



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0062899
(43) 공개일자 2016년06월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 24/02 (2009.01) H04W 16/10 (2009.01)
(21) 출원번호 10-2014-0166127
(22) 출원일자 2014년11월26일
심사청구일자 2014년11월26일

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
김홍석
서울특별시 마포구 월드컵북로47길 46, 201동
2005호 (상암동, 상암월드컵파크 2단지)
배성환
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교) 곤자가기숙사 1160호
(74) 대리인
특허법인충현

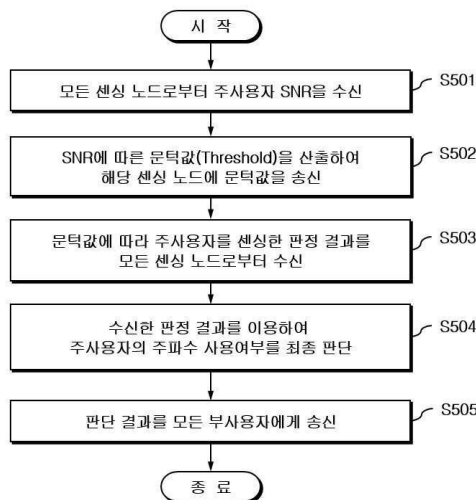
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 인지 무선 통신에서 문턱 값을 최적화하여 협력적 센싱을 수행하는 방법 및 그 장치

(57) 요약

본 발명은 인지 무선 통신에서 문턱 값을 최적화하여 협력적 센싱을 수행하는 방법에 관한 것으로, 융합센터(Fusion Center)가 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드로부터 주사용자(Primary User; PU)에 대한 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 측정할 값을 수신하는 단계; 융합센터가 센싱 노드들 각각에 대하여 신호대잡음비에 따른 문턱값(Threshold)을 산출하고, 각 센싱 노드에게 해당 문턱 값을 송신하는 단계; 송신한 문턱값에 기초하여 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하는지 여부를 센싱 노드가 각각 판정한 센싱 결과를 융합센터가 수신하는 단계; 융합센터가 센싱 노드의 센싱 결과를 반영하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 단계; 및 판단 결과를 모든 부사용자에게 송신하는 단계;를 포함하여 단일 센싱 혹은 동일한 문턱값을 이용한 협력 센싱보다 주사용자 검출 확률에 있어서 훨씬 우수한 성능을 가진다.

대표도 - 도5



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 12-911-01-109

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신기술연구진흥센터(IITP)

연구사업명 정보통신·방송 연구개발사업

연구과제명 LTE 신규 대역 개발을 위한 협력적 센싱 및 DB 기반 주파수 공유 기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 서강대학교 산학협력단

연구기간 2012.05.01 ~ 2015.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

융합센터(Fusion Center)가 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드로부터 주 사용자(Primary User; PU)에 대한 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 측정한 값을 수신하는 단계;

상기 융합센터가 상기 센싱 노드들 각각에 대하여 신호대잡음비에 따른 문턱값(Threshold)을 산출하고, 상기 각 센싱 노드에게 상기 해당 문턱값을 송신하는 단계;

상기 송신한 문턱값에 기초하여 상기 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하는지 여부를 상기 센싱 노드가 각각 판정한 센싱 결과를 상기 융합센터가 수신하는 단계;

상기 융합센터가 센싱 노드의 센싱 결과를 반영하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 단계; 및

상기 판단 결과를 모든 부사용자에게 송신하는 단계;를 포함하는 인지무선(cognitive radio; CR) 협력 센싱(cooperative sensing) 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 센싱 노드로부터 신호대잡음비를 수신하는 단계는

상기 센싱 노드들이 측정한 신호대잡음비의 평균값을 수신하는 것을 특징으로 하는 인지무선 협력 센싱 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 신호대잡음비에 따른 문턱값을 산출하는 단계는

센싱 노드의 주사용자 검출 확률 및 오경보 확률을 반영하여 상기 문턱값을 산출하는 것을 특징으로 하는 인지무선 협력 센싱 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 신호대잡음비에 따른 문턱값을 산출하는 단계는

문턱값과 오경보 확률의 관계를 사용하여 상기 주사용자 검출 확률의 최대값을 산출하고, 상기 주사용자 검출 확률이 최대일 때의 문턱값을 상기 신호대잡음비에 따른 문턱값으로 결정하는 것을 특징으로 하는 인지무선 협력 센싱 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 문턱값과 오경보 확률의 관계는 하기의 식(1) 및 식(2)에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 인지무선 협력 센싱 방법

$$\epsilon^{(i)} = \sqrt{4\tau B} Q^{-1} \left(P_f^{(i)} \right) + 2\tau B \quad \text{식(1)}$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp \left(\frac{-u^2}{2} \right) du \quad \text{식(2)}$$

여기서, 상기 $\epsilon^{(i)}$ 는 i번째 센싱 노드의 문턱값, 상기 τ 는 센싱 시간, 상기 B 는 센싱 주파수 대역, 상기 $\mathcal{Q}^{-1}$ 는 가우시안 분포에서 문턱값 x 에 대하여 오경보 확률 값을 산출하는 식(2) $\mathcal{Q}$ 의 역함수, 상기 $P_f^{(i)}$ 는 i번째 센싱 노드의 오경보 확률.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 주사용자 검출 확률의 최대화 수식은 식(1)을 이용하여 하기의 식(3)과 같이 정의되고, 이때 각 센싱노드 (i)의 검출 확률을 나타내는 $P_d^{(i)}$ 는 식(4)와 같이 정의되는 것을 특징으로 하는 인지무선 협력 센싱 방법

$$\begin{aligned} \max_{\epsilon^{(i)}, i \in \{1, \dots, N\}} \quad & \prod_{i=1}^N P_d^{(i)} \\ \text{s.t.} \quad & \prod_{i=1}^N P_f^{(i)} = \overline{P_f} \end{aligned} \quad \text{식(3)}$$

$$P_d^{(i)}(P_f^{(i)}, \gamma^{(i)}, \tau, B,) = \mathcal{Q} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \gamma^{(i)}}} \left(\mathcal{Q}^{-1} \left(P_f^{(i)} \right) - \frac{\gamma^{(i)} \sqrt{\tau B}}{2} \right) \right) \quad \text{식(4)}$$

여기서, 상기 $\gamma^{(i)}$ 는 각 센싱노드(i)가 가지는 주사용자 SNR.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 식(3)은 최적화 문제(Convex optimization)로 변형하여, 라그랑지안(Lagrangian) 또는 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건을 이용하여 풀이하는 것을 특징으로 하는 인지무선 협력 센싱 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 단계는

경판정(Hard Decision)의 융합 기법을 적용하여 상기 센싱 노드의 센싱 결과를 반영하는 것을 특징으로 하는 인지무선 협력 센싱 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 단계는

모든 센싱 노드의 센싱 결과를 반영하는 AND 기법을 이용하여 센싱 결과를 취합하는 것을 특징으로 하는 인지무선 협력 센싱 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 단계는

하나 이상의 센싱 노드의 센싱 결과를 반영하는 OR 기법을 이용하여 센싱 결과를 취합하는 것을 특징으로 하는

인지무선 협력 센싱 방법.

청구항 11

하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중에서 센싱에 참여하는 센싱 노드가 주사용자(Primary User; PU)에 대한 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 측정하는 단계;

상기 센싱 노드가 상기 측정한 신호대잡음비의 평균값을 융합센터(Fusion Center)에 송신하는 단계;

상기 센싱 노드가 상기 융합센터로부터 신호대잡음비에 따라 산출된 각각의 문턱값(Threshold)을 수신하는 단계;

상기 센싱 노드가 상기 자신의 문턱값을 이용하여 상기 주사용자가 주파수를 사용하는지 여부를 센싱하는 단계; 및

상기 센싱 노드가 센싱 결과를 상기 융합센터로 송신하는 단계;를 포함하는 인지무선(cognitive radio; CR) 협력 센싱(cooperative sensing) 방법.

청구항 12

제 1 항 내지 제 11 항 중에 어느 한 항의 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

청구항 13

하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드와 협력 센싱에 필요한 정보를 송수신하는 통신부;

각 센싱 노드로부터 수신한 주사용자(Primary User; PU)에 대한 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 이용하여 주사용자 센싱을 하기 위한 문턱값(Threshold)을 산출하는 문턱값 산출부; 및

모든 센싱 노드들로부터 수신한 판정 결과를 이용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 판단부;를 포함하는 인지무선(cognitive radio; CR) 통신에서 협력 센싱(cooperative sensing)을 수행하는 융합 센터.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 통신부의 상기 협력 센싱에 필요한 정보는 상기 센싱 노드가 상기 주사용자에 대한 신호대잡음비를 측정한 값, 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하고 있는지 여부를 상기 센싱 노드가 판정한 결과, 상기 문턱값 산출부가 각 센싱 노드에 대하여 산출한 문턱값 및 상기 판단부의 주사용자의 주파수 사용여부 판단 결과인 것을 특징으로 하는 인지무선 통신에서 협력 센싱을 수행하는 융합 센터.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 문턱값 산출부는 문턱값과 오경보 확률의 관계를 사용하여 주사용자 검출 확률의 최대값을 산출하고, 상기 주사용자 검출 확률이 최대일 때의 문턱값을 상기 신호대잡음비에 따른 문턱값으로 결정하되,

상기 주사용자 검출 확률 및 오경보 확률은 각 센싱 노드로부터 수신한 신호대잡음비에 따라 결정되는 것을 특징으로 하는 인지무선 통신에서 협력 센싱을 수행하는 융합 센터.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 인지 무선 통신에 관한 것으로, 특히 인지 무선 통신에서 문턱 값을 최적화하여 협력적 센싱을 수행하는 방법, 그 방법에 따른 기록매체, 및 그 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0001]

