



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년02월26일

(11) 등록번호 10-1595926

(24) 등록일자 2016년02월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04W 16/14 (2009.01) H04W 16/10 (2009.01)

(21) 출원번호 10-2014-0166132

(22) 출원일자 2014년11월26일

심사청구일자 2014년11월26일

(56) 선행기술조사문헌

Hano Wang et al., 'Advanced sensing techniques of energy detection in cognitive radions' KICS, Vol.12, No.1

Shanmim Hossain et al., 'Hard combination data fusion for cooperative spectrum sensing in cognitive radio', IJCE Vol.2, No.6

Sunghwan Bae et al., 'Unlimited cooperative sensing with energy detection for cognitive radio', Journal of communications and networks vol.16, No.2

최로미 외 1명, '인지 무선 네트워크에서 보고 오류를 고려한 OR 규칙기반의 협력 스펙트럼 센싱 기법', 한국통신학회 논문지 Vol.39A, No.01

(73) 특허권자

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 14 항

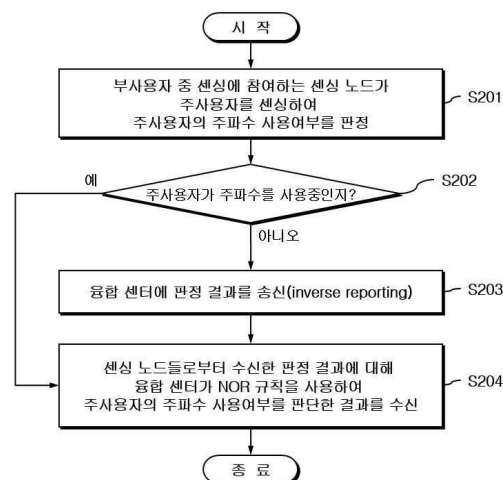
심사관 : 고연화

(54) 발명의 명칭 인지무선 통신에서 iNOR 규칙을 이용하여 피드백 오버헤드를 최소화하는 협력 센싱 방법 및 그 장치

(57) 요약

본 발명은 인지 무선 통신을 위한 협력적 센싱에서 피드백 오버헤드를 최소화하기 위해 iNOR 규칙을 이용하여 협력 센싱을 수행하는 방법으로, 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드가 주사용자(Primary User; PU)를 센싱하여 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하는지 여부를 1차 판정하고, 판정 결과 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하고 있는 경우 융합 센터에 판정 결과를 송신하지 않고 침묵(quiet)하며, 판정 결과 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는 경우에만 융합 센터에 판정 결과를 송신(inverse reporting)한 후, 하나 이상의 센싱 노드들로부터 수신한 판정 결과에 대하여 NOR 규칙을 사용하여 융합센터가 주사용자의 주파수 사용여부를 판단한 결과를 수신함으로써 iNOR 규칙에 따른 협력 센싱을 수행한다.

대표도 - 도2



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

하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드가 주사용자(Primary User; PU)를 센싱하여 상기 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하는지 여부를 판정하는 단계;

상기 판정 결과 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는 경우 상기 센싱 노드가 융합 센터에 판정 결과를 송신(inverse reporting)하는 단계; 및

하나 이상의 센싱 노드들로부터 수신한 판정 결과에 대하여 상기 센싱 노드들로부터 판정 신호를 수신하지 못한 경우에 주사용자가 해당 주파수를 사용하고 있는 것으로 판단하는 NOR 규칙을 사용하여 융합센터가 주사용자의 주파수 사용여부를 판단한 결과를 상기 센싱노드가 수신하는 단계;를 포함하는 인지무선(cognitive radio; CR)에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱(cooperative sensing) 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 판정 결과 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하고 있는 경우 융합 센터에 판정 결과를 송신하지 않고 침묵(quiet)하는 것을 특징으로 하는 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 센싱 노드는 독립 동일 분포(independent and identically distributed, IID)를 따라 각 센싱 노드들이 독립적이고, 동일한 확률분포를 가지는 것을 특징으로 하는 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하는지 여부를 판정하는 단계는

융합센터에 센싱에 참여하고자 하는 의사정보 신호를 송신하는 단계;

상기 융합센터로부터 문턱값을 수신하는 단계; 및

상기 문턱값을 이용하여 주사용자를 센싱하고, 센싱 결과에 따라 주파수 사용여부를 판정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 문턱값은 모든 센싱 노드들이 동일한 문턱값을 수신하는 것을 특징으로 하는 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 융합 센터에 판정 결과를 송신하는 단계는

경판정(Hard Decision)의 융합 기법을 적용하여 1 비트(one-bit)의 판정 신호를 송신하는 것을 특징으로 하는 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법.

청구항 7

융합 센터가 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드로부터 센싱 주기에 따른 소정 시간 이내에 주사용자(Primary User; PU)를 센싱한 판정 신호를 수신하는 단계;

상기 융합 센터가 상기 소정 시간 이내에 판정 신호를 수신하였는지에 따라 모든 센싱 노드들의 판정 결과를 분석하는 단계;

상기 융합 센터가 상기 모든 센싱 노드들의 판정 결과에 대하여 상기 모든 센싱 노드로부터 판정 신호를 수신하지 못한 경우에 주사용자가 해당 주파수를 사용하고 있는 것으로 판단하는 NOR 규칙을 사용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 단계; 및

상기 융합 센터가 상기 판단 결과를 모든 부사용자에게 송신하는 단계;를 포함하는 인지무선(cognitive radio; CR)에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱(cooperative sensing) 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 판정 신호를 수신하는 단계는

상기 센싱 노드가 주사용자를 센싱한 결과, 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는다고 판정할 때 상기 센싱 노드가 송신한 판정 신호인 것을 특징으로 하는 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 판정 신호를 수신하는 단계는

경판정(Hard Decision)의 융합 기법을 적용하여 상기 센싱 노드의 판정 신호로 1-비트(one-bit) 정보를 수신하는 것을 특징으로 하는 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 판정 결과를 분석하는 단계는

상기 소정 시간 내 판정 신호를 수신한 경우 해당 센싱 노드가 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는다고 판정한 것으로 간주하고, 상기 소정 시간 내 판정 신호를 수신하지 못한 경우 해당 센싱 노드가 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용한다고 판정한 것으로 간주하는 것을 특징으로 하는 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

제 7 항에 있어서,

상기 센싱 노드는 독립 동일 분포(independent and identically distributed, IID)를 따라 각 센싱 노드들이 독립적이고, 동일한 확률분포를 가지며, 동일한 문턱값을 기준으로 센싱을 수행하는 것을 특징으로 하는 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법.

청구항 13

제 1 항 내지 제 10 항, 제 12 항 중에 어느 한 항의 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

청구항 14

인지무선 통신의 협력 센싱을 수행하는 센싱 노드에 있어서,

융합센터로부터 문턱값을 수신하고, 처리부에 의해 결정된 판정 신호를 송신하며 상기 융합센터가 모든 센싱 노드들로부터 수신한 판정 결과에 대하여 상기 모든 센싱 노드들로부터 판정 신호를 수신하지 못한 경우에 주사용자가 해당 주파수를 사용하고 있는 것으로 판단하는 NOR 규칙을 사용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단한 결과를 수신하는 통신부; 및

상기 융합센터로부터 수신한 문턱값을 기준으로 센싱 주기에 따른 소정 시간 내 주사용자를 센싱하여, 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는 경우에만 상기 융합 센터에 송신할 판정 신호(inverse reporting)를 생성하는 처리부;를 포함하는 iNOR 규칙을 따른 센싱 노드.

청구항 15

인지무선 통신의 협력 센싱을 수행하는 융합 센터에 있어서,

하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드로부터 센싱 주기에 따른 소정 시간 이내에 주사용자(Primary User; PU)를 센싱한 판정 신호를 수신하고, 주사용자의 주파수 사용여부에 대한 판단 결과를 모든 부사용자에게 송신하는 통신부; 및

모든 센싱 노드들의 판정 신호에 대하여 상기 모든 센싱 노드들로부터 판정 신호를 수신하지 못한 경우에 주사용자가 해당 주파수를 사용하고 있는 것으로 판단하는 NOR 규칙을 사용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 처리부;를 포함하는 iNOR 규칙을 따른 융합 센터.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 인지 무선 통신에 관한 것으로, 특히 인지 무선 통신을 위한 협력적 센싱에서 피드백 오버헤드를 최소화하기 위해 iNOR 규칙을 이용하여 협력 센싱을 수행하는 방법, 그 방법에 따른 기록매체, 및 그 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[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, 섀도우 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. 연판정의 경우 CR 부사용자들이

융합센터에 보내는 정보의 양이 많기 때문에 주파수 효율 측면에서 경관정 협력 센싱이 일반적으로 사용된다. 그러나, 경관정 협력 센싱의 경우라도 융합센터가 AND 규칙(모든 부사용자의 판정 결과가 1인 경우에만 주사용자가 주파수를 사용하고 있다고 판단하는 방법)에 의해 최종 판단을 하게 되면 부사용자의 수에 비례하여 CR 부사용자가 융합센터에 정보를 송신하는 피드백 오버헤드가 발생한다.

