(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년06월08일
(11) 등록번호 10-1151026
(24) 등록일자 2012년05월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/26 (2006.01) *H04W 16/14* (2009.01)
(21) 출원번호 10-2011-0007762
(22) 출원일자 2011년01월26일
심사청구일자 2011년01월26일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020090087953 A
KR1020090077622 A
KR1020090003003 A
KR1020100076109 A

(73) 특허권자
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
신현동
경기도 수원시 영통구 청명북로 81, 청명마을 주공아파트 404동 901호 (영통동)
정영민
경기도 성남시 분당구 양현로 537, 313동 305호 (야탑동, 매화마을)
(74) 대리인
특허법인 신지

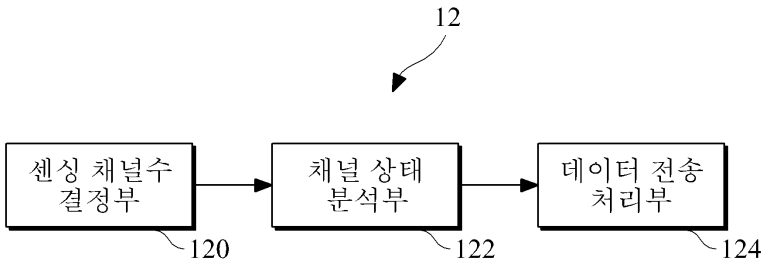
전체 청구항 수 : 총 13 항 심사관 : 장현근

(54) 발명의 명칭 **인지 단말 및 인지 단말의 무선 인지방법**

(57) 요 약

인지 단말 및 인지 단말의 무선 인지방법이 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 인지방법은 에너지 자원이 한정된 상태에서 채널 센싱 및 데이터 전송에 효율적으로 에너지를 할당하여 무선 인지 시스템의 성능을 최적화한다.

대 표 도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

대역 스펙트럼 센싱에 에너지를 할당하여 센싱 서브채널 수(sensing cardinality)를 결정하는 단계;

상기 센싱 서브채널의 채널상태를 분석하여 사용 가능한 서브채널을 선택하는 단계; 및

상기 선택된 서브채널을 통해 달성가능 데이터 전송률을 최대화할 수 있도록 데이터 전송에 에너지를 할당하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 인지 단말의 무선 인지방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 인지 단말은 후순위 단말로서, 에너지 자원이 한정된 상태에서 상기 대역 스펙트럼 센싱 및 상기 데이터 전송에 에너지를 할당하여 선순위 단말에 할당된 주파수 대역 중 사용되지 않고 있는 주파수 대역을 사용하는 것을 특징으로 하는 무선 인지방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 인지 단말 및 상기 선순위 단말은 각각 다중 안테나를 포함하는 것을 특징으로 하는 무선 인지방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 대역 스펙트럼 센싱에 에너지를 할당하여 센싱 서브채널 수를 결정하는 단계는,

센싱 에너지 수치(sensing energy figure)(ζ)와, 상기 인지 단말에 의해 각 서브채널이 비지(busy) 상태로 센싱될 확률(P_s(busy))을 이용하여 상기 센싱 서브채널 수를 결정하는 것을 특징으로 하는 인지 단말의 무선 인지방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 센싱 에너지 수치(ζ)는 서브채널 당 센싱 에너지(E_0)와, 대역 스펙트럼 센싱 및 데이터 전송에 할당되는 유효 에너지(E_{tot}) 간 비율인 것을 특징으로 하는 인지 단말의 무선 인지방법.

청구항 6

제 4 항에 있어서, 상기 대역 스펙트럼 센싱에 에너지를 할당하여 센싱 서브채널 수를 결정하는 단계는,

상기 인지 단말에 의해 각 서브채널이 비지(busy) 상태로 센싱될 확률(P_s(busy))이 각 서브 채널이 각 타임 블록동안 비지(busy) 상태일 확률(P_{busy})과 동일하면, 센싱 서브채널 수를 상기 센싱 에너지 수치(sensing energy figure)(ζ)를 이용하여 결정하는 것을 특징으로 하는 인지 단말의 무선 인지방법.

청구항 7

제 4 항에 있어서, 상기 대역 스펙트럼 센싱에 에너지를 할당하여 센싱 서브채널 수를 결정하는 단계는,

상기 인지 단말이 각 서브채널의 스펙트럼 점유를 검출할 때 발생하는 알람 오류(false alarm)와 검출 오류(miss detection) 확률을 포함하는 운영 특성을 이용하여 상기 인지 단말에 의해 상기 각 서브 채널이 각 타임 블록동안 비지(busy) 상태로 센싱될 확률을 계산하는 것을 특징으로 하는 인지 단말의 무선 인지방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 선택된 서브채널을 통해 달성가능 데이터 전송률을 최대화할 수 있도록 데이터 전송에 에너지를 할당하는 단계는,

상기 인지 단말에 의해 상기 서브채널이 아이들(idle) 상태로 센싱된 조건 하에서 상기 서브채널이 선순위 단말에 의해 사용되고 있을 확률을 이용하여 상기 서브채널을 통한 인지 단말의 달성가능 데이터 전송률을 결정하는 것을 특징으로 하는 인지 단말의 무선 인지방법.

