



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년06월08일
(11) 등록번호 10-1150129
(24) 등록일자 2012년05월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/26 (2006.01) H04W 16/14 (2009.01)
(21) 출원번호 10-2011-0007210
(22) 출원일자 2011년01월25일
심사청구일자 2011년01월25일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020090076683 A
US20100232380 A1
US20100069013 A1
"Cross Entropy Based Spectrum Sensing" ICCT
2010(2010.11)

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
장성진
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 6호관
130호 (용현동)
김재명
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 하이테크
312호 (용현동)
(74) 대리인
특허법인무한

전체 청구항 수 : 총 15 항

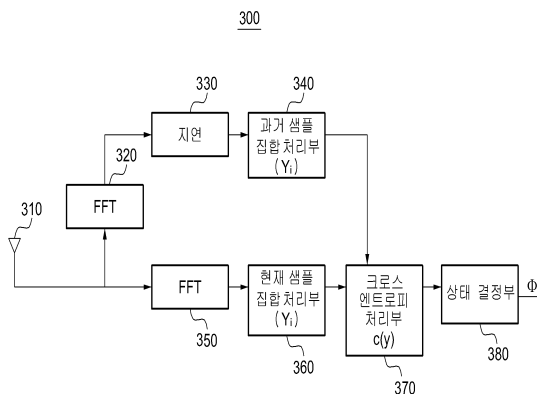
심사관 : 장현근

(54) 발명의 명칭 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법 및 그 장치

(57) 요약

본 발명의 실시예들은 인지 무선 통신 기술에서, 2차 사용자의 채널 접근을 허용하기 위하여, 통신 채널을 사용하는 우선 사용자의 상태를 검출하는 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 방법에 관련된다. 인지 무선(Cognitive Radio, CR) 통신 기술은 값비싼 주파수 자원을 무선 자원을 보다 효과적이고 균형있게 사용할 수 있도록 한다. 특히, 인지 무선 통신 기술은 2차 사용자가 우선 사용자의 대역을 동적으로 접근할 수 있도록 하여, 언제 어디에서든지 안정적인 통신 수단을 제공하고, 주파수 스펙트럼을 효율적으로 사용할 수 있게 한다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

구 준룡

인천광역시 남구 용현4동 인하대학교 6호관 130호

아흐메드 타사미아

인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 정보통신대학원 무선전송연구실 (용현동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2010-0008000

부처명 RFID/USN 산학공동연구소

연구사업명 도약연구(도전)

연구과제명 차세대 무선통신을 위한 Cognitive Radio 플랫폼 연구

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2006.04.01 ~ 2011.03.31

특허청구의 범위

청구항 1

우선 사용자의 상태에 따라 2차 사용자의 데이터 전송을 허용하는 인지 무선 통신 시스템에서, 채널의 대상 신호를 스펙트럼 센싱하여 상기 우선 사용자의 상태를 감지하는 스펙트럼 센싱 장치에 있어서,

상기 대상 신호를 고속 푸리에 변환하는 적어도 하나의 고속 푸리에 변환부;

일정시간 대기하여, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수집하는 과거 샘플 집합 처리부;

상기 고속 푸리에 변환된 결과를 기초로, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값을 수집하는 현재 샘플 집합 처리부;

상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 크로스 엔트로피 값을 산출하는 크로스 엔트로피 처리부; 및

상기 산출된 크로스 엔트로피 값에 따라 상기 우선 사용자의 상태를 결정하는 상태 결정부

를 포함하는 스펙트럼 센싱 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 크로스 엔트로피 처리부는

상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값에 대한 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포 및 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값에 대한 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포를 기초로, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는

스펙트럼 센싱 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 크로스 엔트로피 처리부는

상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산을 산출하고, 상기 산출된 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산에 따라 상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는

스펙트럼 센싱 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 크로스 엔트로피 처리부는

우선 사용자의 현재 상태가 비사용인 경우에 과거의 스펙트럼 센싱 결과 및 현재의 스펙트럼 센싱 결과가 가우시안 분포를 가지고, 우선 사용자의 현재 상태가 사용인 경우에 이전의 스펙트럼 센싱 결과는 가우시안 분포를 가지지만 현재의 스펙트럼 센싱 결과는 혼합된 분포를 가진다는 점을 고려하여, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는

스펙트럼 센싱 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 크로스 엔트로피 처리부는

상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 히스토그램 기법을 수행하여 우선 사용자의 상태에 대한 확률을 추정하고, 상기 추정 결과에 따른 크로스 엔트로피 값을 산출하는

스펙트럼 센싱 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 상태 결정부는

상기 산출된 크로스 엔트로피 값을 미리 설정된 문턱값과 비교하고, 상기 비교 결과에 따라서 상기 우선 사용자의 상태를 결정하는

스펙트럼 센싱 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 과거 샘플 집합 처리부는

다른 스펙트럼 센싱 장치로부터 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수신하여 수집하는

스펙트럼 센싱 장치.