[0006] 이하에서 인용되는 선행기술문헌(특허문헌 1)은 피드백 오버헤드를 감소시키기 위한 것으로 무선 인지 시스템에서 협력 스펙트럼 센싱 방법 및 그 장치에 관한 기술을 소개하고 있다. 부사용자의 채널 상태 및 요구되는 센싱 성능에 따라 협력 센싱에 참여하는 부사용자 수를 적응적으로 변화시킴으로써, 정보 교환에 소요되는 시그널링 부담(signaling overhead)을 줄인다. 그러나 이 경우 다수의 부사용자가 센싱에 참여하여 센싱의 정확도 및 성능을 높인다는 협력 센싱의 기본 목적에 반한다는 문제점을 가진다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2011-0060455호 2011.06.08 공개.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 협력 센싱에 참여하는 센싱 노드의 수가 증가함에 따라 센싱 노드가 융합센터에 전달하는 정보의 양도 함께 증가하는 피드백 오버헤드의 문제점을 해결하는 것이다. 또한, 피드백 오버헤드를 감소시키면서도 센싱 노드의 참여 자체를 제한하지 않고, 협력 센싱의 성능을 유지할 수 있는 수단을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기된 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예에 따른 인지무선(cognitive radio; CR)에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱(cooperative sensing) 방법은 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드가 주사용자(Primary User; PU)를 센싱하여 상기 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하는지 여부를 판정하는 단계; 상기 판정 결과 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는 경우 상기 센싱 노드가 융합 센터에 판정 결과를 송신(inverse reporting)하는 단계; 및 하나 이상의 센싱 노드들로부터 수신한 판정 결과에 대하여 NOR 규칙을 사용하여 융합센터가 주사용자의 주파수 사용여부를 판단한 결과를 상기 센싱노드가 수신하는 단계;를 포함한다.

[0010] 일 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법에서 상기 판정 결과 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하고 있는 경우 상기 센싱 노드가 상기 융합 센터에 판정 결과를 송신하지 않고 침묵(quiet)한다.

[0011] 일 실시예에 따른 인지무선 협력 센싱 방법에서 상기 센싱 노드는 독립 동일 분포(independent and identically distributed, IID)를 따라 각 센싱 노드들이 독립적이고, 동일한 확률분포를 가진다.

[0012] 일 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법에서 상기 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하는지 여부를 판정하는 단계는 융합센터에 센싱에 참여하고자 하는 의사정보 신호를 송신하는 단계; 상기 융합센터로부터 문턱값을 수신하는 단계; 및 상기 문턱값을 이용하여 주사용자를 센싱하고, 센싱 결과에 따라 주파수 사용여부를 판정하는 단계;를 포함한다.

[0013] 상기된 실시예에서 문턱값은 모든 센싱 노드들이 동일한 문턱값을 수신하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0014] 일 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법에서 상기 융합 센터에 판정 결과를 송신하는 단계는 경관정(Hard Decision)의 융합 기법을 적용하여 1 비트(one-bit)의 판정 신호를 송신한다.

[0015] 상기된 기술적 과제를 해결하기 위해 본 발명의 다른 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법은 융합 센터가 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드로부터 센싱 주기에 따른 소정 시간 이내에 주사용자(Primary User; PU)를 센싱한 판정 신호를 수신하는 단계; 상기 융합 센터가 상기 소정 시간 이내에 판정 신호를 수신하였는지에 따라 모든 센싱 노드들의 판정 결과를 분석하는 단계; 상기

융합 센터가 상기 모든 센싱 노드들의 판정 결과에 대하여 NOR 규칙을 사용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 단계; 및 상기 융합 센터가 상기 판단 결과를 모든 부사용자에게 송신하는 단계;를 포함한다.

- [0016] 다른 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법에서 상기 판정 신호를 수신하는 단계는 상기 센싱 노드가 주사용자를 센싱한 결과, 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는다고 판정할 때 상기 판정 신호를 수신한다.
- [0017] 다른 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법에서 상기 판정 신호를 수신하는 단계는 상기 센싱 노드가 주사용자를 센싱한 결과, 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는다고 판정할 때 상기 센싱 노드가 송신한 판정 신호인 것을 특징으로 한다.
- [0018] 다른 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법에서 상기 판정 신호를 수신하는 단계는 경판정(Hard Decision)의 융합 기법을 적용하여 상기 센싱 노드의 판정 신호로 1-비트(one-bit) 정보를 수신한다.
- [0019] 다른 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법에서 상기 판정 결과를 분석하는 단계는 상기 소정 시간 내 판정 신호를 수신한 경우 해당 센싱 노드가 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는다고 판정한 것으로 간주하고, 상기 소정 시간 내 판정 신호를 수신하지 못한 경우 해당 센싱 노드가 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용한다고 판정한 것으로 간주하는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 다른 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법에서 상기 NOR 규칙은 모든 센싱 노드로부터 판정 신호를 수신하지 못한 경우에 주사용자가 해당 주파수를 사용하고 있는 것으로 판단할 수 있다.
- [0021] 다른 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법에서 상기 센싱 노드는 독립 동일 분포 (independent and identically distributed, IID)를 따라 각 센싱 노드들이 독립적이고, 동일한 확률분포를 가지며, 동일한 문턱값을 기준으로 센싱을 수행하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0022] 한편, 이하에서는 상기 기재된 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.
- [0023] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 인지무선 통신의 협력 센싱을 수행하는 iNOR 규칙을 따른 센싱 노드는 융합센터로부터 문턱값을 수신하고, 처리부에 의해 결정된 판정 신호를 송신하며 상기 융합센터가 모든 센싱 노드들로부터 수신한 판정 결과에 대하여 NOR 규칙을 사용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단한 결과를 수신하는 통신부; 및 상기 융합센터로부터 수신한 문턱값을 기준으로 센싱 주기에 따른 소정 시간 내 주사용자를 센싱하여, 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는 경우에만 상기 융합 센터에 송신할 판정 신호(inverse reporting)를 생성하는 처리부;를 포함한다.
- [0024] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 인지무선 통신의 협력 센싱을 수행하는 iNOR 규칙을 따른 융합 센터는 하나 이상의 부사용자(Secondary User; SU) 중 센싱에 참여하는 센싱 노드로부터 센싱 주기에 따른 소정 시간 이내에 주사용자(Primary User; PU)를 센싱한 판정 신호를 수신하고, 주사용자의 주파수 사용여부에 대한 판단 결과를 모든 부사용자에게 송신하는 통신부; 및 상기 모든 센싱 노드들의 판정 신호에 대하여 NOR 규칙을 사용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단하는 처리부;를 포함한다.

발명의 효과

- [0025] 본 발명의 실시예들은, 협력 센싱에 참여하는 센싱 노드의 수가 무한대로 증가하는 경우에도 센싱 노드가 융합 센터에 정보를 전달하는 피드백 양이 상수 값으로 수렴하는 효과를 가진다. 동시에 AND 규칙과 동일한 수준의 협력 센싱 성능을 유지하며, 모든 센싱 노드의 센싱 결과를 반영하여 최종적으로 융합센터가 주사용자 검출을 수행할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 인지무선 통신에서 주사용자, 부사용자 및 융합 센터의 상호관계를 도시한 개념도이다.
- 도 2는 센싱 노드를 기준으로 본 발명의 일 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법을 도시한 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예들에서 역 보고(inverse reporting)에 따른 NOR 규칙을 나타낸 표이다.
- 도 4는 정 보고(report)에 따른 AND 규칙을 나타낸 표이다.

도 5는 융합 센터를 기준으로 본 발명의 일 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법을 도시한 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따라 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 통신의 협력 센싱을 수행하는 센싱 노드의 구성을 나타낸 블록도이다.