청구항 9

대역 스펙트럼 센싱에 에너지를 할당하여 센싱 서브채널 수(sensing cardinality)를 결정하는 센싱 채널수 결정부;

상기 센싱 서브채널의 채널상태를 분석하여 사용 가능한 서브채널을 선택하는 채널상태 분석부; 및

상기 선택된 서브채널을 통해 달성가능 데이터 전송률을 최대화할 수 있도록 데이터 전송에 에너지를 할당하는 데이터 전송 처리부;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 인지 단말.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 상기 센싱 채널수 결정부는,

센싱 에너지 수치(sensing energy figure)(ζ)와, 상기 인지 단말에 의해 각 서브채널이 비지(busy) 상태로 센싱될 확률(P_s(busy))을 이용하여 상기 센싱 서브채널 수를 결정하는 것을 특징으로 하는 인지 단말.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 센싱 에너지 수치(ζ)는 서브채널 당 센싱 에너지(E_0)와, 대역 스펙트럼 센싱 및 데이터 전송에 할당되는 유효 에너지(E_{tot}) 간 비율인 것을 특징으로 하는 인지 단말.

청구항 12

제 10 항에 있어서, 상기 센싱 채널수 결정부는,

상기 인지 단말이 각 서브채널의 스펙트럼 점유를 검출할 때 발생하는 알람 오류(false alarm)와 검출 오류(miss detection) 확률을 포함하는 운영 특성을 이용하여 상기 인지 단말에 의해 상기 각 서브 채널이 각 타임 블록동안 비지(busy) 상태로 센싱될 확률을 계산하는 것을 특징으로 하는 인지 단말.

청구항 13

제 9 항에 있어서, 상기 데이터 전송 처리부는,

상기 인지 단말에 의해 상기 서브채널이 아이들(idle) 상태로 센싱된 조건 하에서 상기 서브채널이 선순위 단말에 의해 사용되고 있을 확률을 이용하여 상기 서브채널을 통한 인지 단말의 달성가능 데이터 전송률을 결정하는 것을 특징으로 하는 인지 단말.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 일 양상은 무선 인지 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 채널 센싱 및 데이터 전송에 효율적으로 에너지를 할당하는 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 무선 응용 기술들의 비약적인 증가에 따라 엄청난 주파수 자원 수요가 발생하였고 이로 인해 현재 모든 주파수 대역에서 할당 경쟁이 심한 실정이다. 따라서 주파수 할당 문제는 통신 사업자들 사이에 있어 매우 중요한 문제가 되고 있다. 한편, 특정 보고서에 따르면, 이미 할당된 주파수 대역들은 위치나 시간에 따라 평균

적으로 30% 이하만 사용되고 있다고 한다. 이로 인해, 기존에 할당된 주파수 대역들의 사용 효율을 높이는 방안이 점차 중요한 문제로 인식되고 있다.

[0003] 최근에 기존 주파수의 사용 효율을 높이는 방안으로 무선 인지(Cognitive Radio) 기술이 제안되었다. 무선 인지 기술은 선순위 사용자(예를 들어, TV 방송 사업자)에게 할당된 주파수 대역 중 시공간적으로 사용되지 않고 있는 주파수 대역(예를 들어, TV 방송 대역)을 찾아내어 후순위 사용자가 사용하는 기술로서, 동적 주파수 자원 관리 개념을 기반으로 선순위 사용자의 권한을 침해하지 않고 후순위 사용자가 유휴 주파수 부분을 공유함으로써 주파수 사용 효율을 높이는 기술이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 일 양상에 따라, 무선 인지 통신에 있어서 채널 센싱 및 데이터 전송에 효율적으로 에너지를 할당하는 기술을 제안한다.

과제의 해결 수단

[0005] 일 양상에 따른 인지 단말의 무선 인지방법은, 대역 스펙트럼 센싱에 에너지를 할당하여 센싱 서브채널 수(sensing cardinality)를 결정하는 단계와, 센싱 서브채널의 채널상태를 분석하여 사용 가능한 서브채널을 선택하는 단계와, 선택된 서브채널을 통해 달성가능 데이터 전송률을 최대화할 수 있도록 데이터 전송에 에너지를 할당하는 단계를 포함한다.

[0006] 다른 양상에 따른 인지 단말은, 대역 스펙트럼 센싱에 에너지를 할당하여 센싱 서브채널 수를 결정하는 센싱 채널수 결정부와, 센싱 서브채널의 채널상태를 분석하여 사용 가능한 서브채널을 선택하는 채널상태 분석부와, 선택된 서브채널을 통해 달성가능 데이터 전송률을 최대화할 수 있도록 데이터 전송에 에너지를 할당하는 데이터 전송 처리부를 포함한다.