청구항 8

우선 사용자의 상태에 따라 2차 사용자의 데이터 전송을 허용하는 인지 무선 통신 시스템에서, 채널의 대상 신호를 스펙트럼 센싱하여 상기 우선 사용자의 상태를 감지하는 스펙트럼 센싱 방법에 있어서,

상기 대상 신호를 고속 푸리에 변환하는 단계;

일정시간 대기하여, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수집하는 단계;

상기 고속 푸리에 변환된 결과를 기초로, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값을 수집하는 단계;

상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 크로스 엔트로피 값을 산출하는 단계; 및

상기 산출된 크로스 엔트로피 값에 따라 상기 우선 사용자의 상태를 결정하는 단계

를 포함하는 스펙트럼 센싱 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는 단계는

상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값에 대한 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포 및 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값에 대한 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포를 기초로, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는

스펙트럼 센싱 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는 단계는

상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산을 산출하고, 상기 산출된 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산에 따라 상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는

스펙트럼 센싱 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는 단계는

우선 사용자의 현재 상태가 비사용인 경우에 과거의 스펙트럼 센싱 결과 및 현재의 스펙트럼 센싱 결과가 가우시안 분포를 가지고, 우선 사용자의 현재 상태가 사용인 경우에 이전의 스펙트럼 센싱 결과는 가우시안 분포를 가지지만 현재의 스펙트럼 센싱 결과는 혼합된 분포를 가진다는 점을 고려하여, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는

스펙트럼 센싱 방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는 단계는

상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 히스토그램 기법을 수행하여 우선 사용자의 상태에 대한 확률을 추정하고, 상기 추정 결과에 따른 크로스 엔트로피 값을 산출하는

스펙트럼 센싱 방법.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 우선 사용자의 상태를 결정하는 단계는

상기 산출된 크로스 엔트로피 값을 미리 설정된 문턱값과 비교하고, 상기 비교 결과에 따라서 상기 우선 사용자의 상태를 결정하는

스펙트럼 센싱 방법.

청구항 14

제8항에 있어서,

상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수집하는 단계는

다른 스펙트럼 센싱 장치로부터 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수신하여 수집하는

스펙트럼 센싱 방법.

청구항 15

제8항 내지 제14항 중 어느 한 항의 방법을 수행하는 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독 가능 기록 매체.

명세서

기술 분야

[0001]

아래 실시예들은 인지 무선 통신 기술에서, 2차 사용자의 채널 접근을 허용하기 위하여, 통신 채널을 사용하는 우선 사용자의 상태를 검출하는 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법 및 그 장치에 관련된다.

배경 기술

[0002]

인지 무선(Cognitive Radio, CR) 통신 기술은 값비싼 주파수 자원을 무선 자원을 보다 효과적이고 균형있게 사용할 수 있도록 한다. 특히, 인지 무선 통신 기술은 2차 사용자가 우선 사용자의 대역을 동적으로 접근할 수 있도록 하여, 언제 어디서든지 안정적인 통신 수단을 제공하고, 주파수 스펙트럼을 효율적으로 사용할

수 있게 한다.

[0003] 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 기법은 관측된 신호의 정보량을 측정하는 것으로, 우선 사용자 신호의 엔트로피 값이 잡음의 엔트로피 값보다 낮다는 사실을 이용하는 방법이다. 그러나 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 기법은 정합필터를 사용하기 때문에, 인지 무선 통신 기술의 실제 환경에서 사용되기가 힘들 수 있다.

[0004] 도 1은 종래의 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 기법의 일례를 보여주는 도면이다.

[0005] 도 1의 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 기법은, 정합 필터의 필요성을 제거하고 엔트로피를 계산하는데 필요한 양자화 개수를 고정시킴으로써 기존에 큰 분산을 갖던 잡음의 엔트로피 값을 상수로 근접시킨다.

[0006] 도 2는 도 1의 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 기법에서 측정된 엔트로피 값(estimated entropy)(e(y))과 잡음 지수(noise power)의 예시를 보여주는 그래프이다.

[0007] 도 2를 참조하면, 상기 종래의 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 기법은 주파수 영역에서 양자화 개수를 고정시킨 것으로, 시뮬레이션 환경은 주파수 60kHz, 양자화 개수 15, 샘플링 시간 0.001초로 구성하였다. 그리고, 상기 그래프는 만 번의 반복회수로 얻어졌다.

[0008] 상기 그래프를 참조하면, 잡음 지수에 따라 엔트로피 값이 변화되고 있지만, SNR에 대해 일정한 것을 볼 수 있다.

[0009] 즉, 종래의 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 장치는 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 이용하여, 중심 주파수 f_c 및 대역폭 Bw 의 주파수 변환을 수행할 수 있다. 이를 위한 이산 푸리에 변환에 의한 이산 신호 $x(n)$ 는 아래의 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

[0010] [수학식 1]

$$y(n) = s(n) + w(n), \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

[0012] 여기서, $s(n)$ 은 우선 사용자 신호이고, $w(n)$ 은 가우시안 분포 $N(0, \sigma^2)$ 를 따르는 잡음을 나타내고, N 은 샘플 개수를 나타낸다. 여기서, 우선 사용자 신호가 사용중이라면, 가우시안 분포는 $N(0, \sigma_1^2)$ 가 될 수 있다.