- [0002] 현재의 무선통신 기술은 언제 어디서 누구와 어떤 정보든지 주고 받을 수 있는 것이 가능한 유비쿼터스 네트워크를 지향하는 방향으로 연구 및 발전을 해나가고 있다. 종래에는 이동통신 및 방송에서 전파가 이용되었지만, 이제는 교통, 의료, 과학, 치안에 이르기까지 생활 전 영역으로 확대됨에 따라 주파수 자원에 대한 요구가 급증하고 있으며, 무선통신 기술의 발전은 이러한 주파수 자원 수요의 증가를 가속화시키고 있다. 이러한 주파수 부족 문제 해결과 주파수 이용 효율 극대화를 위해 실제로 사용되지 않고 비어 있는 주파수를 찾아서 통신하는 인지무선(Cognitive Radio; CR) 기술이 주목받고 있다.
- [0003] 인지무선 기술은 지역과 시간에 따라 사용하지 않는 주파수를 자동으로 찾아 주변의 허가된 무선국을 보호하면서 목적하는 통신이 가능하도록 만들어 주는 기술이다. 다양한 폭으로 흩어져 있고 점유되는 시간이 계속 달라지는 유휴 스펙트럼을 찾아 그 환경에 맞는 주파수 대역폭, 출력, 변조 방식 등을 판단하여 재활용토록 함으로써 제한된 자원인 주파수의 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다. IEEE에서는 2004년부터 텔레비전 주파수 대역의 인지무선(CR) 이용 기술 표준화 작업을 추진하고 있다.
- [0004] 인지무선 기술 중에서도 특히 스펙트럼 센싱 기술은 부사용자(Secondary User; SU)가 주변의 전파환경을 감지하여 주사용자(Primary User; PU)가 사용하고 있지 않은 비어있는 주파수대역을 찾아내는 기술로 CR기술의 근간을 이룬다. 스펙트럼 센싱의 방법은 정합 필터(matched filter), 신호 형태 검출(signal feature detection), 에너지 검출(energy detection) 등이 있으나 그 중 전송될 신호의 형태를 모르는 경우에도 구현이 가능하고 그 복잡도와 센싱 시간을 고려할 때 에너지 검출 방법이 가장 적합하다. 하지만 부사용자 하나가 독립적으로 스펙트럼 센싱을 수행한다면 은닉 노드(Hidden Node) 문제, 셰도우 페이딩 문제, 멀티패스 페이딩 문제 등이 발생하여 정확히 검출해내지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해 부사용자가 개별적으로 센싱한 결과를 융합센터(Fusion Center)에서 공유하여 스펙트럼 점유 여부를 판단하고 수행하는 협력 스펙트럼 센싱(Cooperative Spectrum Sensing) 기술이 대두되었다.
- [0005] 협력 스펙트럼 센싱은 여러 부사용자가 관측한 정보를 일단 융합 센터에 전송하고 융합 센터에서 이를 바탕으로 최종 판정을 내리는 연판정(soft decision)과 각 부사용자가 일차적으로 스펙트럼 사용 여부를 판단하고 그 결과를 융합센터에 전송하여 최종 판정을 내리는 경판정(hard decision)이 있다. CR 부사용자의 연판정 개별 정보를 융합센터에 보내게 되면 이로 인해 주파수 효율이 떨어지므로 경판정 협력 스펙트럼 센싱이 보다 일반적이다.
- [0006] 이와 같은 경판정 협력 스펙트럼 센싱에서 각 부사용자가 해당 주파수 대역이 비어있는지, 혹은 주사용자가 사용하고 있는지를 판정하는 것은 에너지 검출시의 문턱값(threshold) ϵ 을 기준으로 결정된다. 즉 에너지가 ϵ 보다 크면 그 주파수 대역이 사용되고 있음을 나타내는 1을 그리고 ϵ 보다 작으면 사용하고 있지 않음을 나타내는 0을 전송한다. 그리고 융합센터에서는 부사용자가 보내준 CR정보인 0 혹은 1을 가지고 융합센터에서 사용하고 있는 융합 규칙(AND 규칙, OR 규칙, 다수결 규칙 등)을 사용하여 최종 결정을 내린다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제1,152,572호 2012.05.25 공개.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 협력에 참여하는 부사용자 즉, 센싱 노드들이 동일한 문턱값을 가지고 센싱을 수행하는 경우 단일 노드가 센싱을 수행하는 것보다 성능이 저하될 수 있는 문제점을 해결하고자 한다.
- [0009] 또한, 각 센싱 노드들에 대한 최적의 문턱 값을 산출하기 위해서 센싱 노드마다 주사용자에 대한 신호대잡음비(SNR)가 그들의 전파환경에 따라 달라지는 것을 반영하는 수단을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기된 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예에 따른 인지무선(cognitive radio; CR) 협력 센싱

(cooperative sensing) 방법은, 융합센터(Fusion Center)가 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드로부터 주사용자(Primary User; PU)에 대한 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 측정된 값을 수신하는 단계; 상기 융합센터가 상기 센싱 노드들 각각에 대하여 신호대잡음비에 따른 문턱값(Threshold)을 산출하고, 상기 각 센싱 노드에게 상기 해당 문턱값을 송신하는 단계; 상기 송신한 문턱값에 기초하여 상기 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하는지 여부를 상기 센싱 노드가 각각 판정한 센싱 결과를 상기 융합센터가 수신하는 단계; 상기 융합센터가 센싱 노드의 센싱 결과를 반영하여 주사용자의 주파수 사용 여부를 판단하는 단계; 및 상기 판단 결과를 모든 부사용자에게 송신하는 단계;를 포함한다.

[0011] 일 실시예에 따른 인지무선 협력 센싱 방법의 상기 센싱 노드로부터 신호대잡음비를 수신하는 단계는 상기 센싱 노드들이 측정된 신호대잡음비의 평균값을 수신할 수 있다.

[0012] 일 실시예에 따른 인지무선 협력 센싱 방법의 상기 신호대잡음비에 따른 문턱값을 산출하는 단계는 센싱 노드의 주사용자 검출 확률 및 오경보 확률을 반영하여 상기 문턱값을 산출할 수 있다.

[0013] 상기된 실시예에서 상기 신호대잡음비에 따른 문턱값을 산출하는 단계는 상기 문턱값과 오경보 확률의 관계를 사용하여 상기 주사용자 검출 확률의 최대값을 산출하고, 상기 주사용자 검출 확률이 최대일 때의 문턱값을 상기 신호대잡음비에 따른 문턱값으로 결정한다.

[0014] 상기된 실시예에서 상기 문턱값과 오경보 확률의 관계는 하기의 식(1) 및 식(2)에 의해 정의되고,

$$\epsilon^{(i)} = \sqrt{4\tau B Q^{-1}} \left(P_f^{(i)} \right) + 2\tau B \quad \text{식(1)}$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad \text{식(2)}$$

[0017] 여기서, 상기 $\epsilon^{(i)}$ 는 i번째 센싱 노드의 문턱값, 상기 τ 는 센싱 시간, 상기 B 는 센싱 주파수 대역, 상기 Q^{-1} 는 가우시안 분포에서 문턱값 x 에 대하여 오경보 확률 값을 산출하는 식(2) Q 의 역함수, 상기 $P_f^{(i)}$ 는 i번째 센싱 노드의 오경보 확률을 나타낸다.

[0018] 상기된 실시예에서 상기 주사용자 검출 확률의 최대화 수식은 식(1)을 이용하여 하기의 식(3)과 같이 정의되고, 이때 각 센싱노드(i)의 검출 확률을 나타내는 $P_d^{(i)}$ 는 식(4)와 같이 정의되고,

$$\begin{aligned} & \max_{\epsilon^{(i)}, i \in \{1, \dots, N\}} \prod_{i=1}^N P_d^{(i)} \\ & \text{s.t.} \quad \prod_{i=1}^N P_f^{(i)} = \overline{P_f} \end{aligned} \quad \text{식(3)}$$

$$P_d^{(i)}(P_f^{(i)}, \gamma^{(i)}, \tau, B,) = Q\left(\frac{1}{\sqrt{1 + \gamma^{(i)}}} \left(Q^{-1}\left(P_f^{(i)}\right) - \frac{\gamma^{(i)} \sqrt{\tau B}}{2} \right)\right) \quad \text{식(4)}$$

[0021] 여기서, 상기 $\gamma^{(i)}$ 는 각 센싱노드(i)가 가지는 주사용자 SNR을 나타낸다.

[0022] 상기된 실시예에서 상기 식(3)은 최적화 문제(Convex optimization)로 변형하여, 라그랑지안(Lagrangian) 또는 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건을 이용하여 풀이할 수 있다.

[0023] 일 실시예에 따른 인지무선 협력 센싱 방법의 상기 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 단계는 경판정(Hard Decision)의 융합 기법을 적용하여 상기 센싱 노드의 센싱 결과를 반영한다.

[0024] 일 실시예에 따른 인지무선 협력 센싱 방법의 상기 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 단계는 모든 센싱

노드의 센싱 결과를 반영하는 AND 기법을 이용하여 센싱 결과를 취합한다.