발명의 효과

[0007] 일 실시예에 따르면, 에너지 자원이 한정된 상태에서 채널 센싱 및 데이터 전송에 효율적으로 에너지를 할당하여 무선 인지 시스템의 성능을 최적화할 수 있다. 특히 최적의 채널 센싱 방법을 통해 센싱 서브 채널 수를 결정하여 데이터 전송률을 최대화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선인지 통신 시스템을 도시한 구성도,

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 1의 인지 단말의 세부 구성도,

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 인지 단말의 무선 인지방법을 도시한 흐름도,

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 센싱 에너지 수치에 따른 최적의 센싱 서브채널 수를 나타내는 그래프,

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 센싱 에너지 수치에 따른 달성 가능한 평균 블록 전송률(achievable average block rate)을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 또한, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0010] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선인지 통신 시스템(1)을 도시한 구성도이다.

[0011] 도 1을 참조하면, 본 발명의 무선인지 통신 시스템(cognitive radio communication system)(1)은 선순위 단말(10), 후순위 단말인 인지 단말(12) 및 수신 단말(14)을 포함한다.

[0012] 선순위 단말(10)은 안테나를 구비하고, 안테나를 이용하여 데이터 신호를 무선 채널을 통해 수신 단말(14)에

송신한다. 수신 단말(14)은 서로 다른 경로로 페이딩되는 데이터 신호를 수신 안테나를 이용하여 수신한다. 인지 단말(12)은 후순위 단말로서, 에너지 자원이 한정된 상태에서 대역 스펙트럼 센싱 및 데이터 전송에 에너지를 효율적으로 할당하여 선순위 단말(10)에 할당된 주파수 대역 중 사용되지 않고 있는 주파수 대역을 사용한다.

[0013] 일 실시예에 따르면, 무선인지 통신 시스템(1)은 도 1에 도시된 바와 같이 선순위 단말(10) 및 인지 단말(12)이 각각 다수의 송신 안테나인 (n_1, n_2,…, n_p)(100) 및 (n_1, n_2, …, n_s)(120)을 갖으며, 수신 단말(14)이 다수의 수신 안테나 (n_1, n_2, …, n_r)(140)을 갖는 다중입출력(Multiple-Input Multiple-Output:MIMO) 시스템이다.

[0014] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 1의 인지 단말(12)의 세부 구성도이다.

[0015] 도 1 및 도 2를 참조하면, 인지 단말(12)은 센싱 채널수 결정부(120), 채널상태 분석부(122) 및 데이터 전송 처리부(124)를 포함한다.

[0016] 센싱 채널수 결정부(120)는 대역 스펙트럼 센싱에 에너지를 할당하여 센싱 서브채널 수(sensing cardinality)를 결정한다. 일 실시예에 따르면 센싱 채널수 결정부(120)는 센싱 에너지 수치(sensing energy figure)(ζ)와, 인지 단말(12)에 의해 각 서브채널이 비지(busy) 상태로 센싱될 확률(P_s(busy))을 이용하여 센싱 서브채널 수를 결정한다. 센싱 에너지 수치(ζ)는 서브채널 당 센싱 에너지(ε_0)와, 대역 스펙트럼 센싱 및 데이터 전송에 할당되는 유효 에너지(ε_{tot}) 간 비율이다.

[0017] 나아가, 센싱 채널수 결정부(120)는 인지 단말(12)이 각 서브채널의 스펙트럼 점유를 검출할 때 발생하는 알람 오류(false alarm)와 검출 오류(miss detection) 확률을 포함하는 운영 특성을 이용하여 인지 단말(12)에 의해 각 서브 채널이 각 타임 블록동안 비지(busy) 상태로 센싱될 확률을 계산한다.

[0018] 센싱 채널수 결정부(120)를 통해 센싱 서브채널 수가 결정되면, 채널상태 분석부(122)는 센싱 서브채널의 채널상태를 분석하여 사용 가능한 서브채널을 선택한다.

[0019] 데이터 전송 처리부(124)는 채널상태 분석부(122)에서 선택된 서브채널을 통해 달성가능 데이터 전송률을 최대화할 수 있도록 데이터 전송에 에너지를 할당한다. 일 양상에 따르면 데이터 전송 처리부(124)는 인지 단말(12)에 의해 서브채널이 아이들(idle) 상태로 센싱된 조건 하에서 서브채널이 선순위 단말(10)에 의해 사용되고 있을 확률을 이용하여 서브채널을 통한 인지 단말(12)의 달성가능 데이터 전송률을 결정한다.

[0020] 전술한 각 구성을 기초로 하여 이하 수식들을 통해 인지 단말(12)이 에너지 자원이 한정된 상태에서 센싱 서브채널 수(sensing cardinality)를 결정하고 대역 스펙트럼 센싱 및 데이터 전송에 에너지를 효율적으로 할당하는 기술에 대해 상세히 후술한다.

[0021] 일 양상에 따르면 본 발명은 에너지 자원이 한정된 멀티밴드 다중입출력 무선인지 네트워크(an energy-limited multiband MIMO cognitive radio network)에서 제1 사용자(primary users) 및 제2 사용자(secondary users)가 각각 n_p 및 n_s의 다중 안테나를 갖는 경우를 고려한다. 도 1을 참조하면, 제1 사용자는 선순위 단말(10)에 해당되고, 제2 사용자는 후순위 단말인 인지 단말(12)에 해당된다.