[0013] 이러한 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 장치의 동작을 주파수 영역에서 표현하면, 아래의 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\begin{aligned} H_0 : Y(k) &= W(k), \\ H_1 : Y(k) &= S(k) + W(k), \quad k = 1, \dots, N \end{aligned}$$

[0015] 이때, N 은 이산 푸리에 변환의 크기이고, Y , S 및 W 는 수신신호, 우선사용자 신호, 잡음 각각에 대한 에 대한 복소 스펙트럼을 나타낸다. 가설 H_1 은 우선 사용자 신호와 잡음에 대한 것으로 Rician 분포를 나타내고, H_0 는 Rayleigh 분포를 나타낼 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명의 실시예에 의하면, 우선 사용자의 상태에 따라 2차 사용자의 데이터 전송을 허용하는 인지 무선 통신 시스템에서, 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 이용하여 우선 사용자의 과거 상태와 현재 상태 간의 관계를 고려할 수 있는 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법 및 그 장치를 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 장치는 우선 사용자의 상태에 따라 2차 사용자의 데이터 전송을 허용하는 인지 무선 통신 시스템에서, 채널의 대상 신호를 스펙트럼 센싱하여 상기 우선 사용자의 상태를 감지하는 스펙트럼 센싱 장치로서, 상기 대상 신호를 고속 푸리에 변환하는 적어도 하나의 고속 푸리에 변환부와, 일정시간 대기하여, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수집하는 과거 샘플 집합 처리부와, 상기 고속 푸리에 변환된 결과를 기초로, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값을 수집하는 현재 샘플 집합 처리부와, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 크로스 엔트로피 값을 산출하는 크로스 엔트로피 처리부와, 상기 산출된 크로스 엔트로피 값에 따라 상기 우선 사용자의 상태를 결정하는 상태 결정부를 포함한다.
- [0018] 이때, 상기 크로스 엔트로피 처리부는 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값에 대한 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포 및 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값에 대한 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포를 기초로, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 크로스 엔트로피 처리부는 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산을 산출하고, 상기 산출된 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산에 따라 상기 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 크로스 엔트로피 처리부는 우선 사용자의 현재 상태가 비사용인 경우에 과거의 스펙트럼 센싱 결과 및 현재의 스펙트럼 센싱 결과가 가우시안 분포를 가지고, 우선 사용자의 현재 상태가 사용인 경우에 이전의 스펙트럼 센싱 결과는 가우시안 분포를 가지지만 현재의 스펙트럼 센싱 결과는 혼합된 분포를 가진다는 점을 고려하여, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 크로스 엔트로피 처리부는 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 히스토그램 기법을 수행하여 우선 사용자의 상태에 대한 확률을 추정하고, 상기 추정 결과에 따른 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0022] 또한, 상기 상태 결정부는 상기 산출된 크로스 엔트로피 값을 미리 설정된 문턱값과 비교하고, 상기 비교 결과에 따라서 상기 우선 사용자의 상태를 결정할 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 과거 샘플 집합 처리부는 다른 스펙트럼 센싱 장치로부터 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수신하여 수집할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 다른 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법은 우선 사용자의 상태에 따라 2차 사용자의 데이터 전송을 허용하는 인지 무선 통신 시스템에서, 채널의 대상 신호를 스펙트럼 센싱하여 상기 우선 사용자의 상태를 감지하는 스펙트럼 센싱 방법으로서, 상기 대상 신호를 고속 푸리에 변환하는 단계와, 일정시간 대기하여, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수집하는 단계와, 상기 고속 푸리에 변환된 결과를 기초로, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값을 수집하는 단계와, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 크로스 엔트로피 값을 산출하는 단계와, 상기 산출된 크로스 엔트로피 값에 따라 상기 우선 사용자의 상태를 결정하는 단계를 포함한다.
- [0025] 이때, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는 단계는 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값에 대한 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포 및 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값에 대한 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포를 기초로, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0026] 또한, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는 단계는 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산을 산출하고, 상기 산출된 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산에 따라 상기 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0027] 또한, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는 단계는 우선 사용자의 현재 상태가 비사용인 경우에 과거의 스펙트럼 센싱 결과 및 현재의 스펙트럼 센싱 결과가 가우시안 분포를 가지고, 우선 사용자의 현재 상태가 사용인 경우에 이전의 스펙트럼 센싱 결과는 가우시안 분포를 가지지만 현재의 스펙트럼 센싱 결과는 혼합된 분포를 가진다는 점을 고려하여, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0028] 또한, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출하는 단계는 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 히스토그램 기법을 수행하여 우선 사용자의 상태에 대한 확률을 추정하고, 상기 추정 결과에 따

른 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.

[0029] 또한, 상기 우선 사용자의 상태를 결정하는 단계는 상기 산출된 크로스 엔트로피 값을 미리 설정된 문턱값과 비교하고, 상기 비교 결과에 따라서 상기 우선 사용자의 상태를 결정할 수 있다.

[0030] 또한, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수집하는 단계는 다른 스펙트럼 센싱 장치로부터 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수신하여 수집할 수 있다.

발명의 효과

[0031] 본 발명의 실시예에 의하면, 우선 사용자의 과거 상태와 현재 상태 간의 관계를 고려함으로써, 우선 사용자 신호에 대한 크로스 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱을 보다 효과적으로 수행할 수 있다.

[0032] 특히, 본 발명의 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱은 종래의 주파수 영역에서의 엔트로피 기반의 센싱 방법보다 많은 정보를 이용함으로써, 스펙트럼 센싱의 성능을 개선할 수 있고, 시스템을 안정적으로 운용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1 및 2는 종래의 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 기법을 설명하기 위한 도면.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 장치의 구성을 보여주는 도면.

도 4a 내지 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법을 가우시안 채널에서 성능을 검증하기 위한 예시를 보여주는 그래프들.

도 4e 내지 4h는 본 발명의 일 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법을 레일레이 채널에서 성능을 검증하기 위한 예시를 보여주는 그래프들.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법을 설명하기 위한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법은 우선 사용자에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 정보와 현재 정보의 관계를 고려한다. 여기서, 2차 사용자는 스펙트럼 센싱을 통한 우선 사용자의 상태 정보를 저장하고, 상기 통신 시스템은 2차 사용자들간의 정보 교환을 통해 상기 상태 정보가 공유될 수 있는 것으로 가정한다.

