정보(CSI)를 측정하는 단계(S112), 및 측정된 채널 상태 정보(CSI)를 기반으로 기본 부공간을 설정하는 단계(S114)를 포함한다.

[0044] 단계 S112는, 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)이 우선 사용자(PU)의 상향 링크 동안 우선 사용자(PU)와 코그니티브 라디오 기지국(CR BS) 간의 채널 상태 정보(CSI)를 측정하는 역할을 한다. 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)이 N_t 개의 송신 안테나를 가지고 있을 때, v 를 N_t 개로 구성된 벡터 공간이라 하고, w 를 v 의 부공간(subspace)라 하면, 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)은 v 의 부공간인 w 를 통해 송신신호를 전송하게 된다.

[0045] 단계 S114는, 측정된 채널 상태 정보(CSI)를 기반으로 기본 부공간을 설정하는 역할을 한다. 단계 S112에서 측정된 채널 상태 정보에 의해 측정된 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)과 k 번째 우선 사용자(PU) 간의 채널을 w_k 부공간이라 하면 이후 이에 대한 직교 부공간 $w_{\perp}$ 를 구성하고 이 부공간을 이용하여 전송하면 우선 사용자(PU)에 간섭을 주지 않게 된다. 따라서 단계 S114에서는 이후 직교 빔을 생성하여 우선 사용자(PU)와 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 간에 주파수를 공유할 수 있도록 하는 코그니티브 라디오 사용자 부공간을 구성하기 위한 기본 영역을 설정하는 것이다.

[0046] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법의 기본 부공간에 직교되는 코그니티브 라디오 사용자 부공간을 구성하는 흐름도이다. 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법의 기본 부공간에 직교되는 코그니티브 라디오 사용자 부공간을 구성하는 방법은, 기본 부공간을 기반으로 우선 사용자(PU)의 가중치 벡터(w_{pu})를 획득하여 기본 벡터(u_1)에 대입하는 단계(S132), 획득된 우선 사용자의 가중치 벡터(w_{pu})에 대한 N_t-1 개의 선형 독립 벡터(v_k)를 생성하는 단계(S134), 생성된 선형 독립 벡터(v_k)를 기본 벡터(u_1)에 프로젝션하고, 그람-슈미트 직교화 방법(Gram-Schmidt orthogonalization)을 이용하여 기본 벡터(u_1)에 직교하는 가중치 벡터(u_k)를 순차적으로 획득하는 단계(S136), 획득된 가중치 벡터(u_k)를 정규화하여 우선 사용자(PU)에게 직교하는 코그니티브 라디오 사용자(CRU)의 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 획득하는 단계(S138), 단계 (c)와 단계(d)를 반복하여 코그니티브 라디오 사용자(CRU)를 위한 N_t-1 개의 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 순차적으로 획득하는 단계(S140), 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)에서 획득된 직교 빔 가중치 벡터(w_k)를 이용하여 직교 빔을 생성하는 단계(S142), 및 생성된 직교 빔을 이용하여 기본 부공간에 직교가 되는 코그니티브 라디오 사용자(Cognitive Radio User: CRU, 이하 CRU) 부공간을 구성하는 단계(S144)를 포함한다.

[0047] 단계 S132는, 기본 부공간을 기반으로 우선 사용자(PU)의 가중치 벡터(w_{pu})를 획득하여 기본 벡터(u_1)에 대입하는 역할을 한다. 도 3의 단계 S112와 S114를 통하여 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)에서 우선 사용자(PU)의 상향링크 동안 측정된 우선 사용자(PU)와 코그니티브 라디오 기지국(CR BS) 사이의 채널인 h_{pu} 을 기반으로 h_{pu} 가 기본 공간으로 설정되면, 이를 기반으로 빔 포밍 기술을 적용해 우선 사용자(PU)의 가중치 벡터 $w_{pu} = [w_1, w_2, \dots, w_{N_t}]^T (w_{pu} \in \mathbb{C}^{N_t \times 1})$ 를 구해낼 수 있고, 이 값을 $u_1=w_{pu}$ 와 같이 기본 벡터 N_t-1 의 u_1 에 대입한다.