[0022] 채널은 N_{sub} 주파수 밴드(subchannels)를 포함하고, 각 서브채널은 대역폭 B_c을 가지며, 독립적이고 동일한 분포를 따르는(independent and identically distributed:이하 i.i.d.라 칭함) 플랫 레일리 페이딩(flat Rayleigh fading) 특성을 갖는다.

[0023] 각 서브채널의 페이딩 계수(fading coefficients)는 코히런스 타임 블록 T_c(a block of coherence time) 내에서는 일정하고, 소정의 어느 한 블록에서 다른 블록으로는 독립적으로 변한다. 각 서브채널에 대해 제1 사용자는 허가를 갖고 접근(licensed access)하고, 제2 사용자는 기회를 보아 접근(opportunistic access)한다. 각 서브채널에서의 스펙트럼 점유는 아이들(idle) 또는 비지(busy) 상태를 따르며, 점유 상태는 각 코히런스 블록 내에서는 일정하고 다음 블록 내에서 독립적으로 변한다. P_{busy}는 각 서브채널이 각 타임 블록 내에서 비지 상태일 확률이다.

[0024] 각 코히런스 블록 내에서 제2 사용자는 센싱할 서브채널 셋(a set of subchannels to sense)을 선택한다. 센싱할 서브채널 셋은 광대역 스펙트럼 센싱셋 S(S⊆C={1,2,...,Nsub})를 나타내고, 계수 |S|는 센싱 서브채널

수(sensing cardinality)를 나타낸다. 제2 사용자는 유효 에너지(available energy) $\mathcal{E}_{\text{tot}}$ 할당을 통해 서브채널들을 동시에 센싱한 이후, 아이들(idle)로 센싱된 서브채널 셋($S_{\text{idle}} \subseteq S$)을 결정하고, 데이터 전송(data transmission)을 위해 S_{idle} 내 하나의 서브채널 i 를 선택한다.

[0025] 네트워크 생명주기를 연장하고 제2 사용자에 의한 네트워크 간섭을 제한하기 위해서, 제2 사용자는 코히런스 블록 당 유효 에너지 $\mathcal{E}_{\text{tot}}$를 채널 센싱 및 데이터 전송에 사용한다. 이때 제2 사용자는 스펙트럼 센싱 및 데이터 전송에 유효 에너지 $\mathcal{E}_{\text{tot}}$ 를 최적으로 할당한다. 제2 사용자는 선택된 서브채널 i를 통해 전송전력 $\mathcal{P}$ 를 이용하여 n_r 안테나를 갖는 수신 단말에 데이터를 전송한다. 이때, 서브채널 i를 통해 수신 단말에 수신되는 신호는 해당 채널의 상태가 아이들(idle)인지 여부에 따라 식 1과 같다.

수학식 1

[0026]
$$\boldsymbol{y}_i = \begin{cases} \sqrt{\gamma_s}\boldsymbol{H}_i\boldsymbol{x}_s + \boldsymbol{z}, & \text{if the channel is idle,} \\ \sqrt{\gamma_s}\boldsymbol{H}_i\boldsymbol{x}_s + \sqrt{\gamma_p}\boldsymbol{G}_i\boldsymbol{x}_p + \boldsymbol{z}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0027] x_s와 x_p는 각각 제2 사용자와 제1 사용자의 $n_s \times 1$ 전송 신호와 $n_p \times 1$ 전송 신호이다 ($\mathbb{E}\{\|\boldsymbol{x}_s\|^2\} = \mathbb{E}\{\|\boldsymbol{x}_p\|^2\} = 1$). H_i와 G_i는 각각 제2 사용자와 제1 사용자가 수신 단말에 데이터를 전송하는 채널의 $n_r \times n_s$와 $n_r \times n_p$ 채널 행렬(channel matrices)이다. z는 수신 단말이 $n_r \times 1$ 수신 안테나를 통해 수신한 신호에 첨가된 잡음신호(additive white Gaussian noises)이다. γ_s와 γ_p는 각각 제2 사용자가 수신 단말에 전송하는 신호의 송수신 안테나 쌍과 제1 사용자가 수신 단말에 전송하는 신호의 송수신 안테나 쌍의 평균 신호 대 잡음비(the average received signal-to-noise ratios(SNRs) per antenna at the receiver)를 나타낸다.

[0028] 유효 에너지 $\mathcal{E}_{\text{tot}}$ 와 전송전력 $\mathcal{P}$를 이용한 제2 사용자의 최대 데이터 전송 시간(the maximum data transmission time of the secondary user)은 다음과 같다. $\mathcal{T}_{\max} \triangleq \mathcal{E}_{\text{tot}}/\mathcal{P}$. 전술한 최대 데이터 전송 시간은 제2 사용자가 대역 스펙트럼 센싱 없이 서브채널에 공격적으로 접근(aggressively accesses)하고, 전송전력 $\mathcal{P}$ 및 유효 에너지 $\mathcal{E}_{\text{tot}}$를 데이터 전송에만 사용하는 경우의 전송 시간에 상응한다.