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따라 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 통신의 협력 센싱을 수행하는 융합 센터의 구성을 나타낸 블록도이다.

도 8은 경관정의 협력 센싱에서 OR 규칙에 따른 협력 센싱 노드의 수와 리포팅 노드의 평균 수를 나타낸 그래프이다.

도 9는 경관정의 협력 센싱에서 AND 규칙에 따른 협력 센싱의 노드 수 또는 본 발명의 실시예들에 따른 iNOR 규칙에 따른 협력 센싱의 노드 수와 각각에 대한 리포팅 노드의 평균 수를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 본 발명에 관한 구체적인 내용의 설명에 앞서 이해의 편의를 위해 본 발명이 해결하고자 하는 과제의 해결 방안의 개요 혹은 기술적 사상의 핵심을 우선 제시한다.

[0028] 도 1은 인지무선 통신에서 주사용자(10), 부사용자(20) 및 융합센터(30)의 상호관계를 도시한 개념도이다.

[0029] 주사용자(Primary User; PU, 10)는 목적 채널 혹은 목적 주파수 대역에 대하여 우선권을 가지는 사용자를 의미한다. 주사용자(10)는 언제든지 자신이 우선권을 가지는 목적 주파수 대역을 사용할 수 있다. 부사용자(Secondary User; SU, 20)는 주사용자(10)가 목적 주파수 대역을 사용하지 않는 경우에만 해당 목적 주파수 대역을 사용할 수 있는 사용자를 의미한다. 부사용자(20)가 목적 주파수 대역을 사용하는 중이라도 주사용자(10)가 목적 주파수 대역을 사용하려고 하면 언제든지 부사용자(20)는 해당 목적 주파수 대역을 비워주어야 한다. 따라서 부사용자(20)는 항상 목적 주파수 대역에 대하여 주사용자(20)가 사용하고 있는지 여부를 확인해야 한다. 이를 '주사용자 센싱'이라고 한다. 주사용자(10) 센싱을 수행하는 측면에서 부사용자(20)를 센싱 노드라고 할 수 있다. 하지만, 모든 부사용자(20)가 센싱을 수행하는 것은 아니기 때문에 모든 부사용자(20)를 센싱 노드에 대응되지는 않는다. 반대로 모든 센싱 노드는 부사용자(20)에 포함된다. 따라서 본 발명의 실시예에서는 부사용자(20) 중 센싱을 수행하는 것을 센싱 노드라 말하고, 일반적으로 부사용자(20)라 함은 주사용자(10)의 목적 주파수 대역을 사용하고자 하는 것을 말한다. 한편, 협력 센싱이란 다수의 부사용자(20)가 협력하여 주사용자(10) 센싱을 수행하는 것을 말한다. 융합센터(30)는 부사용자(20)가 개별적으로 센싱한 결과를 공유하여 주사용자(10)의 목적 주파수 대역에 대한 사용여부를 판단한다. 도 1을 참조하면, N개의 부사용자(20)가 주사용자(10)를 1차 센싱하여, 센싱한 결과를 융합 센터(30)에 전송하면 최종적으로 융합 센터(30)가 주사용자(10)의 목적 주파수 사용여부를 판단한다.

[0030] 협력 스펙트럼 센싱에서 융합 센터가 주사용자의 주파수 사용여부에 대한 최종 판정을 내리는 방법은 센싱 노드가 주사용자 센싱을 수행한 모든 결과 정보를 융합 센터에 전송하는 연판정(Soft decision)과 센싱 노드가 주사용자 센싱을 수행하여 주사용자의 주파수 사용여부를 1차 판정한 결과만을 융합센터에 전송하여 융합센터가 최종 판단을 하는 경판정(Hard decision)이 있다. 일반적인 경판정 기법은 구체적으로 센싱 주기에 따라 주어진

센싱 시간 동안, 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하는 경우(PU presence)를 $\mathcal{H}_1$ 라 가정하고, 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하지 않는 경우(PU absence)를 $\mathcal{H}_0$ 라 가정할 때, $\mathcal{H}_1$ 에 해당하는 경우에 센싱 노드가 융합센터에 1 bit를 전송(reporting)하게 된다. 그러면, OR 규칙을 이용하는 융합 센터는 센싱 노드들 중 적어도 하나의 노드가 융합 센터에 주사용자가 존재한다($\mathcal{H}_1$)고 보고하는 경우에 주사용자가 존재한다고 결정한다. 그리고 AND 규칙을 이용하는 융합 센터는 모든 센싱 노드가 주사용자가 존재한다($\mathcal{H}_1$)고 보고하는 경우에 주사용자가 존재한다고 결정한다.

[0031] 연판정 기법에 비하여 경판정 기법이 정보가 단순하고, 그 양이 작기 때문에 피드백(센싱 노드가 융합 센터에 전송하는 정보로 인하여 발생하는 부담) 부담을 줄일 수 있다는 측면에서 더 효율적이다.

[0032] 그러나 센싱 결과를 나타내는 정보의 양이 1 bit에 불과한 경판정의 경우라도 융합 센터에 센싱 결과(주사용자

판정 결과)를 전달하는 협력적 센싱 노드들의 개수에 따른 피드백 오버헤드의 양을 고려할 필요가 있다. 특히, OR 규칙과 AND 규칙과 같이 경관정을 이용하되 협력 센싱이 참여하는 센싱 노드 수의 제한이 없는 경우에 피드백 오버헤드가 발생할 가능성이 있다.

[0033] 경관정에서 주사용자 SNR에 관계없이 협력 센싱을 수행하는 전제하에서 OR 규칙에 따라 결과를 보고(reporting)하는 센싱 노드의 평균 개수는 센싱 노드의 수가 무한하게 증가하는 경우에도 유한 상수(finite value)로 수렴한다. 이때 유한 상수는 오버헤드라고 보지 않아도 될 정도의 값에 해당한다. 반면에 AND 규칙에 따르는 경우 센싱 노드의 수가 무한하게 증가한다면 그에 따른 피드백(reporting) 양이 센싱 노드의 수에 비례하여 무한정 증가하게 된다. 이 경우 피드백 오버헤드가 문제가 된다.

[0034] 본 발명은 이러한 문제를 해결하기 위해서, 인지무선에서 iNOR 규칙을 이용하여 피드백 오버헤드를 최소화하는 협력 센싱 방법을 제안한다. iNOR 규칙이란 센싱 노드가 $\mathcal{H}_1$ 일 때 판정 신호를 전송하는 것과 달리, 그와 반대로 $\mathcal{H}_0$ 일 때 융합센터에 판정 신호를 전달하며, 입력 신호가 하나라도 존재하는 경우는 0으로 입력 신호가 아무것도 존재하지 않는 경우는 1로 판단하는 NOR 연산에 따르는 것이다. 이하에서는 실시예들을 통해 본 발명을 보다 구체적이고 상세하게 설명하고자 한다.

[0035] 도 2는 센싱 노드를 기준으로 본 발명의 일 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법을 도시한 흐름도이다.

[0036] 먼저, S201 단계에서는 하나 이상의 부사용자 중 센싱에 참여하는 센싱 노드가 주사용자를 센싱하여 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하는지 여부를 판정한다. 상기 단계는 융합 센터에 센싱에 참여하고자 하는 의사정보 신호를 송신하고, 융합센터로부터 문턱값을 수신하여 해당 문턱값을 이용하여 주사용자를 센싱할 수 있다. 각 센싱 노드가 해당 주파수 대역이 비어있는지 사용되고 있는지를 판정하는 것은 에너지 검출시의 문턱값 ε 을 기준으로 결정된다. 에너지가 ε 보다 크면 그 주파수 대역이 사용되고 있음을 나타내는 $\mathcal{H}_1$ 로 판정하고, ε 보다 작으면 사용하고 있지 않음을 나타내는 $\mathcal{H}_0$ 으로 판정한다. 문턱값은 융합센터가 센싱에 참여하는 노드들의 수에 따라 결정할 수 있고, 모든 센싱 노드들이 동일한 문턱값을 수신받는다. 만약 각 부사용자마다 PU SNR이 상이한 경우 PU SNR에 따른 문턱값을 수신하여 센싱을 수행할 수도 있을 것이다.

[0037] 한편, 각 센싱 노드들은 독립 동일 분포(independent and identically distributed, IID)를 따르며, 이것은 각 센싱 노드들이 서로 독립적이고, 동일한 확률분포를 가지는 것을 말한다.