[0036] 상기 크로스 엔트로피는 본 발명의 일 실시예에 따라 두 개의 확률 분포간에 실시되며, 발생 가능한 집합으로부터 하나의 사건을 구분하기 위해 필요한 비트들의 평균 개수를 측정한다. 상기의 크로스 엔트로피는 아래의 수학적 식 3을 통해 나타낼 수 있다.

[0037] [수학적 식 3]

$$H(p, q) = - \sum_y p(y) \log q(y)$$

[0038] 여기서, $q(?)$ 는 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값에 대하여 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포를 나타내고, $p(?)$ 는 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값에 대하여 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포를 나타낸다. 상기 수학적 식 3에 의해 계산된 크로스 엔트로피 값은 미리 설정된 문턱값과 비교됨에 따라, 우선 사용자의 현재 상태가 결정될 수 있다.

[0040] 아래의 수학적 식 4는 엔트로피 값과 Kullback-Leibler 발산으로 구성되는 크로스 엔트로피를 구하는 식을 보여준다.

[0041] [수학식 4]

$$\begin{aligned}
 H(p, q) &= - \sum_y p(y) \log p(y) \frac{q(y)}{p(y)} \\
 &= - \sum_y p(y) \log p(y) - \sum_y p(y) \log \frac{q(y)}{p(y)} \\
 &= H(p) + D(p \parallel q)
 \end{aligned}$$

[0042]

[0043] 여기서, $H(p)$ 는 엔트로피 값을 나타내고, $D(p \parallel q)$ 는 Kullback-Leibler 발산을 나타낸다. 수학식 3 및 4를 살펴보면, $D(p \parallel q)$ 는 수학식 4의 증감 요소가 됨을 알 수 있고,

$$D(p \parallel q) \geq 0, H(p, q) \geq H(p) \text{ 를 만족할 수 있다.}$$

[0044] 우선 사용자에게 대한 이전의 스펙트럼 센싱 결과가 비사용을 나타내는 경우, 우선 사용자의 현재 상태를 결정하기 위하여 크로스 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱 및 엔트로피 센싱을 이용할 수 있다.

[0045] 또한, 우선 사용자에게 대한 스펙트럼 센싱 전략을 $c(y) = H(p, q)$ 로 정의할 수 있으며, 다음의 두 가지 상황을 고려할 수 있다.

[0046] 첫째, 우선사용자의 현재 상태가 비사용인 경우, 크로스 엔트로피 값은 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산 값을 이용하여 아래의 수학식 5와 같이 계산될 수 있다.

[0047] [수학식 5]

$$H_{cii} = H_{eii} + D_{ii}$$

[0048]

[0049] 여기서, H_{cii} 는 크로스 엔트로피 값을 나타내고, H_{eii} 는 엔트로피 값을 나타내고, D_{ii} 는 Kullback-Leibler 발산 값을 나타낸다. 또한, D_{ii} 는 $D_{ii} \approx 0$ 를 만족할 수 있다. 여기서, 과거의 스펙트럼 센싱 결과 및 현재의 스펙트럼 센싱 결과는 잡음만을 포함하기 때문에 가우시안 분포를 모두 가질 수 있다.

[0050] 둘째, 우선 사용자의 현재 상태가 사용인 경우, 크로스 엔트로피 값은 아래의 수학식 6을 통해 계산될 수 있다.

[0051] [수학식 6]

$$H_{cia} = H_{eia} + D_{ia}$$

[0052]

[0053] 여기서, H_{cia} 는 크로스 엔트로피 값을 나타내고, H_{eia} 는 엔트로피 값을 나타내고, D_{ia} 는 Kullback-Leibler 분산 값을 나타낸다. 그리고, D_{ia} 는 $D_{ia} > 0$ 를 만족한다. 이 경우, 이전의 스펙트럼 센싱 결과는 잡음만을 포함하기 때문에 가우시안 분포를 가질 수 있다. 반면, 현재의 스펙트럼 센싱 결과는 잡음뿐 아니라 우선 사용자 신호를 포함하기 때문에, 혼합된 분포를 가지게 된다.

[0054] 따라서, 수학식 5에서 수학식 6을 차감하면, 아래의 수학식 7을 얻을 수 있다.

[0055] [수학식 7]

$$H_{c_{ii}} - H_{c_{ia}} = H_{e_{ii}} + D_{ii} - H_{e_{ia}} - D_{ia} = H_{e_{ii}} - H_{e_{ia}} - D_{ia} < H_{e_{ii}} - H_{e_{ia}}$$

[0057] 상기의 수학식 7에서, D_{ia} 는 크로스 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱의 성능을 감쇄시켜서 엔트로피 센싱의 사용 및 비사용에 따른 구분 성능보다 낮은 구분 성능을 발생시킬 수 있다. 따라서, 크로스 엔트로피 기반의 스펙트럼 센싱의 성능을 개선하고, 상태 변환 정보를 사용하기 위하여, 크로스 엔트로피 값($c(y)$)을 아래의 수학식 8과 같이 계산할 수 있다.

[0058] [수학식 8]

$$c(y) = H(p) - D(p \parallel q)$$

[0060] 만약, 이전의 스펙트럼 센싱이 동작인 경우에는 크로스 엔트로피 값인 $c(y)$ 을 아래의 수학식 9로 나타낼 수 있다.