[0048] 단계 S134는, 획득된 우선 사용자의 가중치 벡터(w_{pu})에 대한 N_t-1 개의 선형 독립 벡터(v_k)를 생성하는 역할을 한다. 우선 사용자(PU)의 가중치 벡터 w_{pu} 의 k 번째 원소에 임의의 α 를 더해줌으로써 우선 사용자(PU)의 w_{pu} 에 대해 선형 독립인 N_t-1 개의 임의의 v_k 벡터를 다음 수학적 식 3과 같이 생성한다.

수학식 3

$$\mathbf{v}_k = [w_1, \dots, w_i + \alpha, \dots, w_{N_t}]^T, \quad k = 2, 3, \dots, N_t.$$

단계 S136은, 생성된 선형 독립 벡터($\mathbf{v}_k$)를 기본 벡터($\mathbf{u}_1$)에 프로젝션하고, 그람-슈미츠 직교화 방법(Gram-Schmidt orthogonalization)을 이용하여 기본 벡터($\mathbf{u}_1$)에 직교하는 가중치 벡터($\mathbf{u}_k$)를 순차적으로 획득하는 역할을 한다. 이때 기본 벡터($\mathbf{u}_1$)에 직교하는 가중치 벡터($\mathbf{u}_k$)의 순차적 획득은 다음 수학식 4와 같이 구할 수 있다.

수학식 4

$$\mathbf{u}_k = \mathbf{v}_k - \sum_{j=1}^{k-1} \frac{\mathbf{u}_j^H \mathbf{v}_k}{\mathbf{u}_j^H \mathbf{u}_j} \mathbf{v}_j, \quad k = 2, 3, \dots, N_t.$$

여기서, $(\)^H$ 는 Hermitian(conjugate transpose) 연산을 나타낸다.

단계 S138은, 획득된 가중치 벡터($\mathbf{u}_k$)를 정규화하여 우선 사용자(PU)에게 직교하는 코그니티브 라디오 사용자(CRU)의 직교 빔 가중치 벡터($\mathbf{w}_k$)를 획득하는 역할을 하며, 이는 다음 수학식 5와 같이 표현할 수 있다.

수학식 5

$$\mathbf{w}_k = \mathbf{u}_k / \|\mathbf{u}_k\|, \quad k = 2, 3, \dots, N_t.$$

단계 S140은, 단계 (c)와 단계 (d)를 반복하여 코그니티브 라디오 사용자(CRU)를 위한 N_t-1 개의 직교 빔 가중치 벡터($\mathbf{w}_k$)를 순차적으로 획득하는 역할을 한다.

단계 S142는, 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)에서 획득된 직교 빔 가중치 벡터($\mathbf{w}_k$)를 이용하여 직교 빔을 생성하는 역할을 한다. 이때 얻어진 N_t-1 개의 직교 가중치 벡터 $\mathbf{w}_k$ 는 PU의 가중치 벡터 $\mathbf{w}_{pu}$ 를 기반으로 그람-슈미츠 직교화 방법을 이용해 구해졌으므로 두 벡터의 내적은 다음 수학식 6의 조건을 만족한다.

수학식 6

$$\mathbf{w}_{pu}^H \mathbf{w}_k = \begin{cases} 1, & pu = k, \\ 0, & pu \neq k. \end{cases}$$

가중치 벡터 $\mathbf{w}_k$ 는 서로 직교하기 때문에 공간 분할 다중접속(space division multiple access)이 가능하다. 앞서 설명한 빔 생성 벡터 사이의 직교성 때문에 수학식 1의 우선 사용자(PU)의 수신신호는 제안된 빔 포밍 방법을 적용하였을 경우 다음 수학식 7과 같이 단순화할 수 있다.