[0038] S202 단계에서의 판정 결과, 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하고 있는 경우($\mathcal{H}_1$) S204 단계로 진행한다. 이것은 융합 센터에 판정 결과를 송신하지 않고 침묵(quiet)하는 것을 의미한다.

[0039] S202 단계에서의 판정 결과, 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는 경우($\mathcal{H}_0$) S203 단계로 진행한다. S203 단계에서는 센싱 노드가 융합 센터에 판정 결과를 송신(inverse reporting)한다. 경관정 기법에 따라 센싱 노드가 1차 판정할 결과로 1 bit 신호를 송신한다. 기존의 경관정 기법은 주사용자를 검출한 때($\mathcal{H}_1$)에만 융합 센터에 판정 정보로서 1을 송신하지만, 본 발명에서는 반대로 주사용자를 검출하지 못한 경우($\mathcal{H}_0$)에 판정 정보로 1을 송신하며, 이를 역 보고(inverse reporting)이라고 명명한다.

[0040] 주사용자 센싱과 판정 신호를 송신하는 것은 센싱 주기에 따른 센싱 시간 내에서 이루어진다. 따라서 융합센터는 소정 센싱 시간 내에 판정 신호를 수신하지 못한 경우 해당 센싱 노드의 주사용자 센싱 결과가 $\mathcal{H}_1$ 인 것으로 간주하게 된다.

[0041] S204 단계에서는 하나 이상의 센싱 노드들로부터 수신한 판정 결과에 대하여 NOR 규칙을 사용하여 융합센터가 주사용자의 주파수 사용여부를 판단한 결과를 수신한다. 주사용자의 주파수 사용여부에 대한 최종 판단은 융합센터가 하게 되므로, 협력 센싱에 참여하는 부사용자는 센싱 시간 내 판정 신호를 송신함으로써 최종 판단 결과를 유도하게 된다. 상기 단계에서 융합센터는 모든 센싱 노드들로부터 수신한 판정 결과에 NOR 규칙을

적용한다.

[0042] 도 3은 본 발명의 실시예들에서 역 보고(inverse reporting)에 따른 NOR 규칙(iNOR 규칙)을 나타낸 표이다. $SU^{(1)}$ 과 $SU^{(2)}$ 는 센싱 노드를 나타내고, 표의 내용과 같이 판정 신호를 송신하면 융합센터는 NOR 연산에 따라 모든 센싱 노드가 0일 때(침묵)에만 1로 판단하고, 어떤 센싱 노드라도 1인 경우(신호 전송)에는 0으로 판단한다. 표에서는 간단한 설명을 위해 2개의 센싱 노드에 대하여 기재했으나, 센싱 노드의 수가 증가하여도 도 3의 규칙을 확장시켜 적용하며, 즉 모든 센싱 노드가 0일 때에만 1로 판단한다.

[0043] 도 4는 정 보고(report)에 따른 AND 규칙을 나타낸 표로서, 도 3의 NOR 규칙과 비교하면 연산의 결과는 동일하다. 그러므로 동일한 상황이라면 AND 규칙에 의해 융합센터가 최종 판단을 하는 것과 본 발명의 실시예에 따라 iNOR 규칙에 의해 융합센터가 최종 판단하는 것은 동일한 결과를 가져온다. 이것은 AND 규칙과 같이 모든 센싱 노드의 센싱 결과를 고려한다는 것을 의미한다. 그러나 도 3과 달리 $\mathcal{H}_1$ 일 때 융합센터에 판정 신호를 송신하고, $\mathcal{H}_0$ 일 때에는 판정 신호를 송신하지 않는다. 또한, 모든 신호가 1일 때에만 1로 판단한다. 본 발명의 실시예와 정 반대로 연산한다. 이러한 특징이 후술할 정보고에 따른 AND 규칙을 적용하는 협력 센싱 방법과 iNOR 규칙을 적용하는 협력 센싱 방법에 대한 효과의 비교에서 피드백 차이를 발생시키는 기술적 구성에 해당한다.

[0044] 센싱 노드가 상기 단계에서 융합 센터로부터 최종 판단 결과를 수신함으로써 그 결과에 따라 해당 주파수 대역을 사용할 수 있는지 여부를 알게 된다. 그리고 센싱 주기에 따라 다음 센싱을 수행하게 되고, 다시 융합 센터로부터 최종 판단 결과를 수신하게 되는 것이다.

[0045] 도 5는 융합 센터를 기준으로 본 발명의 일 실시예에 따른 인지무선에서 iNOR 규칙을 따른 협력 센싱 방법을 도시한 흐름도이다. 본 발명의 실시예들은 부사용자인 센싱 노드와 융합센터의 상호작용에 의해 협력 센싱이 완성되는바, 도 2는 센싱 노드를 기준으로 도 5는 융합 센터를 기준으로 그 협력 센싱 과정을 설명한다. 따라서 도 5의 각 단계는 도 2의 세부 단계와 실질적인 내용이 동일하되 주체가 달라짐에 따라 상호작용이 다르게 표현된다. 그러므로 중복되는 내용은 기재하지 않고 대응관계를 중심으로 설명한다.

[0046] S501 단계는 융합 센터가 하나 이상의 부사용자 중 센싱에 참여하는 센싱 노드로부터 센싱 주기에 따른 소정 시간 이내에 주사용자를 센싱한 판정 신호를 수신한다. 센싱 노드는 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하고 있지 않다고 판정한 경우 $\mathcal{H}_0$ 에 융합 센터에 판정 신호(1 bit)를 송신한다. 도 2의 S201, S202 및 S203 단계를 포함한다.

[0047] S502 단계에서는 소정 시간 이내에 판정 신호를 수신하였는지에 따라 모든 센싱 노드들의 판정 결과를 분석한다. 센싱에 참여하는 모든 노드로부터 판정 신호가 수신되었는지 여부를 확인하여, 판정 신호가 수신된 경우 해당 센싱 노드는 $\mathcal{H}_0$ 인 판정 결과를 가진다고 간주한다. 소정 시간 내에 판정 신호가 수신되지 않았으나 협력 센싱에 참여한 노드의 경우는 $\mathcal{H}_1$ 인 판정 결과를 가진다고 간주한다. 모든 센싱 노드들은 동시에 주사용자 센싱을 수행하여 그 결과에 따라 침묵하거나 판정 신호를 송신하기 때문에 판정 신호를 수신할 수 있는 시간은 제약을 가진다.

[0048] 모든 센싱 노드들의 판정 결과를 결정하면 이 단계가 종료된다. 상기 단계는 도 2의 S202 단계에 의해 다음 단계의 진행이 결정되는 것과 대응된다.

[0049] 다음으로 S503 단계에서는 모든 센싱 노드들의 판정 결과에 대하여 NOR 규칙을 사용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단한다. NOR 규칙은 도 3과 같다. 모든 센싱 노드로부터 판정 신호를 수신하지 못하여 S502 단계에서 모든 센싱 노드에게 $\mathcal{H}_1$ 인 판정 결과를 가진다고 볼 때 최종적으로 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하고 있다고 판단한다.

[0050] 판단이 끝나면 S504 단계에서 판단 결과를 모든 부사용자에게 송신한다. S503 단계와 S504 단계는 도 2의 S204 단계에 대응된다.

[0051] 한편, 본 발명은 장치 구성으로 실시할 수 있는바 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따라 인지무선 통신의 협력 센싱을 수행하는 iNOR 규칙을 따른 센싱 노드의 구성을 나타낸 블록도이고, 도 7은 iNOR 규칙을 따른 융합 센터

의 구성을 나타낸 블록도이다. 도 6은 센싱 노드의 각 구성은 도 2의 각 단계와 대응되고, 도 7의 융합센터의 각 구성은 도 5의 각 단계와 대응된다.

[0052] 도 6의 센싱 노드(20)는 네트워크와 연결되는 통신부(21)와 주사용자 센싱을 수행하는 처리부(22)를 포함한다. 통신부(21)는 도 2의 S203 단계 및 S204 단계를 포함하는 구성에 해당하고, 처리부(22)는 S201 단계 및 S202 단계를 포함하는 구성에 해당한다.

[0053] 통신부(21)는 융합센터로부터 문턱값을 수신하고, 처리부에 의해 결정된 판정 신호를 송신하며 융합센터가 모든 센싱 노드들로부터 수신한 판정 결과에 대하여 NOR 규칙을 사용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단한 결과를 수신한다.