[0061] [수학식 9]

$$c_{ai} - c_{aa} = H_{eai} + D_{ai} - H_{eaa} - D_{aa} = H_{eai} - H_{eaa} + D_{ai} > H_{eai} - H_{eaa}$$

[0063] 여기서, C_{ai} 는 이전의 스펙트럼 센싱 결과가 우선 사용자의 사용을 나타내고, 현재의 스펙트럼 센싱 결과가 우선 사용자의 비사용을 나타내는 제1 경우에 대한 값이고, H_{eai} 및 D_{ai} 는 상기 제1 경우에서의 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산 값을 나타낸다. C_{aa} 는 이전의 스펙트럼 센싱 결과 및 현재의 스펙트럼 센싱 결과가 우선 사용자의 사용을 나타내는 제2 경우에 대한 값이고, H_{eaa} 및 D_{aa} 는 상기 제2 경우에서의 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산 값을 나타낸다.

[0064] 이에 따라, 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역에서의 스펙트럼 센싱은 아래의 수학식 10과 같이 표현할 수 있다.

[0065] [수학식 10]

$$c(y) = \begin{cases} H(p) - D(p \parallel q), & \text{if PU is idle in previous detection} \\ H(p, q), & \text{if PU is active in previous detection} \end{cases}$$

[0067] 현재의 스펙트럼 센싱에서는 우선 사용자에게 대한 과거의 스펙트럼 센싱 결과를 기초로, 우선 사용자의 상태를 알 수 있으므로, 이와 같은 수학식 10이 이용될 수 있음을 알 수 있다.

[0068] 나아가, 엔트로피 추정 방법은 각 상태의 확률을 추정하기 위해 히스토그램 기법을 이용할 수 있다. 스펙트럼 센싱 윈도우는 연속적인 N개의 샘플들의 집합을 가진다. 그리고, Y_i 는 최소값, 최대값 사이의 구간을 L개로 구분될 수 있으며, 각각은 k번째 (l_k, l_{k+1}) 구간을 가질 수 있다. 그리고, Y_i 의 평균과 분산을 각각 m_y, δ_y 라 하고, 이를 통해 표현되는 히스토그램의 첫 번째 구간 및 마지막 구간의 중심값을 $-K\delta_y, +K\delta_y$ 라 하면, 최적의 구분 개수를 구하기 위한 K값은 아래의 수학식 11과 같은 Chebyshev 부등

식을 통해 계산될 수 있다.

[수학식 11]

$$P(|Y_i - m_y| > K\delta_y) \leq 1/K^2$$

여기서, n_k 를 k번째 구간에 포함된 y_i 값의 개수라 하면, $\sum_1^L n_k = N$ 가 되고, $\frac{n_k}{N}$ 가 될 수 있다. 이와 마찬가지로, $\frac{n'_k}{N}$ 도 도출될 수 있다.

또한, n'_k 는 k번째 구간에 대한 샘플 개수를 나타내고, $\sum_1^L n'_k = N$ 가 된다. 랜덤 변수의 상태 개수는 L과 같다. 따라서, 수학식 10으로부터 수학식 12를 도출할 수 있다.

[수학식 12]

$$c(y) = \begin{cases} -\sum_y p(y) \log \frac{p(y)^2}{q(y)} & \text{if PU is idle in previous detection} \\ -\sum_y p(y) \log q(y) & \text{if PU is active in previous detection} \end{cases}$$

또한, $p(k), q(k)$ 를 수학식 12에 대입함으로써, 아래의 수학식 13을 얻을 수 있다.

[수학식 13]

$$c(y) = \begin{cases} -\sum_1^L \frac{n_k}{N} \log \frac{\left(\frac{n_k}{N}\right)^2}{\frac{n'_k}{N}}, & \text{if PU is idle in previous detection} \\ -\sum_1^L \frac{n_k}{N} \log \frac{n'_k}{N}, & \text{if PU is active in previous detection} \end{cases}$$

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 장치의 구성을 보여주는 도면이다.

도 3을 참조하면, 상기 장치(300)는 안테나(310), 제1 고속 푸리에 변환부(320), 지연부(330), 과거 샘플 집합 처리부(340), 제2 고속 푸리에 변환부(350), 현재 샘플 집합 처리부(360), 크로스 엔트로피 계산부(370) 및 상태 결정부(380)를 포함한다.

안테나(310)는 통신 채널로부터 관측 신호를 수신한다.

제1 고속 푸리에 변환부(320)는 상기 수신된 관측 신호를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT)한다.

지연부(330)는 일정시간 대기하여, 상기 스펙트럼 센싱 장치의 센싱을 지연시킨다.

과거 샘플 집합 처리부(340)는 상기 제1 고속 푸리에 변환부(320)의 변환 결과를 기초로, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수집한다. 이때, 과거 샘플 집합 처리부(340)는 다른 스펙트럼 센싱 장치로

부터 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수신하여 수집할 수도 있다.