[0029] 그러나, 에너지 자원이 제한된 상황에서는 $\mathcal{T}_{\max} < T_c$이다. $\mathcal{E}_0$는 서브채널 당 센싱 에너지(sensing energy cost per subchannel)인 per-subchannel sensing energy이다. 센싱 에너지 수치(sensing energy figure)(ζ)는 서브채널 당 센싱 에너지 $\mathcal{E}_0$와, 대역 스펙트럼 센싱 및 데이터 전송에 할당되는 유효 에너지 $\mathcal{E}_{\text{tot}}$ 간 비율인 $\zeta \triangleq \mathcal{E}_0/\mathcal{E}_{\text{tot}}$ 이고, 이는 센싱 단계의 에너지 효율이 반영된다.

[0030] 본 발명에 따르면, 제2 사용자의 최적의 센싱 서브채널 수(sensing cardinality=the number of channels to sense)를 센싱 에너지 수치 ζ와, 제2 사용자에 의해 각 서브채널이 비지(busy) 상태로 센싱될 확률(P_s(busy))을 이용하여 결정한다.

[0031] 이때 제2 사용자에 의해 각 서브채널이 비지(busy) 상태로 센싱될 확률(P_s(busy))이 각 서브 채널이 각 타임 블록동안 비지(busy) 상태일 확률(P_{busy})과 동일하면, 제2 사용자의 최적의 센싱 서브채널 수는 센싱 에너지 수치 ζ 에 의해 결정된다.

[0032] 나아가, 제2 사용자는 최적의 센싱 서브채널 수를 결정하기 위해서 제2 사용자가 각 서브채널의 스펙트럼 점유를 검출(detect the primary spectrum occupancy in each subchannel)할 때의 알람 오류 확률(false alarm probilities) P_f과 검출 오류 확률(miss detection probilities) P_m을 포함하는 운영 특성(operating characteristics)을 이용할 수 있다. 이때, 제2 사용자에 의해 각 서브 채널이 각 타임 블록동안 아이들(idle) 상태로 센싱될 확률을 계산할 수 있는데, 이는 식 2와 같다.

수학식 2

[0033] $$P_s(\text{idle}) = (1 - P_f)(1 - P_{busy}) + P_m P_{busy}$$

[0034] 제2 사용자의 i 서브채널($i \in \mathcal{S}_{idle}$)을 통한 달성 가능 전송률(The achievable rate in nats/s/Hz)은 식 3과 같다.

수학식 3

[0035] $$C_i = (1-\alpha)\ln\det\left(\mathbf{I} + \gamma_s \boldsymbol{H}_i \boldsymbol{H}_i^{\dagger}\right) + \alpha \ln\det\left[\mathbf{I} + \gamma_s \boldsymbol{H}_i \boldsymbol{H}_i^{\dagger}\left(\mathbf{I} + \gamma_p \boldsymbol{G}_i \boldsymbol{G}_i^{\dagger}\right)^{-1}\right]$$

[0036] 식 3에서 $\alpha = P_m P_{busy} / P_s(\text{idle})$ 이고, 이는 제2 사용자에 의해 i 서브채널($i \in \mathcal{S}_{idle}$)이 아이들(idle) 상태로 센싱된 조건(conditioned on the event that the secondary user senses this subchannel to be idle) 하에서 i 서브채널이 제1 사용자에 의해 사용되고 있을 확률(the probability of the ith subchannel is occupied by the primary user)이다.

[0037] 수신단말의 안테나 수(n_r) ≤ 제2 사용자의 안테나 수(n_s) + 제1 사용자의 안테나 수(n_p)이면, 제2 사용자가 유효 에너지 $\mathcal{E}_{tot}$를 이용하여 블록 당 달성 가능한 평균 블록 전송률(the achievable average block rate per block of the secondary user)(nats/Hz)은 식 4와 같다.

수학식 4

[0038] $$R(\zeta, |\mathcal{S}|) = \mathcal{T}_{max} K_{\zeta,|\mathcal{S}|} \langle C \rangle$$

[0039] 이때, 식 4의 $K_{\zeta,|\mathcal{S}|}$ 은 식 5와 같고 식 4의 <C>는 식 6과 같다.

수학식 5

[0040] $$K_{\zeta,|\mathcal{S}|} = (1 - \zeta|\mathcal{S}|)\left[1 - P_s^{|\mathcal{S}|}(\text{busy})\right]$$

수학식 6

$$\langle C\rangle = (1-\alpha)\,\mathcal{I}_{n_s,n_r}(\gamma_s) + \alpha\left[\mathrm{tr}\left(\begin{bmatrix}\mathbf{A}\\ \boldsymbol{\Upsilon}\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}\mathbf{0}\\ \boldsymbol{\Lambda}\end{bmatrix}\right) - \mathcal{I}_{n_p,n_r}(\gamma_p)\right]$$