[0054] 처리부(22)는 융합센터로부터 수신한 문턱값을 기준으로 센싱 주기에 따른 소정 시간 내 주사용자를 센싱하여, 주사용자가 소정 주파수 대역을 사용하지 않는 경우에만 융합 센터에 송신할 판정 신호(inverse reporting)를 생성한다.

[0055] 도 7의 융합 센터(30)는 네트워크와 연결되는 통신부(31)와 주사용자 주파수 사용여부를 판단하는 처리부(32)를 포함한다. 통신부(31)는 도 5의 S501 단계 및 S504 단계를 포함하는 구성이고, 처리부(32)는 S502 단계 및 S503 단계를 포함하는 구성이다.

[0056] 통신부(31)는 하나 이상의 부사용자 중 센싱에 참여하는 센싱 노드로부터 센싱 주기에 따른 소정 시간 이내에 주사용자를 센싱한 판정 신호를 수신하고, 주사용자의 주파수 사용여부에 대한 판단 결과를 모든 부사용자에게 송신한다.

[0057] 처리부(32)는 모든 센싱 노드들의 판정 신호에 대하여 NOR 규칙을 사용하여 주사용자의 주파수 사용여부를 판단한다.

[0058] 이하에서는 본 발명의 iNOR 규칙에 따른 실시예들에 따른 피드백 오버헤드의 최소화 효과를 명확히 확인하기 기존의 OR 규칙, AND 규칙과 비교하여 설명하고자 한다. 먼저, 센싱 노드의 판정 결과에 따른 정검출 확률(detection probability)과 오경보 확률(false alarm probability)을 수학식으로 정의한다.

[0059] 센싱 주기에 따라 주어진 센싱 시간 T 동안, 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용한다(PU presence)는 가정 $\mathcal{H}_1$ 및 주사용자가 목적 주파수 대역을 사용하지 않는다(PU absence)는 가정 $\mathcal{H}_0$ 에 따른 각 센싱 노드의 센싱 결과 $r(t)$ 는 아래 수학식 1과 같이 표현할 수 있다.

수학식 1

$$r(t) = \begin{cases} s(t) + n(t), & \text{under } \mathcal{H}_1, \\ n(t), & \text{under } \mathcal{H}_0. \end{cases}$$

[0061] 상기 $s(t)$ 는 PU 신호(signal)을 나타내고, 상기 $n(t)$ 는 잡음 전력(noise power)을 나타낸다. 여기서의 잡음은 일반적인 통신 채널에서 사용하는 가산성 백색 가우시안 잡음(Additive white Gaussian noise; AWGN)으로 잡음 전력의 양방향 스펙트럼 밀도(two-sided power spectral density)는 N_0 의 값을 가진다.

[0062] 에너지 검출에 대한 검정 통계(test statistic)는 아래 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$T = \frac{1}{N_0} \int_0^T r(t)^2 dt$$

[0064]

여기서 τ 는 전체 프레임 길이 L 에서 센싱 기간(주기)을 나타낸다. W 는 채널 대역폭을 나타내고, P 는 각 센싱 노드에서 관측된 주사용자 전력을 나타낸다. 그러면 관측된 PU SNR을 의미하는 γ 을 $\gamma = \frac{P}{N_0 W}$ 로 정의할 수 있다. 각 센싱 노드가 짧은 센싱 시간 τ 동안 모든 센싱 노드의 센싱 채널이 고정되었다고 가정했을 때 관측된 PU 에너지는 간단히 $P\tau$ 가 될 수 있다.

[0065]

가정 $\mathcal{H}_0$ 의 전제하에서 T 는 $2\tau W$ 의 자유도(degrees of freedom)를 가진 집중 카이-스퀘어 분포(chi-square distribution)를 따른다. 가정 $\mathcal{H}_1$ 의 전제하에서 $2\tau W$ 의 자유도와 NCP(non-centrality parameter) $\gamma\tau W$ 를 가진 비-집중(non-central) 카이-스퀘어 분포를 따른다. CLT(central limit theorem)에 따르면, $2\tau W$ 가 250 이상일때, T 는 아래 수학적식 3과 같이 가우시안 확률 변수에 따라 근사치를 구할 수 있다.

수학적식 3

[0066]

$$T \sim \begin{cases} \mathcal{N}(2\tau W + \gamma\tau W, 4\tau W + 4\gamma\tau W), & \text{under } \mathcal{H}_1, \\ \mathcal{N}(2\tau W, 4\tau W), & \text{under } \mathcal{H}_0. \end{cases}$$

[0067]

문턱값을 λ 라 정의할 때, 정검출 확률은 $P_d = P(Y \geq \lambda | \mathcal{H}_1)$ 로 나타내고, 오검출 확률은 $P_f = P(Y \geq \lambda | \mathcal{H}_0)$ 로 나타낼 수 있다. 그리고 정검출 확률과 오검출 확률은 다시 수학적식 4로 나타낼 수 있다.

수학적식 4

[0068]

$$P_d(\lambda, \tau, \gamma, W) = \mathcal{Q} \left(\frac{\lambda - (2\tau W + \gamma\tau W)}{\sqrt{4\tau W + 4\gamma\tau W}} \right),$$

$$P_f(\lambda, \tau, W) = \mathcal{Q} \left(\frac{\lambda - 2\tau W}{\sqrt{4\tau W}} \right),$$

where $\mathcal{Q}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp \left(-\frac{u^2}{2} \right) du$.

[0069]

만약 하나의 센싱 노드가 수학적식 4에서 정검출 확률 $\overline{P_d}$ 를 가질 때, 문턱값도 그에 따라 결정된다. 그러므로 주어진 $\overline{P_d}$, P_f 는 아래 수학적식 5와 같이 표현할 수 있다.

수학식 5

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

[0070]

그럼, 정검출 확률 및 오검출 확률을 이용하여 OR 규칙, AND 규칙 및 본 발명의 실시예에 따른 iNOR 규칙에서의 협력 센싱에 참여하는 센싱 노드의 수에 대한 피드백을 수학적으로 분석하고자 한다.

[0071]

OR 규칙을 이용하는 융합 센터는 센싱 노드들 중 적어도 하나의 노드가 융합 센터에 주사용자가 존재한다고 보고하는 경우에 주사용자가 존재한다고 결정한다. 그러므로 융합 센터에서의 최종 검출 확률은 수학식 6과 같이 나타낼 수 있고, 최종 오경보 확률은 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

[0072]

수학식 6

$$P_d^F = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_d^i)$$

[0073]

수학식 7

$$P_f^F = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_f^i)$$

[0074]

P_d^i 와 P_f^i 는 각각 검출 확률(detection probability)과 오경보 확률(false alarm probability)을 나타내고, 여기서 $i(i \in \{1, \dots, N\})$ 는 각 i번째 센싱 노드를 나타낸다. 동일한 문턱값을 가지고 모든 협력 센싱에 참여하는 노드는 IID를 따른다고 가정하였기 때문에 P_d^i 는 모든 센싱 노드들에게 동일한 값을 가진다. P_f^i 도 같다. 모든 센싱 노드가 동시에 스펙트럼 검출을 통해 주사용자 센싱을 수행한 후에, 각 센싱 노드의 리포트 확률은 아래 수학식 8과 같다.

[0075]

수학식 8

$$\begin{aligned} P_{re} &= P(Y \geq \lambda | \mathcal{H}_1) P(\mathcal{H}_1) + P(Y \geq \lambda | \mathcal{H}_0) P(\mathcal{H}_0) \\ &= P_d^i P(\mathcal{H}_1) + P_f^i P(\mathcal{H}_0). \end{aligned}$$

[0076]

확률 변수(random variable) Y는 N개의 센싱 노드 중에서 리포팅을 하는 노드의 수로 표현하면, Y는 이항 확률 변수(binomial random variable)가 된다. 즉, $Y \sim B(N, P_{re})$ 로 표현할 수 있다. 따라서 N개의 센싱 노드 중에서 k개의 센싱 노드가 융합 센터로 리포트할 가능성은 아래 수학식 9와 같이 표현할 수 있다.

[0077]

수학식 9

$$P_Y(k) = \binom{N}{k} P_{re}^k (1 - P_{re})^{N-k}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N.$$

이항 확률 변수의 평균값을 구할 수 있으며, 융합 센터로 리포트하는 노드들의 평균값은 아래 수학식 10과 같다.