수학식 7

$$\begin{aligned} y_{pu} &= \sum_i \mathbf{h}_{pu} \mathbf{w}_i x_i + g_{pu} x_{pu} + n_{pu} \\ &= g_{pu} x_{pu} + n_{pu}, \end{aligned} \quad i = 2, 3, \dots, N_t - 1$$

[0060] 상기 수학적 식 7에서, h_{pu} 부공간은 수학적 식 6의 w_{pu} 부공간과 같으므로 $h_{pu}=w_{pu}$ 를 만족하고 수학적 식 6에 의해 $\sum_i h_{pu} w_i = 0$ 이 된다. 이로부터, 코그니티브 라디오(CR) 시스템이 우선 사용자(PU)의 수신 신호에 간섭을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

[0061] 단계 S144는, 생성된 직교 빔을 이용하여 기본 부공간에 직교가 되는 코그니티브 라디오 사용자(Cognitive Radio User: CRU, 이하 CRU) 부공간을 구성하는 역할을 한다. 이렇게 코그니티브 라디오(CR)시스템에서 빔 포밍 방법을 사용함으로써 우선 사용자(PU)에게 간섭을 미치지 않으며 코그니티브 라디오 사용자(CRU)가 주파수를 우선 사용자(PU)와 공유하여 동일 지역에 공존할 수 있게 된다.

[0062] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 4 x 1 MISO 시스템에서의 제안된 직교 빔 형성 방법의 빔 패턴을 나타낸 도면이다. 도 5에 도시된 것과 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서 제안된 직교 빔 형성 기술을 코그니티브 라디오(CR) 시스템에 적용하였을 경우, PU에게 간섭을 미치지 않고, 기회적 빔 포밍 방법을 적용함으로써 합-용량의 증가 정도를 알아보는 전산모의실험을 하였다. 전산모의실험을 위해 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)의 안테나 개수 N_t 를 2개 또는 4개로 가정하였고, 코그니티브 라디오 사용자(CRU)와 우선 사용자(PU)는 각각 하나의 안테나를 가정하였다. 또한 우선 사용자(PU)의 상향링크동안 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)은 우선 사용자(PU)와 코그니티브 라디오 기지국(CR BS) 사이의 채널 상태 정보(CSI)를 정확히 측정한다고 가정한다. 또한 채널은 각각 독립적인 레일리 페이딩 채널(Rayleigh fading channel)을 가정하였으며, 하나의 프레임동안 채널 값이 변하지 않는 블록 페이딩 채널(block fading channel)을 가정하였다. 제안된 코그니티브 라디오(CR) 환경에서의 직교 빔 형성 방법의 빔 형성 패턴을 알아보기 위한 실험을 위해 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)이 4개의 안테나를 가지고 1개의 안테나를 가진 코그니티브 라디오 사용자(CRU)와 우선 사용자(PU)를 가정하였다. 또한 우선 사용자(PU)는 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)로부터 DOA 30° 방향에 위치한다고 가정하고 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)은 안테나를 통해 수신된 우선 사용자(PU)의 채널 상태 정보(CSI) 정보를 정확히 측정한다고 가정하였다. 도 5는 상기 조건을 바탕으로 제안된 직교 빔 형성 방법의 빔 패턴을 나타낸 것이다. 도 5에서 보이는 바와 같이 제안된 빔 포밍 방법은 우선 사용자(PU)가 위치한 30° 방향에 신호의 전송을 억제시킴으로써 우선 사용자(PU)에게 신호의 전력이 전송되지 않음을 보였다. 즉, 제안된 빔 포밍 방법은 우선 사용자(PU)에게 간섭 신호를 주지 않으면서 코그니티브 라디오 사용자(CRU)에게 신호를 전송함을 알 수 있었다.