[0041]

$$\begin{aligned}
&\mathsf{P}_s(\text{busy}) = 1 - \mathsf{P}_s(\text{idle});\\
&\mathbf{A} = [\mathbf{A}_S \;\; \mathbf{A}_D] \in \mathbb{R}^{(n_s+n_p-n_r)\times(n_s+n_p)},\\
&\boldsymbol{\Upsilon} = [\boldsymbol{\Upsilon}_s \;\; \boldsymbol{\Upsilon}_p] \in \mathbb{R}^{n_r\times(n_s+n_p)},\\
&\boldsymbol{\Lambda} = [\boldsymbol{\Lambda}_s \;\; \boldsymbol{\Lambda}_p] \in \mathbb{R}^{n_r\times(n_s+n_p)};\\
&\text{the } (i,j)\text{th entries of } \mathbf{A}_t \in \mathbb{R}^{(n_s+n_p-n_r)\times n_t},\\
&\boldsymbol{\Upsilon}_t \in \mathbb{R}^{n_r\times n_t}, \text{ and } \boldsymbol{\Lambda}_t \in \mathbb{R}^{n_r\times n_t},\ t\in\{s,p\},
\end{aligned}$$

[0042]

수학식 7

$$A_{t,ij} = (-1)^{i-j}\,(i-j+1)_{j-1}\,\gamma_t^{-i+j}$$

[0043]

수학식 8

$$\Upsilon_{t,ij} = (i+j-2)!\,\gamma_t^{i+j-1}\,{}_2F_0(i+j-1, i-n_r; -\gamma_t)$$

[0044]

수학식 9

$$\begin{aligned}
\Lambda_{t,ij} = e^{1/\gamma_t}\sum_{\ell=0}^{i+j-2}\Bigg\{&(-1)^{i+j-\ell-2}\binom{i+j-2}{\ell}\\
&\times\gamma_t^{n_r-i+\ell+1}\,G_{2,3}^{3,0}\left(\frac{1}{\gamma_t}\,\middle|\,\begin{matrix}1,1\\ 0,0,n_r-i+\ell+1\end{matrix}\right)\Bigg\}
\end{aligned}$$

[0045]

[0046] 제2 사용자가 유효 에너지 $\mathcal{E}_{\text{tot}}$를 이용하여 블록 당 달성 가능한 평균 블록 전송률(the achievable average block rate)을 최대화하기 위한 최적의 센싱 서브채널 수 $|\mathcal{S}|_\zeta^\star$ 는 식 10과 같다.

수학식 10

$$\begin{aligned}
|\mathcal{S}|_\zeta^\star &= \arg\max_{|\mathcal{S}|\in\mathcal{C}} R(\zeta,|\mathcal{S}|)\\
&= \left\lfloor \frac{1}{\zeta} + \frac{W\left(e^{1-\zeta^{-1}\ln \mathsf{P}_s(\text{busy})}\right)-1}{\ln \mathsf{P}_s(\text{busy})}\right\rfloor
\end{aligned}$$

[0047]

[0048] 이때, $\lfloor x \rceil = \arg\max_{\Delta \in \{\lfloor x \rfloor, \lceil x \rceil\}} K_{\zeta,\Delta}$ 이고, $W(z)$는 Lambert W-function이다.

[0049] <C>는 |S| 함수가 아니기 때문에, 최적의 센싱 서브채널 수 $|\mathcal{S}|^{\star}_{\zeta}$ 는 안테나 수와는 상관이 없고, 단지 센싱 에너지 수치 ζ 와, 제2 사용자에 의해 각 서브채널이 비지(busy) 상태로 센싱될 확률(P_s(busy))에 따라 결정된다.

[0050] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 인지 단말의 무선 인지방법을 도시한 흐름도이다.

[0051] 도 1 및 도 3을 참조하면, 인지 단말(12)은 대역 스펙트럼 센싱에 에너지를 할당하여 센싱 서브채널 수를 결정한다(300). 일 실시예에 따르면 인지 단말(12)은 센싱 에너지 수치(sensing energy figure)(ζ)와, 인지 단말(12)에 의해 각 서브채널이 비지(busy) 상태로 센싱될 확률(P_s(busy))을 이용하여 센싱 서브채널 수를 결정한다. 나아가, 인지 단말(12)은 인지 단말(12)이 각 서브채널의 스펙트럼 점유를 검출할 때 발생하는 알람 오류(false alarm)와 검출 오류(miss detection) 확률을 포함하는 운영 특성을 이용하여 인지 단말(12)에 의해 각 서브 채널이 각 타임 블록동안 비지(busy) 상태로 센싱될 확률을 계산한다.

[0052] 이어서, 인지 단말(12)은 센싱 서브채널의 채널상태를 분석하여 사용 가능한 서브채널을 선택한다(310).

[0053] 이어서, 인지 단말(12)은 선택된 서브채널을 통해 달성가능 데이터 전송률을 최대화할 수 있도록 데이터 전송에 에너지 할당한다(320). 일 양상에 따르면 인지 단말(12)은 인지 단말(12)에 의해 서브채널이 아이들(idle) 상태로 센싱된 조건 하에서 서브채널이 선순위 단말(10)에 의해 사용되고 있을 확률을 이용하여 서브채널을 통한 인지 단말(12)의 달성가능 데이터 전송률을 결정한다.

[0054] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 센싱 에너지 수치 ζ 에 따른 최적의 센싱 서브채널 수 $|\mathcal{S}|^{\star}_{\zeta}$ 를 나타내는 그래프이다.