수학식 10

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[Y] &= NP_{re} \\ &= N(P_d^i P(\mathcal{H}_1) + P_f^i P(\mathcal{H}_0)) \end{aligned}$$

모든 협력 센싱 노드는 동일한 PU SNR, 동일한 문턱값을 가지고 IID에 따른다고 가정한다. 그 다음에 어떤 최종 목표 검출 확률을 가지든지 상관없고, 협력 센싱에 참여하는 노드의 수가 제한 없는 경우에 OR 규칙을 이용하여

리포팅하는 노드의 평균 개수는 PU SNR에 관계없는 상수 값 $P(\mathcal{H}_1) \log\left(\frac{1}{1 - P_d^F}\right)$ 이 된다. 이를 증명하는 과정은 아래와 같다.

센싱 노드의 수가 무한정 증가하는 경우, 수학식 10으로부터 리포팅 노드의 평균 개수는 아래 수학식 11과 같다.

수학식 11

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \mathbb{E}[Y] = \lim_{N \rightarrow \infty} (P(\mathcal{H}_1) P_d^i N + P(\mathcal{H}_0) P_f^i N)$$

타겟 $\overline{P_d^F}$ 와 수학식 6로부터 수학식 11의 우변의 첫 번째 항을 변형하면 아래 수학식 12과 같다.

수학식 12

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P(\mathcal{H}_1) \left(1 - \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^{\frac{1}{N}}\right) N$$

상기 수학식 12에서 $x \triangleq \frac{1}{N}$ 로 치환하여 단순화시키면 아래 수학식 13과 같이 변형할 수 있다.

수학식 13

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{P(\mathcal{H}_1) \left(1 - \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^x\right)}{x}$$

로피탈 정리(L'Hospital's rule)를 이용하여 x에 대해 수학식 13을 정리하면, 아래 수학식 14와 같다.

수학식 14

$$\lim_{x \rightarrow 0} -P(\mathcal{H}_1) \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^x \log(1 - \overline{P_d^F})$$

수학식 10에서 우변의 첫 번째 항에서는 x가 0으로 수렴하는 경우, $P(\mathcal{H}_1) \log\left(\frac{1}{\overline{P_d^F}}\right)$ 가 된다.

수학식 11에서 우변의 두 번째 항을 살펴보면 아래 수학식 15와 같다.

수학식 15

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P(\mathcal{H}_0) P_f^i N$$

수학식 5에 의해 $P_f^i = \mathcal{Q}\left(\sqrt{1+\gamma}\mathcal{Q}^{-1}(\overline{P_d^i}) + \frac{\gamma\sqrt{\tau W}}{2}\right)$ 이므로, 수학식 15는 $\lim_{N \rightarrow \infty} P(\mathcal{H}_0) \mathcal{Q}\left(\sqrt{1+\gamma}\mathcal{Q}^{-1}\left(1 - \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^{\frac{1}{N}}\right) + \frac{\gamma\sqrt{\tau W}}{2}\right) N$ 가 되고, 이를 $x \triangleq \frac{1}{N}$ 로 치환하여 단순화시키면 아래 수학식 16과 같이 정리할 수 있다.

수학식 16

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{P(\mathcal{H}_0) \mathcal{Q}\left(\sqrt{1+\gamma}\mathcal{Q}^{-1}\left(1 - \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^x\right) + \frac{\gamma\sqrt{\tau W}}{2}\right)}{x}$$

로피탈 정리에 의해 수학식 12를 x에 대해 정리하면 이는 수학식 17이 된다.

수학식 17

$$\lim_{x \rightarrow 0} P(\mathcal{H}_0) \mathcal{Q}'\left(\sqrt{1+\gamma}\mathcal{Q}^{-1}\left(1 - \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^x\right) + \frac{\gamma\sqrt{\tau W}}{2}\right) (\mathcal{Q}^{-1})'\left(1 - \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^x\right) \sqrt{1+\gamma} \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^x \log\left(\frac{1}{1 - \overline{P_d^F}}\right)$$

수학식 분석의 편의성을 위하여 역함수의 미분공식인 $(f^{-1})'(t) = \frac{1}{f'(f^{-1}(t))}$ 을 활용하면 수학식 18을 얻을 수 있다.

수학식 18

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{P(\mathcal{H}_0) \mathcal{Q}'\left(\sqrt{1+\gamma}\mathcal{Q}^{-1}\left(1 - \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^x\right) + \frac{\gamma\sqrt{\tau W}}{2}\right) \sqrt{1+\gamma} \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^x \log\left(\frac{1}{1 - \overline{P_d^F}}\right)}{\mathcal{Q}'\left(\mathcal{Q}^{-1}\left(1 - \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^x\right)\right)}$$

여기서 다시 변수를 $y \triangleq \left(1 - \overline{P_d^F}\right)^x$ 와 같이 변경하여 수학적 식 19로 정리할 수 있다.

수학적 식 19

$$\lim_{y \rightarrow 1} \frac{P(\mathcal{H}_0) Q' \left(\sqrt{1 + \gamma} Q^{-1}(1 - y) + \frac{\gamma \sqrt{\tau W}}{2} \right) y \sqrt{1 + \gamma} \log \left(\frac{1}{1 - \overline{P_d^F}} \right)}{Q' \left(Q^{-1}(1 - y) \right)}$$

$Q'(t) = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{t^2}{2} \right)$ 를 이용하여 아래 수학적 식 20을 얻을 수 있다.

수학적 식 20

$$\lim_{y \rightarrow 1} P(\mathcal{H}_0) \exp \left(-\frac{\gamma}{2} \left(\left(Q^{-1}(1 - y) \right)^2 + Q^{-1}(1 - y) \sqrt{(1 + \gamma) \tau W} + \frac{\gamma \tau W}{4} \right) \right) \sqrt{1 + \gamma} - y \log(1 - \overline{P_d})$$

수학적 식 20에서 지수함수의 지수가 음의 무한대로 가는 경우, $\lim_{y \rightarrow 1} Q^{-1}(1 - y) = \infty$ 기 때문에 수학적 식 15는 0으로 수렴한다.

그러므로 OR 규칙에서 센싱 노드의 수가 무한대로 가는 경우에, 리포팅 노드의 평균 수는 PU SNR에 관계 없이 $P(\mathcal{H}_1) \log \left(\frac{1}{1 - \overline{P_d^F}} \right)$ 가 된다. 따라서 센싱 노드가 주사용자 센싱 결과에 대하여 정보고를 수행하고, 융합센터가 OR 규칙에 의해 최종 판단을 하는 경우 오버헤드 양은 무시할 정도에 해당한다.

도 8은 경관정의 협력 센싱에서 OR 규칙에 따른 협력 센싱 노드의 수와 리포팅 노드의 평균 수를 나타낸 그래프로서, 위에 살펴본 바와 같이 평균 리포팅 노드의 수가 일정한 값으로 수렴하는 것을 알 수 있다.

이하에서는 정보고 및 AND 규칙에 따른 경우와 본 발명의 실시예에 따른 iNOR 규칙에 따르는 경우를 함께 비교하고자 한다.

AND 규칙을 이용하는 융합센터에서는 모든 센싱 노드가 PU가 존재한다고 보고하는 경우에 주사용자가 존재한다고 결정한다. 그러므로 AND 규칙에서 융합센터에서의 최종 결정 및 최종 오경보 확률은 각각 아래 수학적 식 21 및 수학적 식 22와 같다.

수학적 식 21

$$P_d^F = \prod_{i=1}^N P_d^i$$

수학적 식 22

$$P_f^F = \prod_{i=1}^N P_f^i$$

[0110] AND 규칙에서 센싱 노드의 수가 무한하게 되는 경우 그에 따라 리포팅 노드의 평균 수도 동일하게 무한하게 된다는 것은 수학적으로 자명하다. OR 규칙과 유사한 방법으로 센싱 노드의 수가 제한 없는 경우 리포팅 노드의 평균 수를 아래 수학적식 23과 같이 표현할 수 있다.

수학적식 23

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \mathbb{E}[Y] = \lim_{N \rightarrow \infty} (P(\mathcal{H}_1)P_d^i N + P(\mathcal{H}_0)P_f^i N)$$

[0112] $\overline{P_d^F}$ 를 포함하는 수학적식 21로부터 수학적식 23의 우변의 첫 번째 변수는 $\lim_{N \rightarrow \infty} P(\mathcal{H}_1) \left(\overline{P_d^F} \right)^{\frac{1}{N}} N$ 로 정리할 수 있고, 이것은 무한대로 발산한다. 수학적식 23에서 우변의 두 번째 변수는 수학적식 5를 이용하여 $\lim_{N \rightarrow \infty} P(\mathcal{H}_0) \mathcal{Q} \left(\sqrt{1 + \gamma} \mathcal{Q}^{-1} \left(\left(\overline{P_d^F} \right)^{\frac{1}{N}} \right) + \frac{\gamma \sqrt{\tau W}}{2} \right) N$ 로 정의할 수 있고 이 역시 무한대로 발산하게 된다.