[0063] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 2 x 1 MISO 시스템에서의 우선 사용자(PU)에게 미치는 간섭 레벨을 나타낸 도면이다. 도 6에 도시된 것과 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 2 x 1 MISO 시스템에서의 우선 사용자(PU)에게 미치는 간섭 레벨은 K. Hamdi, W. Zhang, and K. B. Letaief, "Joint beamforming and scheduling in cognitive radio networks," (in *Proc. IEEE GLOBECOM*, Washington, D.C, USA, pp. 29772981, Nov. 2007.)에서 제안된 방법의 간섭 신호의 레벨을 보인 것이다. 2개의 안테나를 가진 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)은 우선 사용자(PU)에게 미리 정해진 허용 가능한 간섭레벨(δ)을 만족하는 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 중 최고 용량을 갖는 코그니티브 라디오 사용자(CRU)를 선택한다. 따라서 코그니티브 라디오 사용자(CRU)가 많아질수록 미리 정해진 간섭레벨인 6dB에 근접하는 것을 보였다. 이웃한 셀의 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)은 해당 우선 사용자(PU)를 인지할 수 없기 때문에 간섭을 주게 되므로 이 간섭량까지 고려한다면 우선 사용자(PU)의 QoS는 만족되지 않을 수 있다. 그러나 본 발명에서 제안된 직교 빔 방법은 도 5에서 보인 바와 같이 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)(100)에서 송신되는 신호가 우선 사용자(PU)의 채널 공간에 직교하게 함으로써 우선 사용자(PU)에게 간섭을 미치지 않기 때문에 간섭 신호레벨을 보장한다는 것을 알 수 있었다.

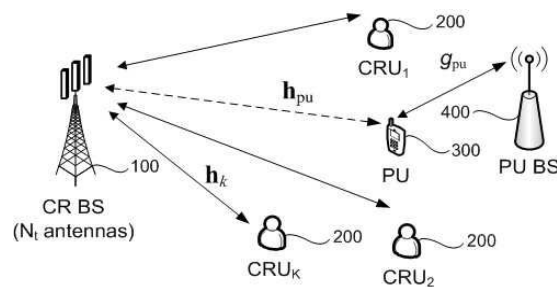
[0064] 이상 설명한 본 발명은 본 발명이 속한 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 다양한 변형이나 응용이 가능하며, 본 발명에 따른 기술적 사상의 범위는 아래의 특허청구범위에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

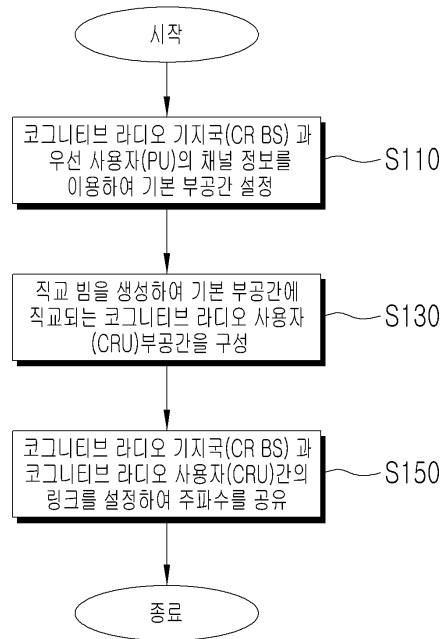
- [0065] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법에서 코그니티브 라디오(Cognitive Radio; CR, 이하 CR)시스템과 우선 사용자(Primary User; PU, 이하 PU)가 공존하여 주파수를 공유하는 개념을 도식화한 도면.
- [0066] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법의 흐름도.
- [0067] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법의 기본 부공간을 설정하는 흐름도.
- [0068] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 코그니티브 라디오 시스템에서의 직교 빔을 이용한 주파수 공유 방법의 기본 부공간에 직교되는 코그니티브 라디오 사용자 부공간을 구성하는 흐름도.
- [0069] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 4 x 1 MISO 시스템에서의 제안된 직교 빔 형성 방법의 빔 패턴을 나타낸 도면.
- [0070] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 2 x 1 MISO 시스템에서의 우선 사용자(PU)에게 미치는 간섭 레벨을 나타낸 도면.
- [0071] <도면 중 주요 부분에 대한 부호의 설명>
- [0072] 100: 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)
- [0073] 200: 코그니티브 라디오 사용자 (CRU)
- [0074] 300: 우선 사용자(PU)
- [0075] 400: 우선 사용자 기지국(PU BS)
- [0076] S110: 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)과 우선 사용자(PU)의 채널 정보를 이용하여 기본 부공간을 설정하는 단계
- [0077] S130: 직교 빔을 생성하여 기본 부공간에 직교되는 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 부공간을 구성하는 단계
- [0078] S150: 코그니티브 라디오 기지국(CR BS)과 코그니티브 라디오 사용자(CRU) 간의 링크를 설정하여 주파수를 공유하는 단계