- [0084] 제2 고속 푸리에 변환부(350)는 다음 수신된 관측 신호를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT)한다.
- [0085] 현재 샘플 집합 처리부(360)는 제2 고속 푸리에 변환부(350)에 의해 고속 푸리에 변환된 결과를 기초로, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값을 수집한다.
- [0086] 크로스 엔트로피 계산부(370)는 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 크로스 엔트로피 값을 산출한다.
- [0087] 상태 결정부(380)는 상기 산출된 크로스 엔트로피 값에 따라 상기 우선 사용자의 상태를 결정한다. 이때, 상기 상태 결정부는 상기 산출된 크로스 엔트로피 값을 미리 설정된 문턱값과 비교하고, 상기 비교 결과에 따라서 상기 우선 사용자의 상태를 결정할 수 있다.
- [0088] 또한, 크로스 엔트로피 계산부(370)는 앞서 설명된 수학적 식 3을 이용하여, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값에 대한 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포 및 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값에 대한 샘플링 출력 크기에 대응하는 확률 분포를 기초로, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0089] 또한, 상기 크로스 엔트로피 처리부는 앞서 설명된 수학적 식 4를 이용하여, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산을 산출하고, 상기 산출된 엔트로피 값 및 Kullback-Leibler 발산에 따라 상기 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0090] 또한, 상기 크로스 엔트로피 처리부는 앞서 설명된 수학적 식 5 내지 10을 이용하여, 우선 사용자의 현재 상태가 비사용인 경우에 과거의 스펙트럼 센싱 결과 및 현재의 스펙트럼 센싱 결과가 가우시안 분포를 가지고, 우선 사용자의 현재 상태가 사용인 경우에 이전의 스펙트럼 센싱 결과는 가우시안 분포를 가지지만 현재의 스펙트럼 센싱 결과는 혼합된 분포를 가진다는 점을 고려하여, 상기 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0091] 또한, 상기 크로스 엔트로피 처리부는 앞서 설명된 수학적 식 11 내지 13을 이용하여, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 히스토그램 기법을 수행하여 우선 사용자의 상태에 대한 확률을 추정하고, 상기 추정 결과에 따른 크로스 엔트로피 값을 산출할 수 있다.
- [0092] 도 4a 내지 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법을 가우시안 채널(Gaussian Channel)에서 성능을 검증하기 위한 예시를 보여주는 그래프들이다.
- [0093] 상기 그래프들에서는 대역폭 Bw가 12 kHz이고, 반송파 주파수 fc가 40 kHz이고, 샘플링 주파수 fs가 100 kHz인 시뮬레이션 환경을 고려한다. 그리고, 상기 그래프들은 상기 스펙트럼 센싱 방법에서의 결과에 대한 확률 공간 L=15개의 구간으로 구분하였고, FFT 개수는 N=128로 설정한다. 또한, 5000개의 샘플 개수 및 -90dBm의 잡음전력을 고려하며, 1000회의 반복계산을 수행하였다. 또한, 상기 스펙트럼 센싱 방법에 의해 사용된 SNR은 -10dB인 것으로 가정한다.
- [0094] 도 4a를 참조하면, 가우시안 채널에서, 우선 사용자의 과거 상태가 비사용인 경우의 크로스 주파수 엔트로피 값 및 SNR값의 변화를 보여주고, 도 4b를 참조하면, 가우시안 채널에서, 우선 사용자의 과거 상태가 사용인 경우의 크로스 주파수 엔트로피 값 및 SNR값의 변화를 보여준다.
- [0095] 여기서, CFE는 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역 스펙트럼 센싱을 나타내고, FE는 종래의 주파수 영역에서의 엔트로피 센싱을 나타낸다. 따라서, CFE Noise 및 CFE Signal은 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역 스펙트럼 센싱의 잡음에 대한 엔트로피 결과 값 및 우선 사용자 신호에 대한 엔트로피 결과 값을 나타낸다. 마찬가지로, FE Noise 및 FE Signal은 종래의 주파수 영역에서의 엔트로피 센싱의 잡음에 대한 엔트로피 결과 값 및 우선 사용자 신호에 대한 엔트로피 결과 값을 나타낸다.
- [0096] 상기 도 4a 및 4b를 통해, 우선 사용자의 과거 상태가 비사용인지 사용인 지가 구분될 수 있음을 알 수 있다.
- [0097] 도 4c를 참조하면, 가우시안 채널에서, 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역 스펙트럼 센싱(CFE)와 종래의 주파수 영역에서의 엔트로피 센싱(FE) 각각에서의 SNR에 따른 검출 성능을 볼 수 있다. 도 4c에 도시된 그래프를 통해, 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역 스펙트럼 센싱(CFE)을 수행하는 제1 경우(Pd of CFE case 1) 및 제2 경우(Pd of CFE case 2)는 가우시안 채널에서, 종래의 주파수 영역에서의 엔트로피 센싱(Pd of FE)에 비해 나은 성능을 보인다는 것을 알 수 있다.
- [0098] 도 4d를 참조하면, 가우시안 채널에서, 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역 스펙트럼 센싱(CFE)와 종래의 주

파수 영역에서의 엔트로피 센싱(FE) 각각에 대한 수신기 동작 특성(Receiver Operation Characteristic, ROC)을 볼 수 있다. 상기 도 4d를 통해, 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역 스펙트럼 센싱(CFE)을 수행하는 제1 경우(CFE case 1) 및 제2 경우(CFE case 2)는 가우시안 채널에서, 종래의 주파수 영역에서의 엔트로피 센싱(Frequency Entropy)에 비해 나은 성능을 보인다는 것을 알 수 있다.