[0113] AND 규칙의 피드백 오버헤드의 양이 센싱 노드의 수에 선형 비례하여 증가하기 때문에 어떠한 종류의 리포팅 채널일지라도 피드백 오버헤드의 비용은 협력 센싱에 참여하는 노드의 개수가 클 때 심각한 수준이 된다.

[0114] 이제 본 발명의 실시예에 따른 iNOR 규칙의 경우를 살펴보면, 기존의 경관정과 반대의 입력 신호를 이용하고, NOR 연산을 사용한다. 따라서 센싱 노드가 PU가 존재하지 않는다고 판정한 경우에 융합 센터가 NOR 연산을 이용하여 1차 판정을 공유하여 최종 결정을 한다.

[0115] AND 규칙과 NOR 규칙을 간략히 비교한 표는 아래와 같다.

표 1

X	$Y(\text{Input})$	AND	$\overline{X}$	$\overline{Y}(\text{Inverse input})$	NOR
0	0 (Quiet)	0	1	1 (Report)	0
0	1 (Report)	0	1	0 (Quiet)	0
1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	1

[0117] 본 발명의 실시예와 같이 협력 센싱을 수행함으로써 AND 규칙과 비교하여 검출(detection), 오류 검출(false alarm), 미검출(miss detection), 정기간(correct rejection)과 같은 모든 확률이 일치하고, 단순히 피드백 오버헤드의 양만을 변경시킬 수 있다. 이는 아래와 같이 증명할 수 있다.

[0118] 모든 협력 센싱에 참여하는 노드는 동일한 PU SNR, 동일한 문턱값을 가지고 IID에 따라 주사용자 센싱을 수행한다고 가정한다. 그러면 어떤 목표 주파수 대역을 검출하기 위해 협력 센싱 노드수가 제한없는 경우 iNOR 규칙에

따라 리포팅하는 평균 센싱 노드의 수는 PU SNR에 관계없이 상수 값 $P(\mathcal{H}_1) \log \left(\frac{1}{P_d^F} \right)$ 이 된다.

[0119] iNOR 리포팅 규칙을 이용하는 모든 센싱 노드들은 그들이 주사용자가 없다고 판단하는 경우에만 융합 센터에 보고하기 때문에 각 센싱 노드의 리포팅 확률은 아래 수학적식 24와 같이 정리할 수 있다.

수학적식 24

$$\begin{aligned} Q_{re} &= P(Y \leq \lambda | \mathcal{H}_1) P(\mathcal{H}_1) + P(Y \leq \lambda | \mathcal{H}_0) P(\mathcal{H}_0) \\ &= P_m^i P(\mathcal{H}_1) + P_c^i P(\mathcal{H}_0), \end{aligned}$$

[0121]

P_m^i 는 미검출 확률, P_c^i 는 정거각 확률($\bar{P}_m^i = 1 - P_d^i, P_c^i = 1 - P_f^i$)을 나타낸다. 수학식 10으로부터 OR 규칙과 동일한 방식으로 제한 없는 센싱 노드들을 가지고 협력 센싱을 수행할 때의 리포팅 노드의 평균 수는 아래 수학식 25와 같다.

수학식 25

$$\begin{aligned} \lim_{N \rightarrow \infty} \mathbb{E}[Y] &= \lim_{N \rightarrow \infty} (P(\mathcal{H}_1)P_m^i N + P(\mathcal{H}_0)P_c^i N) \\ &= P(\mathcal{H}_1) \log \left(\frac{1}{P_d^F} \right). \end{aligned}$$

[0122]

[0123]

OR 규칙의 전체적인 성능을 확인하기 위해 앞서 살펴본 도 8에서 오검출 확률 및 리포팅 노드의 평균 수를 표시하였다. 도 8에서는 정검출 확률 90%, PU가 나타날 확률(PU가 목적 주파수 대역을 사용할 확률) 10%, 센싱 시간 1ms, PU 대역폭 6 MHz를 기준으로 측정하였다. 도 8을 참조하면, 센싱 노드의 수가 증가함에 따라 최종 오검출 확률이 감소하는 것을 알 수 있다. 최종 오검출 확률은 또한 PU SNR에 의존적이고 PU SNR이 더 높을 때 더 좋은 성능을 보인다는 것을 알 수 있다. 게다가 동일한 PU SNR에서 센싱 노드의 수가 증가함에도 불구하고 리포팅 노드의 평균 수는 1보다 작다는 것을 알 수 있다. OR 규칙을 이용하는 융합 센터에서는 리포팅 노드들에 따른 피드백 오버헤드가 센싱 노드가 제한 없는 경우조차 무시할 수 있는 수준에 그친다.

[0124]

도 9는 도 8과 동일한 규칙 하에서 AND 규칙에 대한 그래프와 iNOR 규칙에 대한 그래프를 나타낸 것이다. 동일한 오검출 확률에서 피드백 오버헤드의 양이 줄어드는 것을 알 수 있다. 예상한 바와 같이 AND 규칙에서 센싱 노드의 수가 증가함에 따라 리포팅 노드의 평균 수도 선형 비례하여 증가하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 iNOR에 따른 본 발명의 실시예는 100,100개의 센싱 노드가 참여한 경우에도 리포팅 노드의 평균 수가 10 이하로 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이런 이유로 AND 규칙을 이용하는 리포팅 노드들의 피드백 오버헤드는 iNOR 리포팅 규칙에 따른 경우보다 무시할 정도의 수준이 된다는 것을 확인할 수 있다.

[0125]

따라서 본 발명의 실시예들은 AND 규칙과 동일한 성능(정검출 확률, 오검출 확률, 미검출 확률, 정거각 확률)을 가지면서도 협력 센싱에 참여하는 센싱 노드의 수가 무한하게 증가하는 경우에도 OR 규칙과 같이 피드백 오버헤드가 상수 값에 수렴하는 효과를 가진다. 이는 기존의 협력 센싱의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있게 할 것이다.

[0126]

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.

[0127]

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.

[0128]

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

[0129]

10: 주사용자(SU)

20: 센싱 노드(PU)