도면

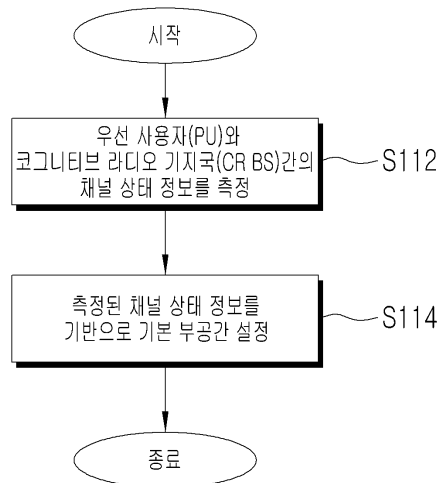
도면1



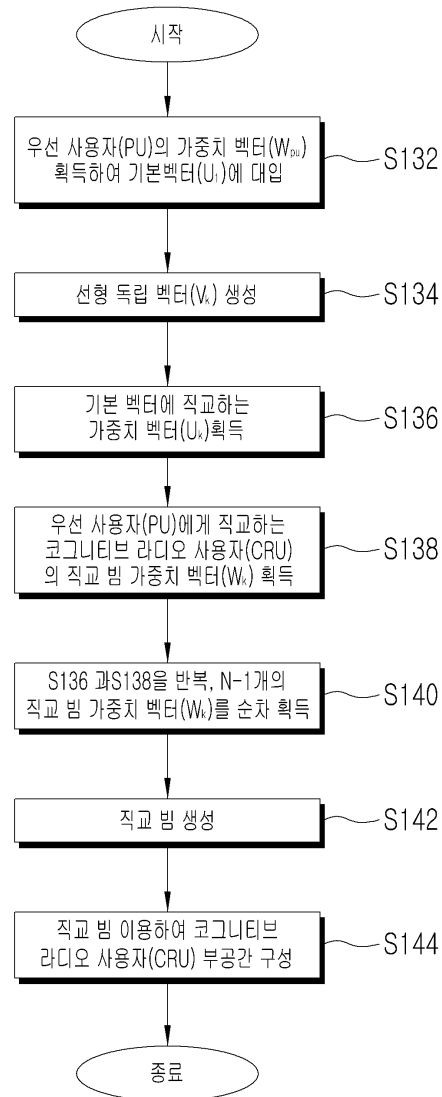
도면2



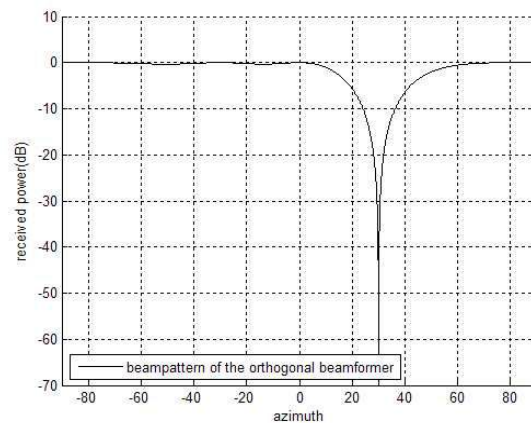
도면3



도면4



도면5



도면6