[0055] 도 4를 참조하면, 최적의 센싱 서브채널 수 $|\mathcal{S}|^{\star}_{\zeta}$ 는 센싱 에너지 수치 ζ 가 감소하거나 P_{busy}가 증가함에 따라 증가함을 확인할 수 있다. 이는 센싱 에너지 수치 ζ 가 작거나(energy-efficient spectrum sensing), P_{busy}가 큰 경우(dense primary spectrum occupancy) 아이들(idle) 상태의 서브채널을 검출할 확률을 증가시키기 위해 제2 사용자가 보다 많은 서브채널을 센싱해야 함을 의미한다.

[0056] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 센싱 에너지 수치 ζ 에 따른 달성 가능한 평균 블록 전송률(achievable average block rate) $R(\zeta, |\mathcal{S}|)/\mathcal{T}_{\max}$ 을 나타내는 그래프이다.

[0057] 도 5를 참조하면, 최적의 센싱 서브채널 수 $|\mathcal{S}|^{\star}_{\zeta}$ 의 사용은 균형있게 채널 센싱과 데이터 전송에 에너지를 할당함에 따라 제2 사용자가 달성 가능한 평균 블록 전송률 $R(\zeta, |\mathcal{S}|)/\mathcal{T}_{\max}$ 을 최대화할 수 있음을 의미한다.