- [0025] 일 실시예에 따른 인지무선 협력 센싱 방법의 상기 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 단계는 하나 이상의 센싱 노드의 센싱 결과를 반영하는 OR 기법을 이용하여 센싱 결과를 취합한다.
- [0026] 상기된 기술적 과제를 해결하기 위해 본 발명의 다른 실시예에 따른 인지무선 협력 센싱 방법은 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중에서 센싱에 참여하는 센싱 노드가 주사용자(Primary User; PU)에 대한 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 측정하는 단계; 상기 센싱 노드가 상기 측정한 신호대잡음비의 평균값을 융합센터(Fusion Center)에 송신하는 단계; 상기 센싱 노드가 상기 융합센터로부터 신호대잡음비에 따라 산출된 각각의 문턱값(Threshold)을 수신하는 단계; 상기 센싱 노드가 상기 자신의 문턱값을 이용하여 상기 주사용자가 주파수를 사용하는지 여부를 센싱하는 단계; 및 상기 센싱 노드가 센싱 결과를 상기 융합센터로 송신하는 단계;를 포함한다.
- [0027] 한편, 이하에서는 상기 기재된 인지무선 협력 센싱 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.
- [0028] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 인지무선(cognitive radio; CR) 통신에서 협력 센싱(cooperative sensing)을 수행하는 융합 센터는 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드와 협력 센싱에 필요한 정보를 송수신하는 통신부; 각 센싱 노드로부터 수신한 주사용자(Primary User; PU)에 대한 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 이용하여 주사용자 센싱을 하기 위한 문턱값(Threshold)을 산출하는 문턱값 산출부; 및 모든 센싱 노드들로부터 수신한 판정 결과를 이용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 판단부;를 포함한다.
- [0029] 또 다른 실시예에서 상기 통신부의 상기 협력 센싱에 필요한 정보는 상기 센싱 노드가 상기 주사용자에 대한 신호대잡음비를 측정한 값, 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하고 있는지 여부를 상기 센싱 노드가 판정한 결과, 상기 문턱값 산출부가 각 센싱 노드에 대하여 산출한 문턱값 및 상기 판단부의 주사용자의 주파수 사용여부 판단 결과인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0030] 또 다른 실시예에서 상기 문턱값 산출부는 문턱값과 오경보 확률의 관계를 사용하여 주사용자 검출 확률의 최대값을 산출하고, 상기 주사용자 검출 확률이 최대일 때의 문턱값을 상기 신호대잡음비에 따른 문턱값으로 결정하되, 상기 주사용자 검출 확률 및 오경보 확률은 각 센싱 노드로부터 수신한 신호대잡음비에 따라 결정된다.

발명의 효과

- [0031] 본 발명의 실시예들에 따르면, 경관정 기법에 따라 다수의 센싱 노드가 협력 센싱을 수행하는데 각 센싱 노드에 최적화된 문턱값을 설정하여 줌으로써 전체 협력 센싱의 성능을 향상시킬 수 있다. 주사용자 검출의 기준이 되는 문턱값은 센싱 노드의 전파 환경에 따라 영향을 받는데, 주사용자에 대한 신호대잡음비를 고려함으로써 각 센싱 노드에 따른 전파 환경을 반영할 수 있게 된다.
- [0032] 나아가, 단일 센싱 혹은 동일한 문턱값을 이용한 협력 센싱보다 주사용자 검출 확률에 있어서 훨씬 우수한 성능을 가진다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 단일센싱 및 협력센싱의 경우 주사용자 검출 확률을 나타낸 그래프이다.
- 도 2a는 동일한 문턱값을 기준으로 센싱을 수행할 때의 주사용자(PU)와 부사용자(SU)에 대한 전파환경을 나타낸 개념도이다.
- 도 2b는 주사용자(PU)와 부사용자(SU)에 대한 전파환경이 실제 상이함을 나타낸 개념도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예들에 따른 센싱 노드(SU), 주사용자(PU) 및 융합센터(Fusion Center)의 상호 관계를 나타낸 개념도이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예들이 채택하고 있는 협력 센싱 방법의 개괄적인 과정을 각 수행 주체별로 분리하여 도시한 흐름도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 인지 무선 협력 센싱 방법을 도시한 흐름도이다.
- 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 인지 무선 협력 센싱 방법을 도시한 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 협력 센싱을 수행하는 융합 센터의 블록도이고, 도 8은 센싱 노드의 블록도이다.

도 9a 내지 도 9c는 두 개의 문턱값에 대한 단일 센싱, 동일한 문턱값을 가지는 협력 센싱 및 본 발명의 실시예에 따른 협력센싱(도 9a는 협력센싱에 참여한 센싱 노드의 수가 2개인 경우, 도 9b는 4개인 경우, 도 9c는 7개인 경우)의 성능을 비교한 수신자 조작 특성(Receiver Operating Characteristic, 이하 ROC) 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 본 발명에 관한 구체적인 내용의 설명에 앞서 이해의 편의를 위해 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안의 개요 혹은 기술적 사상의 핵심을 우선 제시한다.
- [0035] 인지 무선 통신에서 목적 채널에 대하여 허가를 받지 않은 부사용자는 주사용자가 목적 채널을 사용하지 않는 동안 목적 채널을 사용할 수 있다. 따라서 부사용자는 목적 채널의 사용을 위해, 혹은 사용 중에 주사용자가 출현하는지 여부를 항상 탐색해야 한다. 이를 주사용자 센싱이라고 한다.
- [0036] 센싱을 수행하는 주체는 부사용자이다. 부사용자 하나가 독립적으로 스펙트럼 센싱을 수행한다면 Hidden Node 문제, 섀도우 페이딩 문제, 멀티패스 페이딩 문제 등이 발생하여 정확히 검출해내지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다수의 부사용자가 협력하여 주사용자를 센싱하는 협력적 센싱의 개념이 등장하였다. 하나의 부사용자가 주사용자를 센싱하는 것(단일 센싱)보다 다수의 부사용자가 주사용자를 센싱하는 것(협력 센싱)이 더 효과적임은 당연할 것이다.
- [0037] 도 1은 단일센싱 및 협력센싱의 경우 주사용자 검출 확률을 나타낸 그래프이다. 도 1의 그래프에서 가로축은 센싱 노드의 주사용자 SNR(signal to noise ratio; 신호대잡음비)를 나타내고, 세로축은 검출 확률 $P_d, 0 \leq P_d \leq 1$ 을 나타낸다. 그래프 상의 실선은 협력 센싱(cooperative sensing) 시 검출확률을 나타내고, 점선은 -15[dB]로 문턱값이 고정된 단일 센싱(SU⁽¹⁾) 시 검출확률을 나타내며, 일점쇄선은 -20 ~ -13[dB]로 문턱값이 변동하는 단일 센싱(SU⁽²⁾) 시 검출확률을 나타낸다. 또한, 그래프에서 최종 P_f 는 10%로 고정하고, 에너지 검출 센싱 방법과 AND 융합 기법을 이용한 결과 그래프이다.
- [0038] 도 1의 그래프를 참조하면 보통 협력 센싱의 성능이 단일 센싱의 성능보다 우수하나, 언제나 단일 센싱보다 높은 성능을 유지하지는 않는 것을 알 수 있다. 즉, 단일 노드의 센싱에 비해 협력적 센싱의 성능이 낮은 구간이 존재한다.
- [0039] 협력 센싱을 수행할 때 모든 부사용자는 단일 문턱값을 기준으로 주사용자를 센싱을 수행한다. 도 2a는 동일한 문턱값을 기준으로 센싱을 수행할 때의 주사용자(PU)와 부사용자(SU)에 대한 전파환경을 나타낸 개념도이다. 각각의 부사용자(SU)는 주사용자(PU)로부터 동일한 거리만큼 떨어져 위치하는 것을 나타내고 있으며, 이는 동일한 문턱값을 기준으로 센싱을 수행하는 것을 의미한다.
- [0040] 그러나 부사용자는 다수이기 때문에 주사용자를 중심으로 물리적으로 동일한 위치에 존재하지 않는 것이 현실이다. 그리고 위치뿐만 아니라 전파 환경에 영향을 미치는 다양한 요인이 있어 각 부사용자마다 그 센싱 능력이 상이할 수 있다. 이를 나타낸 것이 도 2b의 개념도로서, 주사용자(PU)와 부사용자(SU)에 대한 전파환경이 실제 상이함을 나타내고 있다. 이와 같은 실제 환경을 반영하지 않고, 동일한 문턱값을 이용하여 다수의 부사용자가 주사용자를 센싱하기 때문에 그 성능이 단일 센싱에 비하여 낮아지는 경우가 발생하는 것이다. 따라서 본 발명은 센싱에 참여하는 부사용자 개별 노드에 맞는 최적의 문턱값을 산출하고, 해당 문턱값을 기준으로 주사용자 센싱을 수행하는 인지무선 협력 센싱 방법을 제안하고자 한다. 나아가 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 각 센싱 노드의 전파 환경을 가늠하는 기준으로 활용하고자 한다.
- [0041] 최적의 문턱값을 산출하는 방법을 설명하기에 앞서, 본 발명의 실시예들이 공통적으로 채택하고 있는 판정 기법과 융합 기법을 먼저 설명한다.
- [0042] 인지 무선 통신을 위해서는 목적 채널에 우선권을 가지는 하나의 주사용자, 주사용자가 목적 채널을 사용하지 않을 때에 그 목적 채널을 사용하고자 하는 다수의 부사용자와 협력 센싱을 위해 목적 채널의 사용여부를 판단하는 융합 센터가 존재한다. 도 3은 본 발명의 실시예들에 따른 센싱 노드(SU), 주사용자(PU) 및 융합센터(Fusion Center)의 상호 관계를 나타낸 개념도이다. 도 3의 PU(10)는 주사용자(Primary User; PU)를 나타내고,

부사용자가 사용하고자 하는 목적 채널 혹은 목적 주파수 대역에 대하여 우선권을 가진 사용자를 의미한다. PU(10)는 언제든지 자신이 우선권을 가지는 목적 채널을 사용할 수 있다. SU(20)는 주사용자의 목적 주파수 대역을 사용하고자 하는 부사용자(Secondary User; SU)를 나타내고, 동시에 협력 센싱에 참여하기 때문에 센싱 노드라고 한다. 센싱 노드가 하나인 경우는 단일 센싱이 되기 때문에 둘 이상인 경우에 협력 센싱이 된다. SU(20)는 PU(10)의 주파수 사용 여부에 따라 PU의 주파수 대역을 활용할 수 있는데, PU(10)가 목적 채널을 사용하고 있지 않을 때에만 해당 목적 채널을 사용할 수 있는 것을 의미한다. 따라서 협력적 센싱 노드(cooperative sensing node)로서 동일한 시간에 PU(10)를 센싱하고, 각자의 판단 결과를 융합 센터로 보고하게 된다. 융합 센터(30)는 모든 센싱 노드의 주사용자 센싱 결과를 취합하여 최종적으로 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하고 있는지 판단하고, 그 결과를 모든 부사용자에게 전달하는 역할을 한다.