- [0099] 도 4e 내지 도 4h는 본 발명의 일 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법을 레일리 채널(Rayleigh Channel)에서 성능을 검증하기 위한 예시를 보여주는 그래프들이다.
- [0100] 상기 도 4e 내지 도 4h에서는, 개선된 주파수 영역에서의 크로스 엔트로피 기반 스펙트럼 센싱을 SNR이 -10dB 인 레일리 페이딩 채널에서 검증한 결과이다. 우선사용자 신호는 각 경로가 0.01초의 지연시간을 가지고, 레일리 분포를 갖는 깊은 페이딩(deep fading)의 단측파대(SSB : Single Side Band) 변조 신호는 15개 경로를 가지는 것으로 가정한다.
- [0101] 도 4e를 참조하면, 레일리 채널에서, 우선 사용자의 과거 상태가 비사용인 경우의 크로스 주파수 엔트로피 값 및 SNR값의 변화를 보여주고, 도 4f를 참조하면, 레일리 채널에서, 우선 사용자의 과거 상태가 사용인 경우의 크로스 주파수 엔트로피 값 및 SNR값의 변화를 보여준다.
- [0102] 상기 도 4e 및 4f를 통해, 레일리 채널에서도, 우선 사용자의 과거 상태가 비사용인지 사용인 지가 구분될 수 있음을 알 수 있다.
- [0103] 도 4g를 참조하면, 레일리 채널에서, 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역 스펙트럼 센싱(CFE)와 종래의 주파수 영역에서의 엔트로피 센싱(FE) 각각에서의 SNR에 따른 검출 성능을 볼 수 있다. 이 경우, 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역 스펙트럼 센싱(CFE)을 수행하는 제1 경우(Pd of CFE case 1) 및 제2 경우(Pd of CFE case 2)는 레일리 채널에서도, 종래의 주파수 영역에서의 엔트로피 센싱(Pd of FE)에 비해 나은 성능을 보인다는 것을 알 수 있다.
- [0104] 도 4h를 참조하면, 레일리 채널에서, 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역 스펙트럼 센싱(CFE)와 종래의 주파수 영역에서의 엔트로피 센싱(FE) 각각에 대한 수신기 동작 특성을 볼 수 있다. 이 경우, 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역 스펙트럼 센싱(CFE)을 수행하는 제1 경우(CFE case 1) 및 제2 경우(CFE case 2)는 레일리 채널에서도, 종래의 주파수 영역에서의 엔트로피 센싱(Frequency Entropy)에 비해 나은 성능을 보인다는 것을 알 수 있다.
- [0105] 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 크로스 엔트로피 기반의 주파수 영역을 위한 스펙트럼 센싱 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0106] 상기 스펙트럼 센싱 방법은 우선 사용자의 상태에 따라 2차 사용자의 데이터 전송을 허용하는 인지 무선 통신 시스템에서, 채널의 대상 신호를 스펙트럼 센싱하여 상기 우선 사용자의 상태를 감지한다.
- [0107] 이를 위해, 510 단계는 상기 대상 신호를 고속 푸리에 변환하고, 520 단계는 일정시간 대기하여, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값을 수집한다.
- [0108] 530 단계는 상기 고속 푸리에 변환된 결과를 기초로, 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 현재 값을 수집하고, 540 단계는 상기 채널에 대한 스펙트럼 센싱 결과의 과거 값 및 현재 값을 기초로, 크로스 엔트로피 값을 산출한다.
- [0109] 그리고, 550 단계는 상기 산출된 크로스 엔트로피 값에 따라 상기 우선 사용자의 상태를 결정한다.
- [0110] 본 발명의 실시 예에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.
- [0111] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

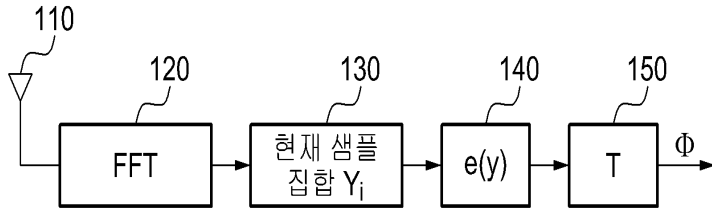
[0112]