21: 통신부

22: 처리부

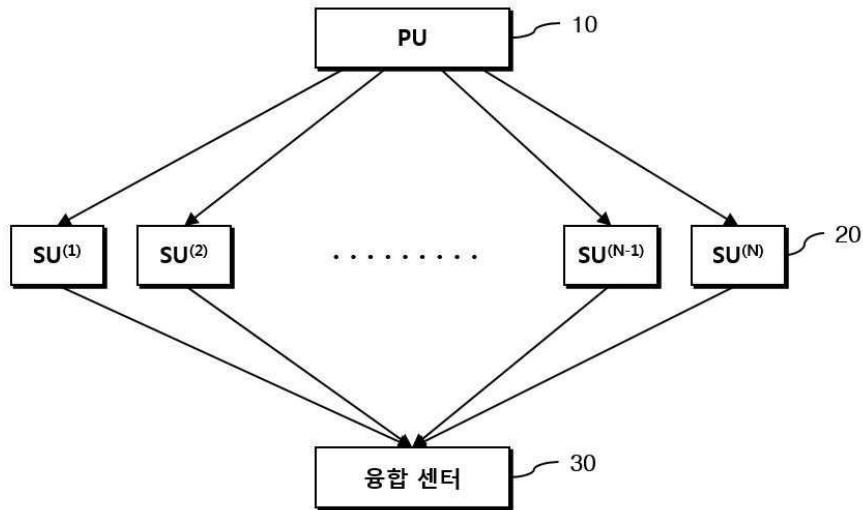
30: 융합 센터

31: 통신부

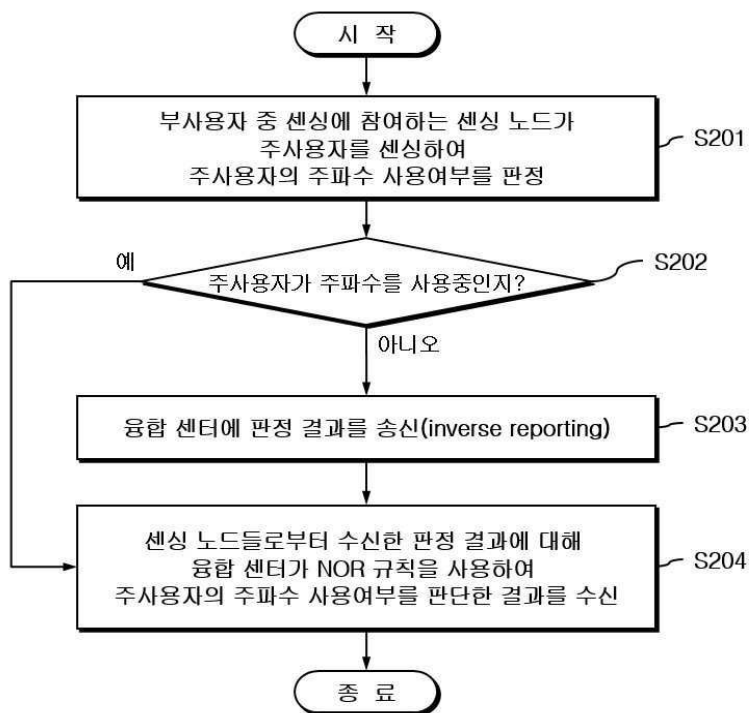
32: 처리부

도면

도면1



도면2



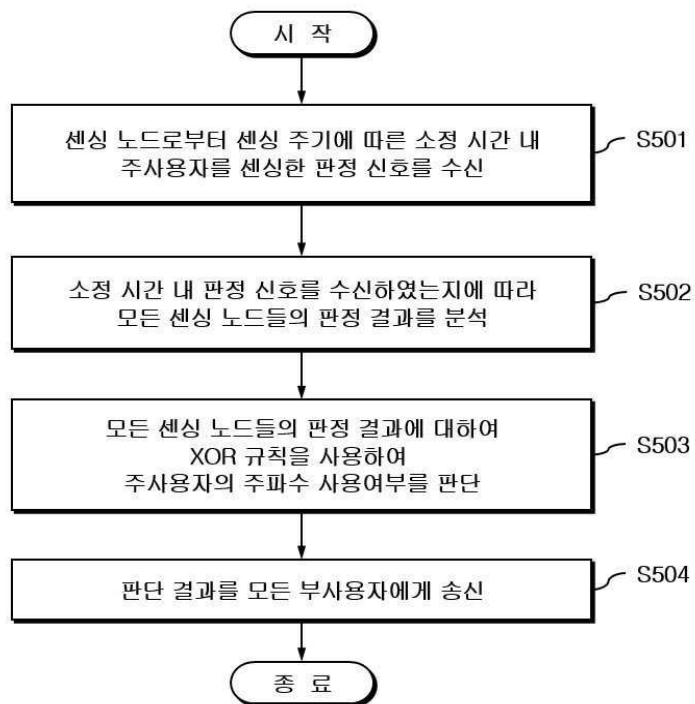
도면3

SU ⁽¹⁾	SU ⁽²⁾	NOR
1 ($\mathcal{H}_0$, Report)	1	0
1	0	0
0 ($\mathcal{H}_1$, Quiet)	1	0
0	0	1

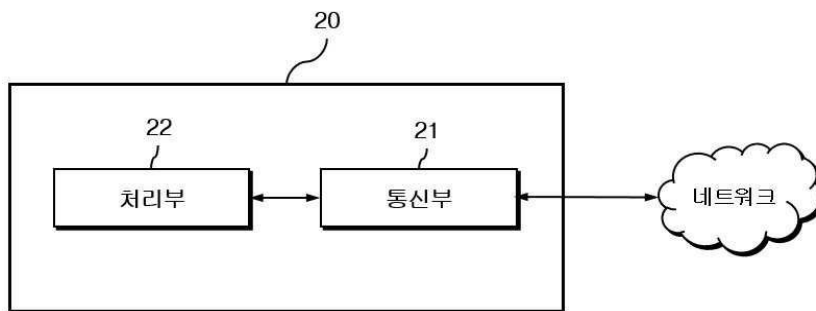
도면4

SU ⁽¹⁾	SU ⁽²⁾	AND
0 ($\mathcal{H}_0$, Quiet)	0	0
0	1	0
1 ($\mathcal{H}_1$, Report)	0	0
1	1	1

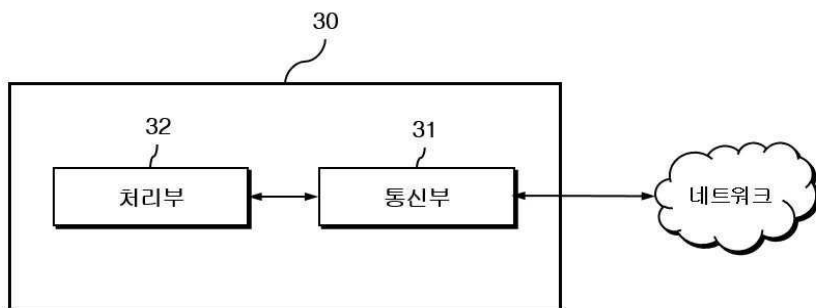
도면5



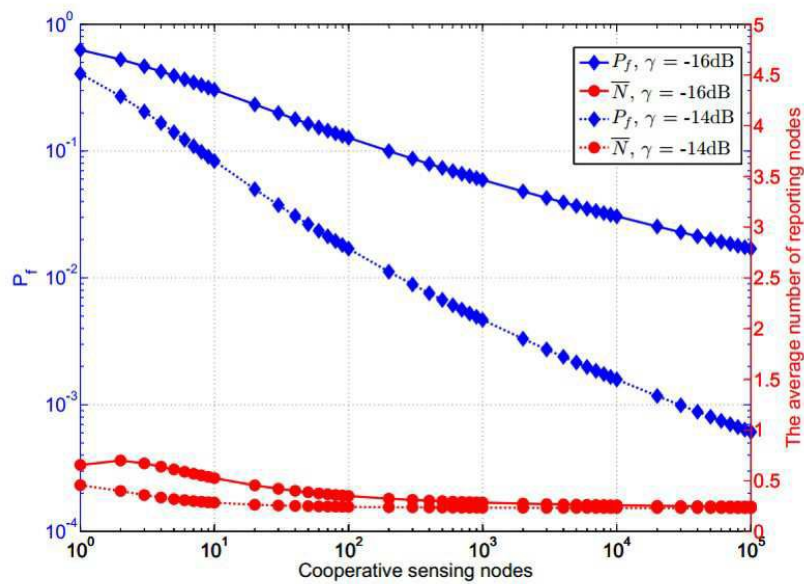
도면6



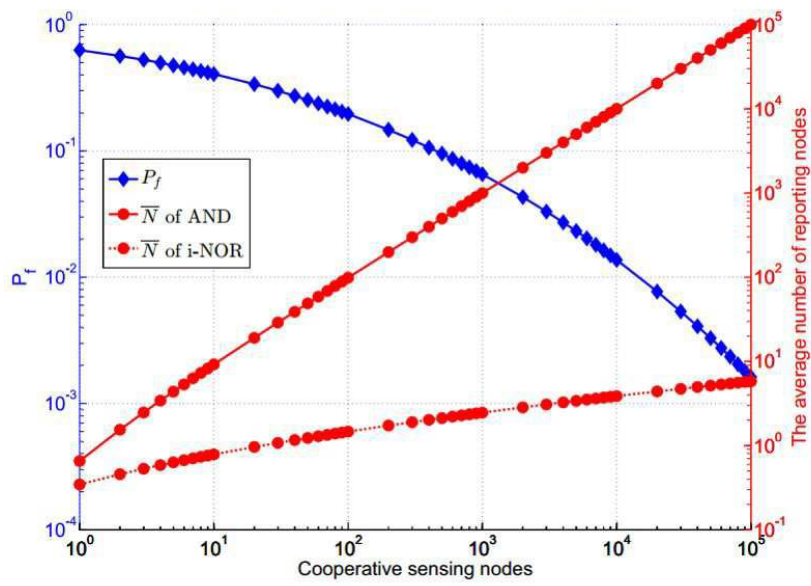
도면7



도면8



도면9



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 제15항

【변경전】

상기 모든 센싱 노드들의

【변경후】

모든 센싱 노드들의