[0043] 협력적 센싱에서 융합센터(30)가 주사용자의 출현여부를 판단하는 방법으로 연판정(soft decision) 기법과 경판정(hard decision) 기법이 있다.

[0044] 연판정의 융합 기법은, 협력적 센싱에 참여하는 각각의 부사용자들이 주사용자를 센싱한 원정보(Raw Data) 자체를 융합 센터로 전송하고, 융합센터는 전체 부사용자들이 전송해준 원정보를 융합하여 주사용자의 존재 여부를 판별하게 된다. 여기서 원정보는 다수의 bits 크기의 데이터가 된다. 연판정은 융합센터에서 원정보들을 어떻게 융합할 것인가가 문제가 되며, 일반적으로 MRC (Maximal Ratio Combining), EGC (Equal Gain Combining), SG (Selection Combining) 등등의 융합 방법이 사용되고 있다.

[0045] 이와 달리 경판정의 융합 기법은, 협력적 센싱에 참여하는 각각의 부사용자들이 주사용자를 센싱한 후, 1차적으로 주사용자의 존재 여부를 판별(Local Decision) 한다. 따라서 주사용자가 존재할 경우에 one-bit의 정보를 융합센터로 전달하며, 융합 센터는 각각의 부사용자들이 보내준 판별 결과를 AND, OR 또는 다수결의 원칙 등등에 따라서 최종적으로 주사용자의 존재 여부를 판별(Final or Global Decision) 한다. (용어와 관련하여, 이하에서는 센싱 노드가 판별하는 것을 '판정'이라 하고, 융합센터가 판별하는 것을 '판단'한다고 정한다.) 경판정은 주사용자의 존재 여부만 알려주기 때문에 방대한 원정보를 생략하고 있다/없다의 one-bit 데이터만 사용하게 된다. 따라서 연판정에 비하여 리포트 피드백이 적고, 실제 시스템에 쉽게 적용할 수 있는 장점을 가진다.

[0046] 한편, 경판정에서 융합센터가 최종 판단하기 위한 규칙 중 AND 규칙은 센싱 노드의 모든 결과를 반영하는 것으로, 모든 센싱 노드들이 PU가 있다고 판정한 경우 최종적으로 융합센터가 PU가 존재한다고 판단한다. OR 규칙은 어느 한 센싱 노드가 PU가 있다고 판정한 경우 최종적으로 융합센터가 PU가 존재한다고 판단하는 것으로, 모든 센싱 노드의 결과를 반영하지 않게 된다. 협력 센싱의 기본 목적에 비추어 AND 규칙이 정확한 센싱을 하게 할 수 있으나, 리포트 피드백 오버헤드 등의 문제로 OR 규칙을 사용하는 것이 효율적인 경우도 있다.

[0047] 이들 중에서 본 발명의 실시예들은 경판정 및 AND 규칙의 융합 기법을 채택하여 협력적 센싱을 수행하는 방법을 기술한다. OR 규칙은 AND 규칙의 수학적식을 간단히 변형함으로써 쉽게 얻을 수 있으므로, AND 규칙의 융합 기법을 중심으로 설명한다.

[0048] 도 4는 본 발명의 실시예들이 채택하고 있는 협력 센싱 방법의 개괄적인 과정을 각 수행 주체별로 분리하여 도시한 흐름도로서, 수행주체는 도 3의 각 구성 주체에 대응된다. 도 4에서는 도 3과 달리 설명의 편의상 하나의 SU(20)만 표시하였으나, 협력 센싱에 있어서 SU(20)는 최소 2 이상이 되어야 할 것이다. 이때 모든 SU(20)는 도 4의 과정을 동일하게 수행하게 된다.

[0049] 협력 센싱은 센싱 주기에 따라 수행이 된다. 즉, 동시에 모든 센싱 노드들이 주사용자 센싱을 수행하여 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하고 있는지 여부를 판단하게 된다. 본 발명의 실시예들은 각 센싱 노드마다 최적의 문턱값을 부여하기 위해서 먼저, 각 센싱 노드가 주사용자에 대한 SNR을 측정한다(S601). 보통 한번 이상 측정을 수행하여 평균값을 사용할 수 있다. 센싱 노드별로 SNR 평균값을 융합 센터에 송신한다(S602). 융합 센터는 수신된 SNR 값에 따른 문턱값을 산출하고(S502), 각 센싱 노드에 해당 문턱값을 송신한다(S502). 센싱 노드는 수신한 문턱값을 기준으로 주사용자 센싱을 수행하고(S604), 그 결과를 1차 판정한다(S604). 모든 센싱 노드는 1차 판정 결과를 융합 센터에 송신한다(S605). 그럼 융합 센터는 모든 1차 판정 결과를 취합하여 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하고 있는지 여부를 최종 판단한다(S504). 융합센터가 판단한 결과는 다시 모든 부사용자인 센싱 노드에 송신한다(S505). 이와 같은 협력 센싱 과정에 따라 목적 주파수 대역을 주사용자가 사용하고 있지 않다고 판단된 경우, 부사용자가 해당 주파수를 사용할 수 있게 된다.

[0050] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 인지 무선 협력 센싱 방법을 도시한 흐름도이다. 도 3, 4에서 개괄적으로 설명한 협력 센싱 방법을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것이며, 최적 문턱값을 직접적으로 산출하는 주체인

융합 센터(30)를 기준으로 협력 센싱 방법을 설명하고 있다. 이하에서 흐름도의 각 단계별로 상세히 설명한다.

먼저, S501 단계에서는 융합센터(Fusion Center)가 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중에서 센싱에 참여하는 센싱 노드로부터 주사용자(Primary User; PU)에 대한 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 측정할 값을 수신받는다. 신호의 품위 척도를 나타내는 SNR은 수학식 1과 같이 정의된다.

수학식 1

$$SNR = \frac{P_s}{P_n}$$

여기서 P_s 는 신호(signal)의 전력을 나타내고, P_n 은 잡음(noise)의 전력을 나타낸다. 잡음 전력 대비 신호 전력의 세기를 봄으로써 상대적인 신호 전력 크기를 나타내기 위한 것인데, 통신 시스템의 성능이 절대적인 신호 전력이 아닌 잡음 전력 대비 신호의 전력으로 결정되기 때문이다. 데시벨(dB)을 단위로 표기한다.

통신 신호의 세기는 거리, 페이딩(Fading), 쉐도잉(Shadowing) 및 기타 지리적인 장애물 특성과 음영지역 등의 다양한 요인으로 인하여 감소할 수 있다. 예를들어, 통신의 양 주체가 멀리 떨어져 있는 경우 통신 신호의 세기가 감소할 것이며, 가까운 곳에 위치하더라도 그들 사이에 통신장애를 가져오는 물리적 장애물(예, 산이나 큰 건물 등)이 있는 경우 역시 통신 신호의 세기가 감소한다. 또한, 수신 장치의 안테나 이득(Gain)의 차이로 신호의 세기는 달라질 수 있다.

이와 같이 다양한 요인들로 인하여 통신 신호가 달라지면, 각 부사용자들에 있어서 주사용자에 대한 SNR이 영향을 받는다. 그러므로 본 발명의 실시예들은 센싱 노드의 전파 환경을 반영하기 위한 지표로서, 주사용자 SNR을 활용하고 있다. 주사용자 SNR이 클수록 센싱 노드의 주사용자 검출 능력이 높아지는 것을 의미한다.

S502 단계에서는 융합센터가 센싱 노드들 각각에 대하여 신호대잡음비에 따른 문턱값(Threshold)을 산출하고, 각 센싱 노드에게 해당 문턱값을 송신한다. 구체적으로 센싱 노드의 주사용자 검출 확률 및 오경보 확률은 수신된 신호대잡음비에 따라 결정되는데, 각 센싱 노드의 주사용자 검출 확률 및 오경보 확률을 반영하여 문턱값을 산출한다. 주사용자 검출 확률이란, 센싱 노드가 주사용자를 검출할 확률을 의미하고, 오경보 확률이란, 센싱 노드가 주사용자를 잘못 검출할 확률을 의미한다. 문턱값은 주사용자 센싱의 기준값이므로 오경보 확률과의 관계를 수식으로 정의할 수 있고, 아래 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$\epsilon^{(i)} = \sqrt{4\tau B} Q^{-1} \left(P_f^{(i)} \right) + 2\tau B$$

상기 $\epsilon^{(i)}$ 는 각 센싱 노드의 문턱 값을 나타내고, 상기 $P_f^{(i)}$ 는 각 센싱 노드의 오경보 확률을 나타낸다.