[0058] 이제까지 본 발명에 대하여 그 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

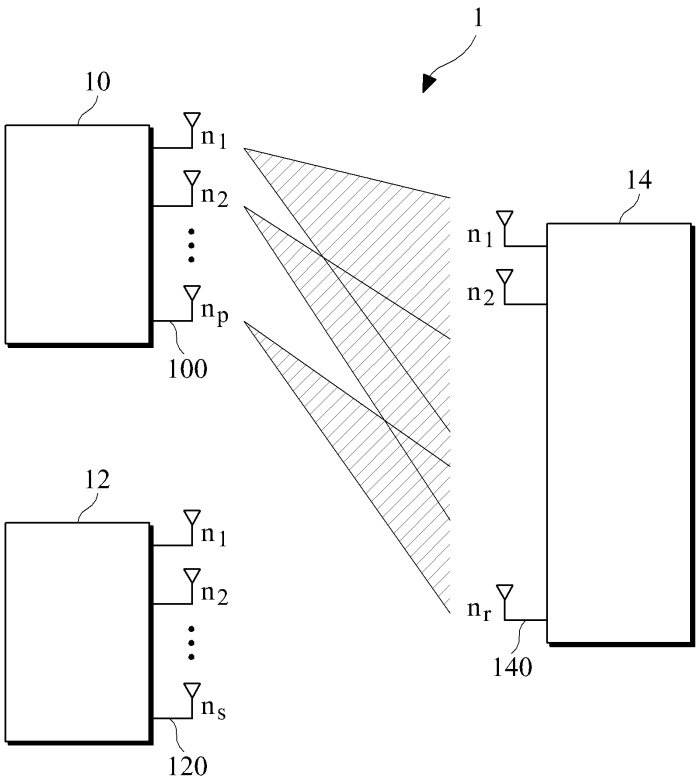
부호의 설명

[0059] 12 : 인지 단말 120 : 센싱 채널수 결정부

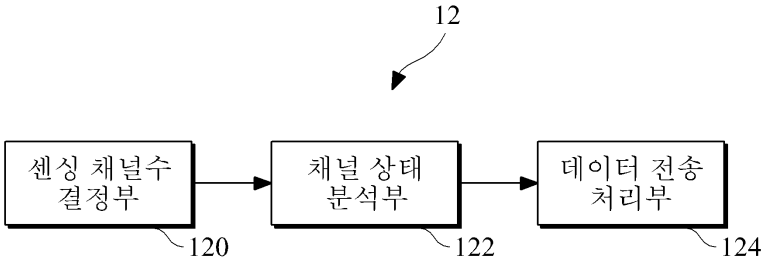
122 : 채널상태 분석부 124 : 데이터 전송 처리부

도면

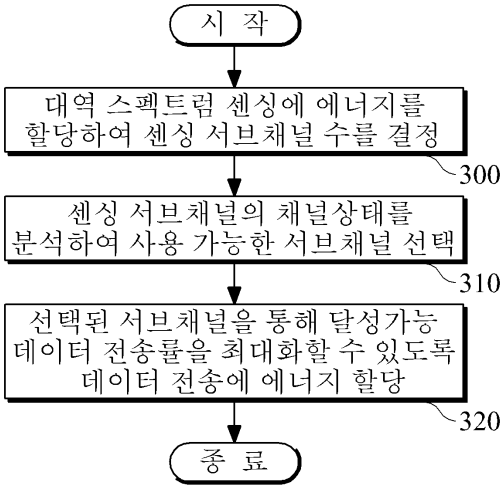
도면1


1
10
n1
n2
np
100
14
n1
n2
nr
140
12
n1
n2
ns
120

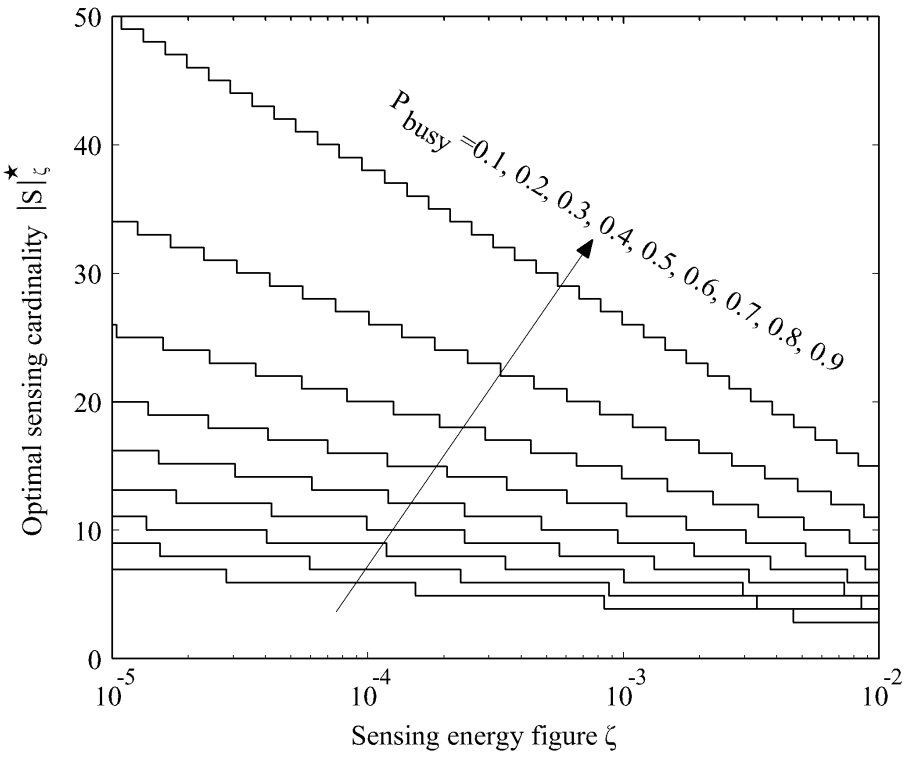
도면2


12
센싱 채널수 결정부
120
채널 상태 분석부
122
데이터 전송 처리부
124

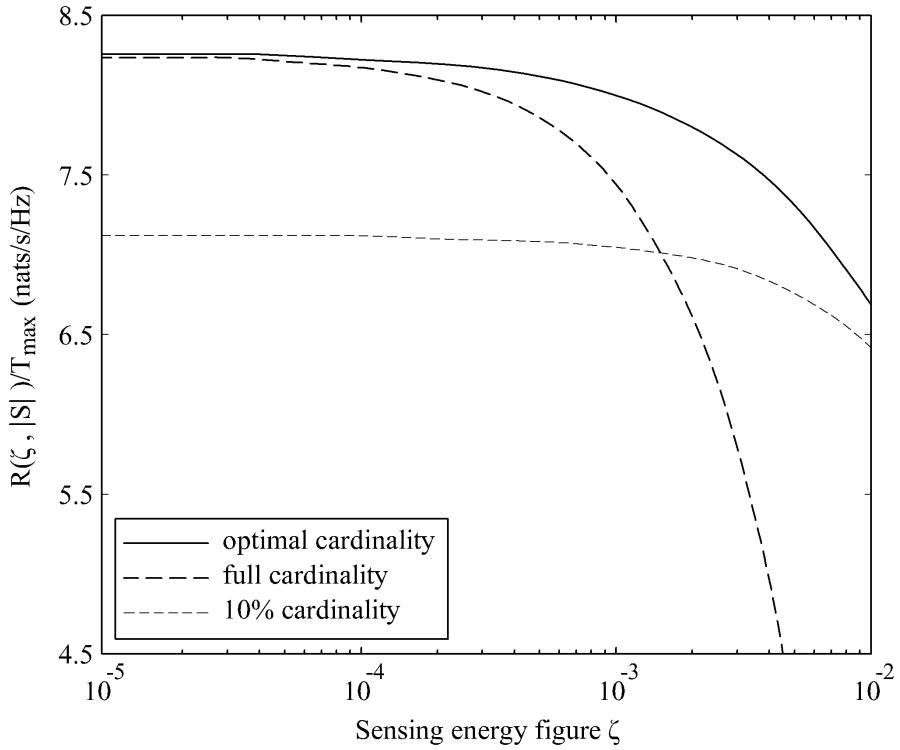
도면3


시 작
대역 스펙트럼 센싱에 에너지를 할당하여 센싱 서브채널 수를 결정
300
센싱 서브채널의 채널상태를 분석하여 사용 가능한 서브채널 선택
310
선택된 서브채널을 통해 달성가능 데이터 전송률을 최대화할 수 있도록 데이터 전송에 에너지 할당
320
종 료

도면4


Optimal sensing cardinality $|S|^{\star}_{\zeta}$
Sensing energy figure ζ
P_{busy} =0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9
50
40
30
20
10
0
10^{-5}
10^{-4}
10^{-3}
10^{-2}

도면5


8.5
7.5
6.5
5.5
4.5
R(ζ , |S|)/T_max (nats/s/Hz)
10^-5
10^-4
10^-3
10^-2
Sensing energy figure ζ
optimal cardinality
full cardinality
10% cardinality