그리고, 상기 τ 는 센싱 시간, 상기 B 는 센싱 주파수 대역, 상기 Q^{-1} 는 가우시안 분포에서 문턱값 x 에 대

하여 오경보 확률 값을 산출하는 식 $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp \left(\frac{-u^2}{2} \right) du$ 의 역함수를 나타낸다.

문턱값과 오경보 확률의 관계를 사용하여 주사용자 검출 확률의 최대값을 산출할 수 있는데, 본 발명의 실시예들에서는 주사용자 검출 확률이 최대일 때의 문턱값을 신호대잡음비에 따른 문턱값으로 결정한다.

[0060] AND 기법을 사용할 때, 주사용자 검출 확률($P_d^{(i)}$)의 최대화는 아래 수학적 3과 같이 표현할 수 있다.

수학적 3

$$\begin{aligned} \max_{\epsilon^{(i)}, i \in \{1, \dots, N\}} \quad & \prod_{i=1}^N P_d^{(i)} \\ \text{s.t.} \quad & \prod_{i=1}^N P_f^{(i)} = \overline{P_f} \end{aligned}$$

[0061]

[0062] 주사용자 검출 확률의 최대화 수식(수학적 3)을 문턱값과 오경보 확률의 관계식(수학적 2)를 이용하여 변형하면 아래 수학적 4와 같다.

수학적 4

$$\begin{aligned} \max_{P_f^{(i)}, i \in \{1, \dots, N\}} \quad & \prod_{i=1}^N P_d^{(i)} \\ \text{s.t.} \quad & \prod_{i=1}^N P_f^{(i)} = \overline{P_f} \end{aligned}$$

[0063]

[0064] 상기 수학적 4에서 $P_d^{(i)}$ 에 대한 수식은 아래 수학적 5와 같다.

수학적 5

$$P_d^{(i)}(P_f^{(i)}, \gamma^{(i)}, \tau, B,) = \mathcal{Q} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \gamma^{(i)}}} \left(\mathcal{Q}^{-1} \left(P_f^{(i)} \right) - \frac{\gamma^{(i)} \sqrt{\tau B}}{2} \right) \right)$$

[0065]

[0066] 여기서 $\gamma^{(i)}$ 는 각 센싱 노드(i)가 가지는 주사용자 SNR이다.

[0067] 이를 최적화 문제(Convex optimization)로 풀기 위해 수식에 로그를 취하고, 변수의 치환과정을 거치면 아래 수학적 6과 같은 최종 수식을 도출할 수 있다.

수학식 6

$$\begin{aligned} \max_{v^{(i)}, i \in \{1, \dots, N\}} \quad & \sum_{i=1}^N \log \mathcal{Q} \left(a^{(i)} \left((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(i)}) - \tilde{\gamma}^{(i)} \right) \right) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^N v^{(i)} = \log \overline{P}_f \end{aligned}$$

[0068]

[0069] 또한, 수학식 6에서 치환된 변수는 다음 수학식 7과 같다.

수학식 7

$$\begin{aligned} a^{(i)} &= \frac{1}{\sqrt{1 + \gamma^{(i)}}} \\ \tilde{\gamma}^{(i)} &= \frac{\gamma^{(i)} \sqrt{\tau B}}{2} \\ v^{(i)} &= \log P_f^{(i)} \\ (\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(i)}) &= \mathcal{Q}^{-1} \left(P_f^{(i)} \right) \end{aligned}$$

[0070]

[0071] 다음으로, 최적화 문제로 도출한 수학식 6을 풀기 위한 방법으로 라그랑지안 (Lagrangian) 또는 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건을 이용할 수 있다.

[0072] 우선, 라그랑지안을 이용하는 경우는 다음 수학식 8과 같은 수식을 얻을 수 있다.

수학식 8

$$L(v, \lambda) = \sum_{i=1}^N \log \mathcal{Q} \left(a^{(i)} \left((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(i)}) - \tilde{\gamma}^{(i)} \right) \right) + \lambda \left(\log \overline{P}_f - \sum_{i=1}^N v^{(i)} \right)$$

[0073]

[0074] 여기서 λ 는 라그랑지안 승수(Lagrangian multiplier) 이다.

[0075] 라그랑지안 수식을 미분을 취한 수식은 아래 수학식 9와 같다.

수학식 9

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial v^{(1)}} &= \frac{\mathcal{Q}'(a^{(1)}((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(1)}) - \tilde{\gamma}^{(1)})) \mathcal{Q}'((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(1)})) a^{(1)}}{\mathcal{Q}(a^{(1)}((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(1)}) - \tilde{\gamma}^{(1)})) \mathcal{Q}((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(1)}))} - \lambda = 0, \\ &\vdots \\ \frac{\partial L}{\partial v^{(N)}} &= \frac{\mathcal{Q}'(a^{(N)}((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(N)}) - \tilde{\gamma}^{(N)})) \mathcal{Q}'((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(N)})) a^{(N)}}{\mathcal{Q}(a^{(N)}((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(N)}) - \tilde{\gamma}^{(N)})) \mathcal{Q}((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{(N)}))} - \lambda = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= \log \overline{P_f} - \sum_{i=1}^N v^{(i)} = 0. \end{aligned}$$

[0076]

[0077] 위 수학식 9를 만족하는 $v^{(1)}, \dots, v^{(N)}, \lambda$ 값은 컴퓨터 프로그래밍을 통하여 반복(iteration) 수행 작업으로 얻을 수 있다. 이 값을 통하여 최적의 문턱값을 도출하고 나아가 주사용자 검출 확률을 최대화할 수 있게 된다.

[0078] KKT 조건을 이용할 경우도 라그랑지안 수식과 동일한 형태를 가지며, 다음 수학식 10과 같이 표현할 수 있다.

수학식 10

$$\begin{aligned} \frac{\mathcal{Q}'(a^{(i)}((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{*(i)}) - \tilde{\gamma}^{(i)})) \mathcal{Q}'((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{*(i)})) a^{(i)}}{\mathcal{Q}(a^{(i)}((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{*(i)}) - \tilde{\gamma}^{(i)})) \mathcal{Q}((\log \mathcal{Q})^{-1}(v^{*(i)}))} &= \lambda^*, \\ \log \overline{P_f} &= - \sum_{i=1}^N v^{*(i)}. \end{aligned}$$

[0079]

[0080] 마찬가지로 위 수학식 10을 만족하는 $v^{*(1)}, \dots, v^{*(N)}, \lambda^*$ 값은 컴퓨터 프로그래밍을 통하여 얻을 수 있으며 이 값을 통하여 주사용자 검출 확률을 최대화할 수 있다.

[0081] 이와 같은 방법으로 문턱값을 산출하였으면, 산출된 문턱값을 융합센터가 다시 해당 센싱 노드에 송신한다.

[0082] AND 기법과 마찬가지로 OR 기법을 사용할 때는 주사용자 검출 확률 및 오경보 확률은 아래 수학식 11과 같이 표현할 수 있다.

수학식 11

$$\begin{aligned} P_d &= 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_d^{(i)}) \\ P_f &= 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_f^{(i)}) \end{aligned}$$

[0083]

[0084] 여기서, 검출 확률 및 오경보 확률은 확률의 기본 성질에 의해서 $P_c = 1 - P_f, P_m = 1 - P_d$ 의 수학적식을 만족한다. P_c 는 올바른 거부(Correct rejection) 확률, P_m 은 미검출(Miss detection) 확률이며, 이를 활용하여 OR 기법의 미검출 확률 최소화(검출 확률 최대화)의 수식을 아래 수학적식 12와 같이 표현할 수 있다.

수학적식 12

$$\begin{aligned} \min_{\epsilon^{(i)}, i \in \{1, \dots, N\}} \quad & \prod_{i=1}^N P_m^{(i)} \\ \text{s.t.} \quad & \prod_{i=1}^N P_c^{(i)} = \overline{P_c} \end{aligned}$$

[0085]

[0086] OR 기법의 수학적식 12는 AND 기법의 수학적식 3과 비슷한 형태를 취하고 있으며, AND 기법의 문턱값 산출 방식과 동일한 절차를 이용하여 최적의 문턱값을 얻을 수 있다.

[0087] 다음으로, S503 단계에서 송신한 문턱값에 기초하여 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하는지 여부를 센싱 노드가 각각 판정한 센싱 결과를 융합센터가 수신한다. 소정 주파수 대역은 부사용자가 사용하고자 하는 목적 주파수 대역에 해당하고, 센싱 수행 이전에 그 대상이 미리 결정된다. 그럼, 각 센싱 노드는 수신한 문턱값 ϵ 을 기준으로 에너지 검출을 수행하여 목적 주파수 대역이 비어있는지 아니면 사용되고 있는지 판정한다. 즉 에너지가 ϵ 보다 크면 그 주파수 대역이 사용되고 있음을 나타내는 1을 그리고 ϵ 보다 작으면 사용하고 있지 않음을 나타내는 0을 판정한다. 이와 같이 본 발명의 실시예들은 경관정에 따라 0 또는 1의 one-bit 판정 결과를 수신한다.

[0088] S504 단계에서 융합센터가 센싱 노드의 센싱 결과를 반영하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단한다. 구체적으로 AND 규칙에 따라 모든 센싱 노드가 1로 판정한 경우에만 최종적으로 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하고 있다고 판단한다. 그렇지 않은 경우 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하고 있지 않다고 판단한다.

[0089] 마지막으로, S505 단계에서는 융합센터가 주사용자의 주파수 사용여부에 대한 판단 결과를 모든 부사용자에게 송신한다. 모든 부사용자가 협력 센싱에 참여하는 경우 센싱 노드와 동일하게 볼 수 있으나, 일부 부사용자만이 협력 센싱이 참여하는 경우 센싱 노드와 부사용자는 모두 일치하지 않을 수 있다. 이때 주사용자 검출의 판단 결과는 모든 부사용자가 알아야 하기 때문에 융합 센터는 모든 부사용자에게 상기 판단 결과를 송신한다. 송신하고 난 뒤에는 다시 협력 센싱의 주기에 따라 다음 센싱이 시작될 수 있다.

[0090] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 인지 무선 협력 센싱 방법을 도시한 흐름도로서, 센싱 노드를 기준으로 최적의 문턱값을 이용하여 협력 센싱을 수행하는 구체적인 방법을 설명하고 있다. 도 3 및 도 4에서 살펴본 바와 같이, 협력 센싱은 융합 센터와 센싱 노드의 상호작용에 의하여 이루어지는바, 설명하는 주제에 따라 다르게 설명되는 도 6의 각 단계는 도 5의 각 단계와 실질적으로 동일한 내용을 포함하고 있다. 따라서 구체적인 설명은 중복되어 기재하지 않고, 대응관계를 중심으로 설명한다.

[0091] S501 단계와 대응하여 하나 이상의 부사용자 중에서 센싱에 참여하는 센싱 노드가 주사용자에 대한 신호대잡음비(SNR)을 측정하고(S601 단계), 하나 이상의 측정값에 대한 평균 SNR을 융합 센터에 송신한다(S602 단계).

[0092] S502 단계에서 융합 센터가 PU 검출 확률 최대화 수식을 최대화 문제로 치환하여 산출한 문턱값을 송신하면, 센싱 노드가 SNR에 따라 산출된 문턱값을 수신하게 된다(S603 단계).

[0093] S503 단계와 대응하여 센싱 노드가 수신한 자신의 문턱값을 이용하여 주사용자를 센싱하여 소정 주파수를 사용하는지 여부를 판정하고(S604 단계), 판정 결과를 융합센터로 송신한다(S605 단계).

[0094] 상기 센싱 노드의 역할이 끝나면, 도 6에 미도시하였으나 S504 단계에서 융합 센터는 센싱 노드가 전달한 판정 결과를 이용하여 최종적으로 주사용자 검출을 수행하고, S505 단계에서 그 결과를 모든 부사용자에게 송신한다.

- [0095] 한편, 본 발명의 실시예로서 주사용자 SNR에 따른 최적 문턱값을 이용하여 협력적 센싱을 수행하는 융합 센터 및 센싱 노드가 있다. 도 7은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 협력 센싱을 수행하는 융합 센터의 블록도이고, 도 8은 센싱 노드의 블록도이다.
- [0096] 도 7의 융합 센터(30)는 네트워크를 통해 부사용자와 통신하는 통신부(31), 수신한 SNR에 따른 센싱 노드에 대한 최적의 문턱값을 산출하는 문턱값 산출부(32) 및 모든 센싱 노드로부터 수신한 판정 결과를 취합하여 최종적으로 주사용자 검출을 수행하는 판단부(33)를 포함한다. 그리고 도 8의 센싱 노드(20)는 네트워크를 통해 주사용자 또는 융합센터와 통신하는 통신부(21), 목적 주파수 대역의 우선권을 가진 주사용자에 대하여 SNR을 측정하는 SNR 측정부(22), SNR에 따른 문턱값을 기준으로 주사용자를 센싱하는 센싱부(23) 및 주사용자를 센싱하여 1차 판정을 하는 판정부(24)를 포함한다.
- [0097] 두 통신부(31, 21)은 무선 통신을 이용하여 다른 기기와 통신할 수 있다. 하나 이상의 부사용자 중 센싱에 참여하는 센싱 노드와 융합 센터가 협력 센싱에 필요한 정보를 송수신하는데, 여기서 필요한 정보는 센싱 노드가 측정한 SNR 평균값, 1차 판정 결과 신호, 융합센터가 SNR에 따라 산출된 문턱값, 최종 주사용자 검출 결과 신호를 포함한다.
- [0098] SNR 측정부(22)는 도 6의 S601 단계와 대응되는 구성으로 대상 PU에 대한 SNR을 측정하고, 문턱값 산출부(32)는 이 SNR 값에 따라 최적의 문턱값을 산출한다. 그 구체적인 방법은 도 5의 S502 단계에서 설명한 바와 같다. 각 센싱 노드마다 상이하게 측정된 SNR에 따라 융합 센터가 문턱값을 산출하여 송신하면 각 센싱 노드의 센싱부(23)는 문턱값을 기준으로 주사용자를 센싱하여 경판정 기법에 의하여 판정부(24)가 1차적으로 주사용자 출현 여부를 판정하게 된다.
- [0099] 센싱 노드가 판정한 결과를 융합센터에 송신하면, 융합센터의 판단부(33)는 최종적으로 AND 규칙에 따라 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하고 있는지 판단한다.
- [0100] 도 9a 내지 도 9c는 두 개의 문턱값에 대한 단일 센싱, 동일한 문턱값을 가지는 협력 센싱 및 본 발명의 실시예에 따른 협력센싱(도 9a는 협력센싱에 참여한 센싱 노드의 수가 2개인 경우, 도 9b는 4개인 경우, 도 9c는 7개인 경우)의 성능을 비교한 수신자 조작 특성(Receiver Operating Characteristic, 이하 ROC) 그래프이다. 모두 KKT 조건으로부터 최적 문턱값을 도출한 것을 사용하였고, 최종 오검출 확률(P_f)은 0.1%~10% 범위로 한정된 실시예의 결과 그래프이다. 최종 오경보 확률(P_f)의 변화에 따라서 달성 가능한 최종 미검출 확률(P_m)을 도식화 하였으며, 확률의 기본적인 성질에 의하여 미검출 확률(P_m)이 낮으면 높은 검출 확률(P_d)을 얻을 수 있다($P_d + P_m = 1$).
- [0101] 도 9a는 센싱 노드의 수가 2개인 경우의 결과 그래프이다. 별 점선(A single node sensing with -13 dB)은 -13 dB의 문턱값을 가지고 단일 노드가 센싱한 결과에 해당하고, 사각형 점선(A single node sensing with -10 dB)은 -10 dB의 문턱값을 가지고 단일 노드가 센싱한 결과에 해당한다. 문턱값이 상이한 두 단일 센싱만 놓고 비교하였을 경우에도 검출 확률의 결과가 상이함을 알 수 있다. 이는 두 센싱 노드가 서로 다른 PU SNR을 가지기 때문이다.
- [0102] 한편, 다이아몬드 점선(Cooperative sensing with equal threshold)은 동일한 문턱값을 사용하여 협력 센싱을 수행한 결과에 해당하고, 원 점선(Cooperative sensing with optimal threshold)은 본 발명의 실시예에 따라 각 센싱노드마다 최적의 문턱값을 달리 적용하여 협력 센싱을 수행한 결과에 해당한다. 협력 센싱의 두 점선을 비교하면, 최종 P_f 가 1%인 경우 P_m 은 동일한 문턱값을 사용한 경우 40%에 비해 최적 문턱값을 적용한 경우 5%로 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.
- [0103] 나아가 본 발명의 실시예에 따라 협력 센싱을 수행한 결과가 동일한 문턱값을 적용하여 협력 센싱하는 것보다 우수함은 물론이고, 단일 센싱 노드의 검출 능력보다도 우수함을 확인할 수 있다.
- [0104] 도 9b는 센싱 노드의 수가 4개이고, 각 센싱 노드의 PU SNR이 -10, -11, -12, -13 dB인 경우의 결과 그래프이다. 최종 P_f 가 1 %인 경우, P_m 은 동일한 문턱값을 적용한 경우(Cooperative sensing with equal threshold) 20 % 에 비해 본 발명의 실시예에 따라 최적 문턱값을 적용한 경우(Cooperative sensing with optimal threshold) 2.5 % 로 역시 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.
- [0105] 도 9c는 센싱 노드의 수가 7개이고, 각 센싱 노드의 PU SNR이 -10, -11, -12, -13, -14, -15, -16 dB인 경우의 결과 그래프이다. 최종 P_f 가 1 %인 경우, P_m 은 동일한 문턱값을 적용한 경우(Cooperative sensing with equal

threshold) 30 % 에 비해 본 발명의 실시예에 따라 최적 문턱값을 적용한 경우(Cooperative sensing with optimal threshold) 2 % 로 역시 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.

[0106] 도 9a 내지 도 9c의 그래프를 전체적으로 살펴보면, 센싱 노드의 수가 증가되어 감에 따라 본 발명의 실시예에 따른 센싱 성능이 더 향상되는 것을 알 수 있다. 따라서 수많은 노드가 참여하는 협력 센싱에서 각 해당 노드마다 SNR 에 따른 최적의 문턱값을 설정하는 본 발명의 실시예들이 효과적임을 알 수 있다.

[0107] 본 발명을 설명하기 위한 실시예에서는 인지 무선 통신 환경에서 AND 기법을 사용하는 경우에 대하여, PU 검출 확률을 최대화하고자 협력적 센싱에 참여하는 센싱 노드들이 겪은 PU SNR이 서로 다른 값을 가지는 경우에 대해 고려하였다. PU SNR이 서로 다른 값을 가질 경우 해당 PU SNR에 적합한 최적의 문턱값이 필요하고, 그 최적의 문턱값을 가질 경우 궁극적으로 PU 검출 확률을 최대화할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 다시 말해 서로 다른 수신 SNR을 가지는 센싱노드들이 있을 때, 경관정의 AND 기법에서 최적의 임계값을 찾는 방법을 구체적인 수학적식을 이용하여 제안하였다.

[0108] 나아가, 본 발명은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다.

[0109] 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현하는 것을 포함한다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다. 그리고 본 발명을 구현하기 위한 기능적인(functional) 프로그램, 코드 및 코드 세그먼트들은 본 발명이 속하는 기술 분야의 프로그래머들에 의하여 용이하게 추론될 수 있다.

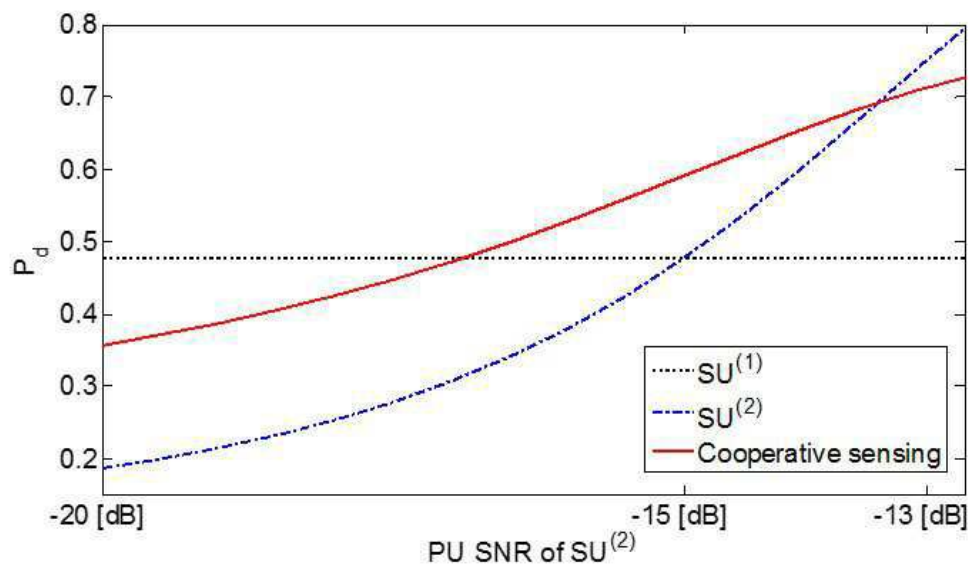
[0110] 이상에서 본 발명에 대하여 그 다양한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명에 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

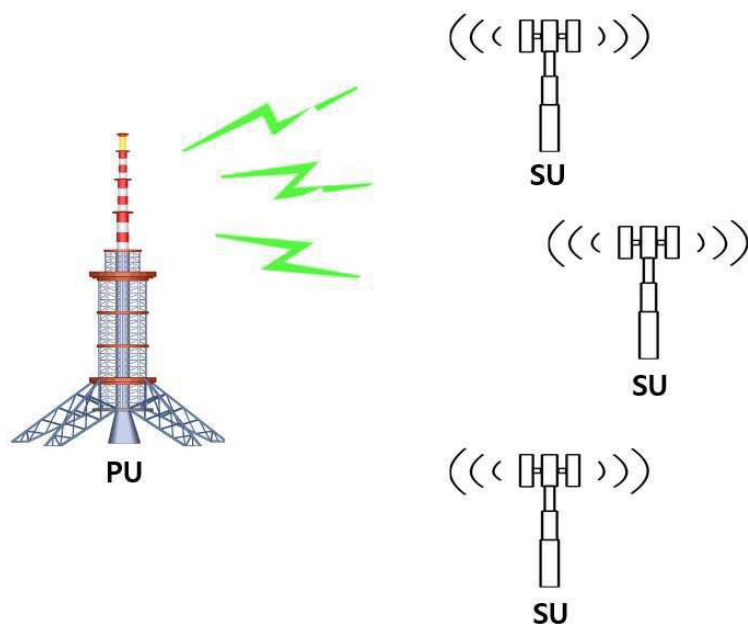
[0111] 10: PU
20: SU 21: 통신부
22: SNR 측정부 23: 센싱부
24: 판단부
30: 융합센터 31: 통신부
32: 문턱값 산출부 33: 판단부

도면

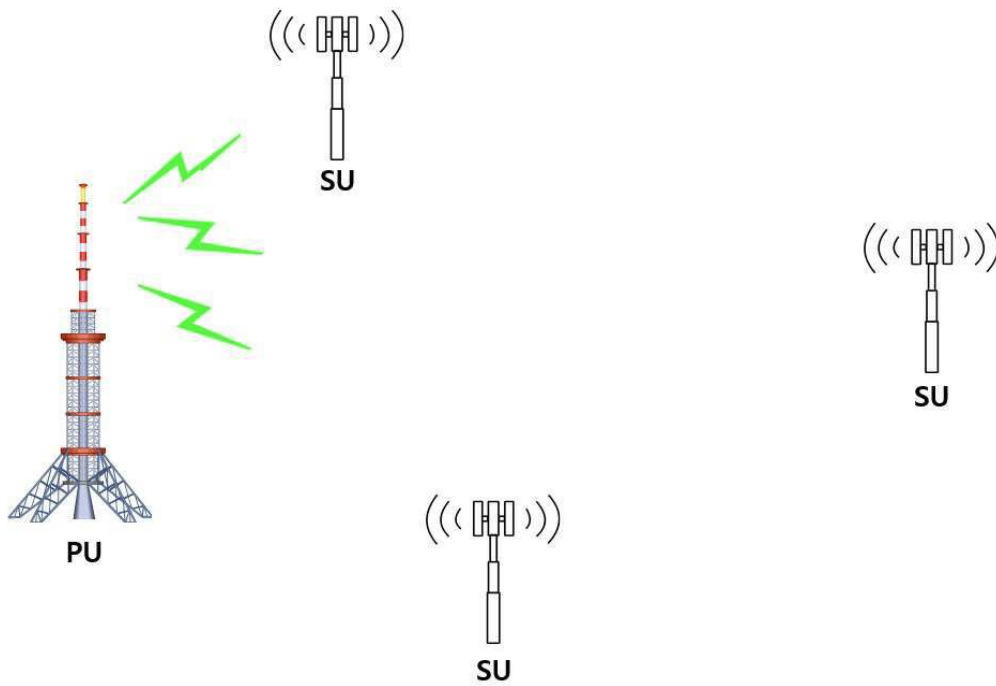
도면1



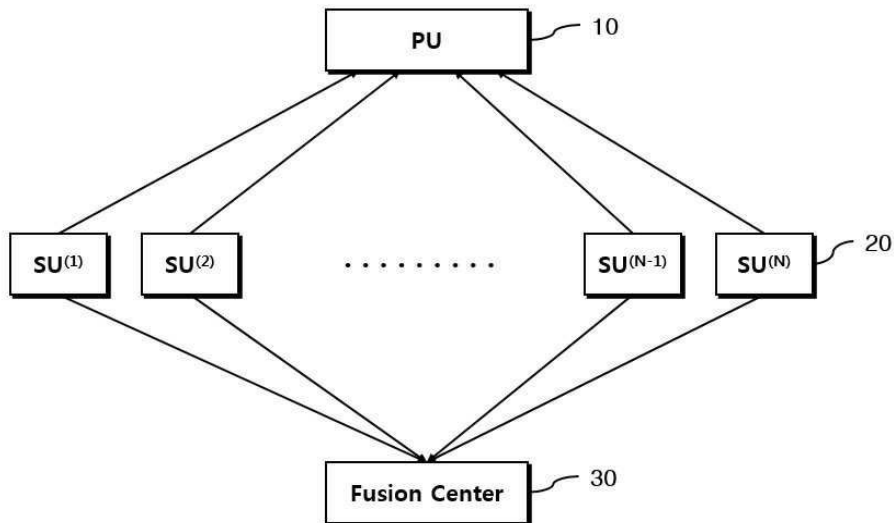
도면2a



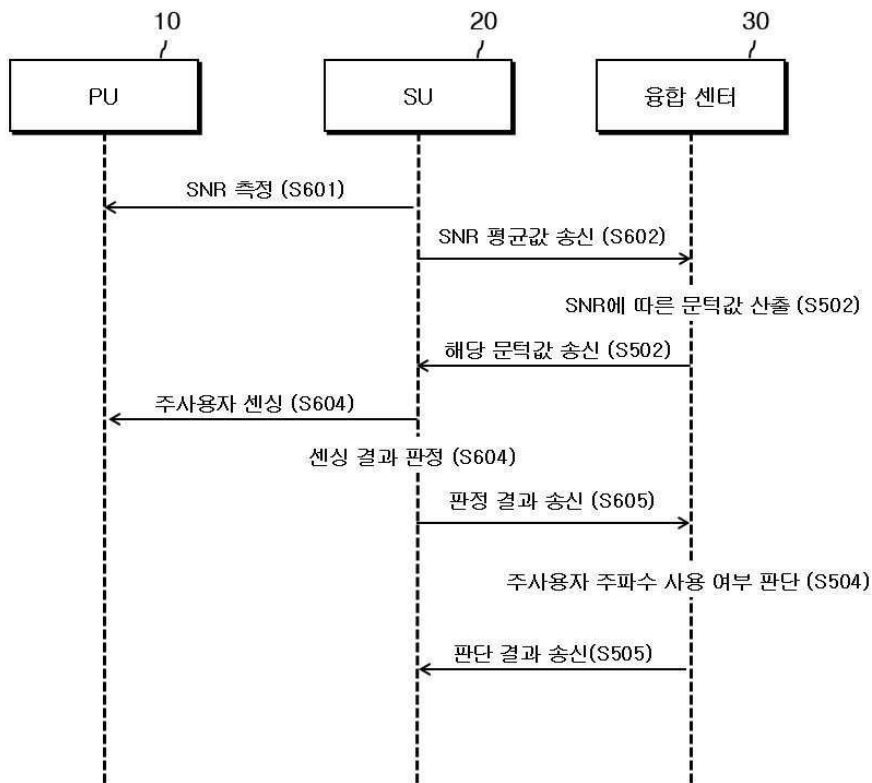
도면2b



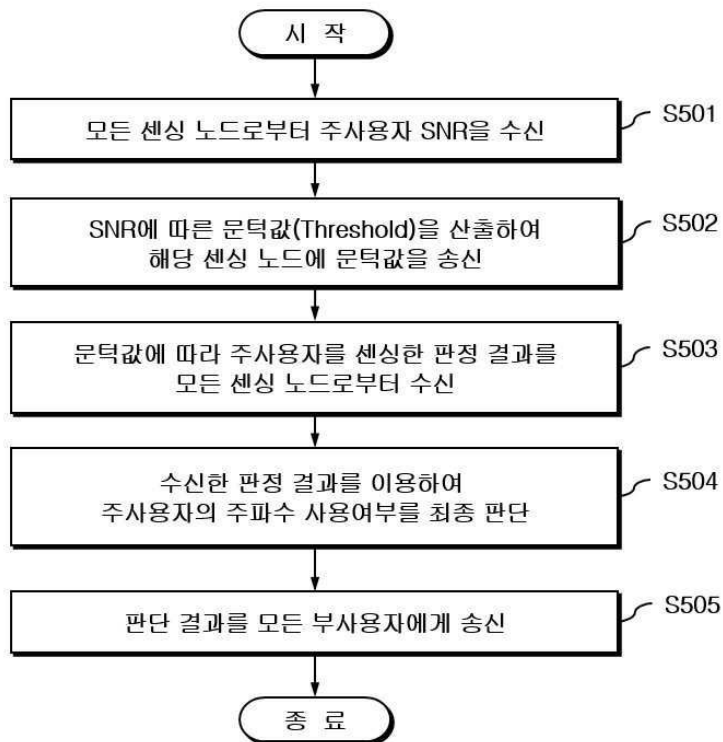
도면3



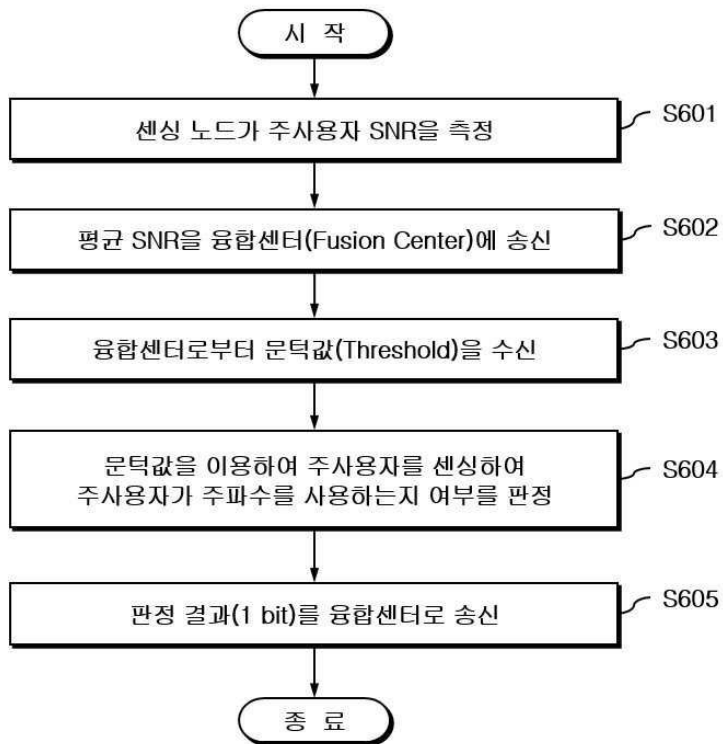
도면4



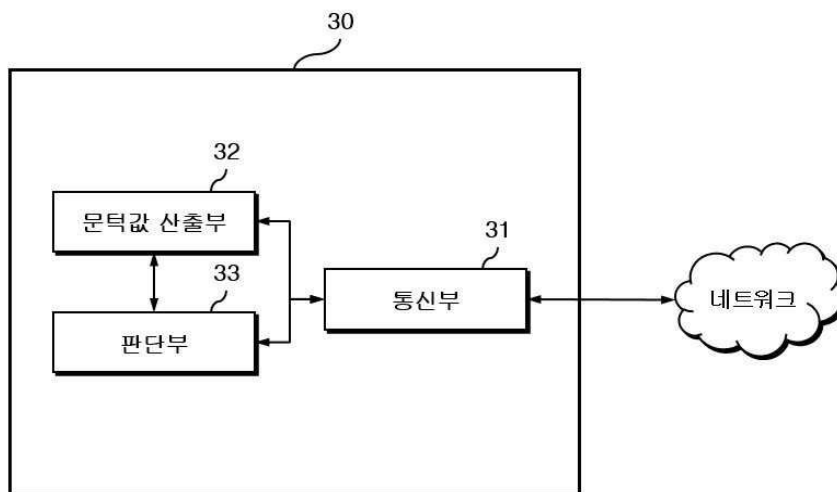
도면5



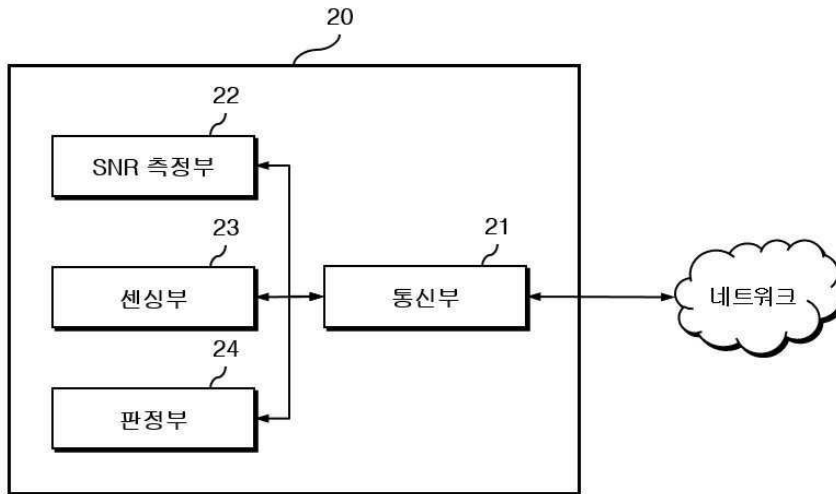
도면6



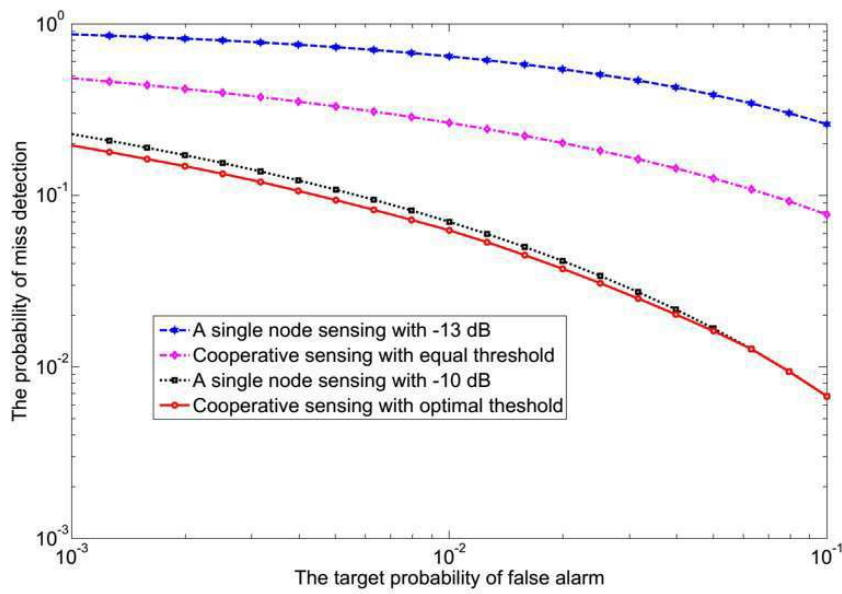
도면7



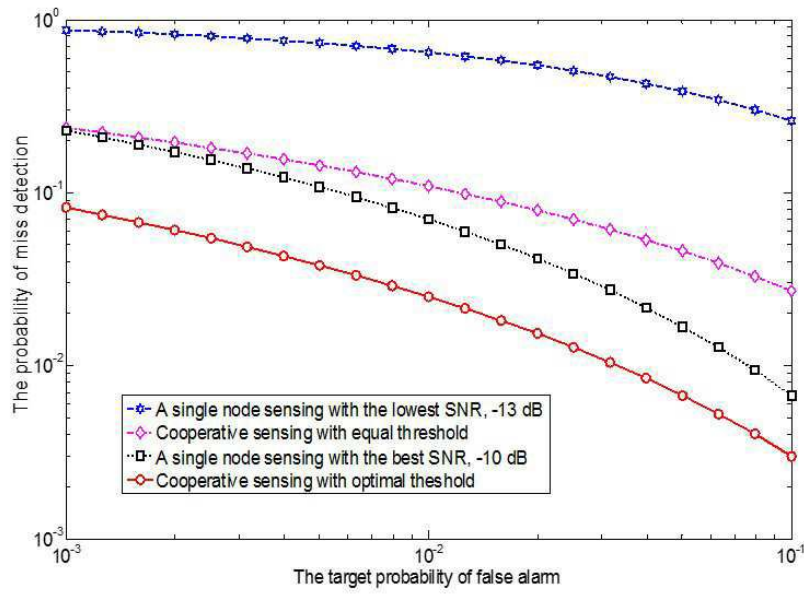
도면8



도면9a



도면9b



도면9c