그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

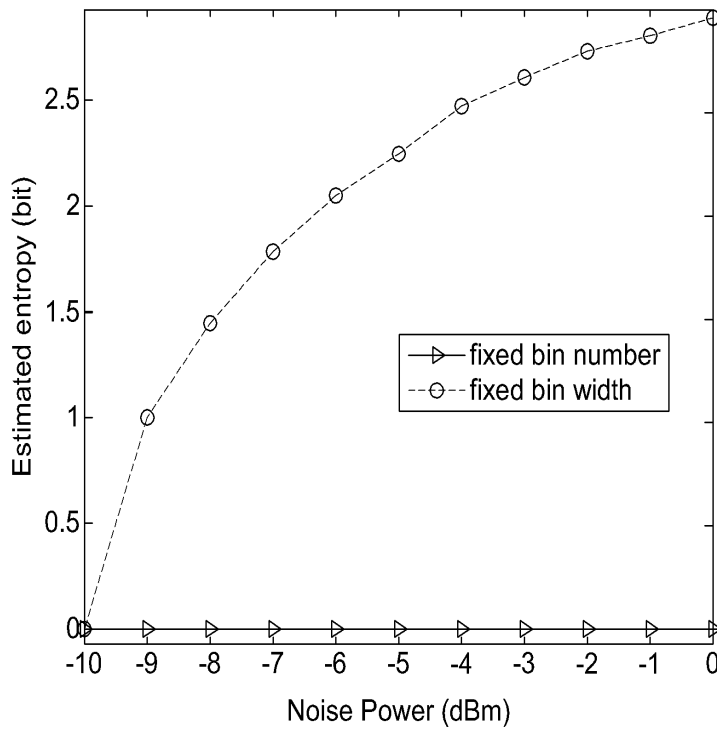
도면

도면1

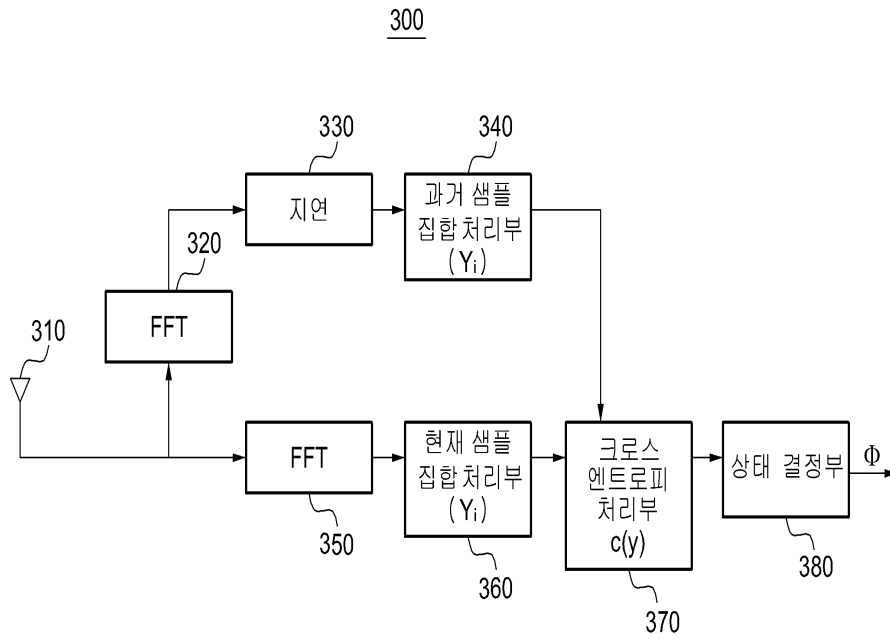
100



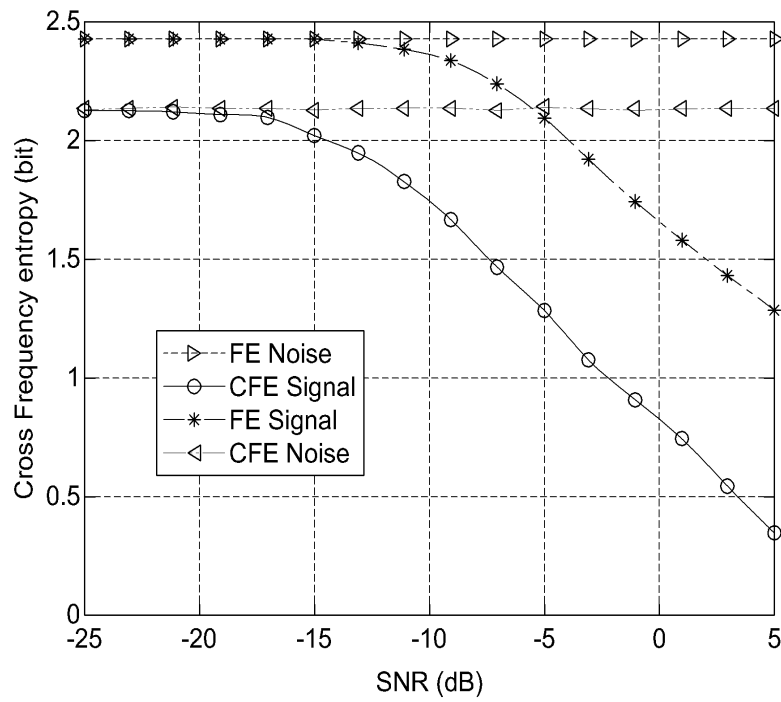
도면2



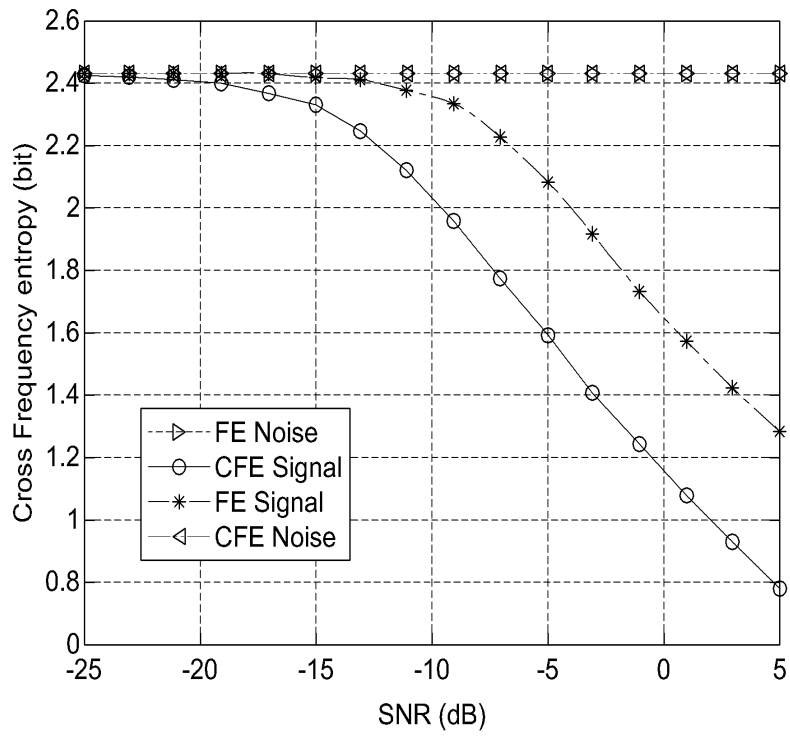
도면3



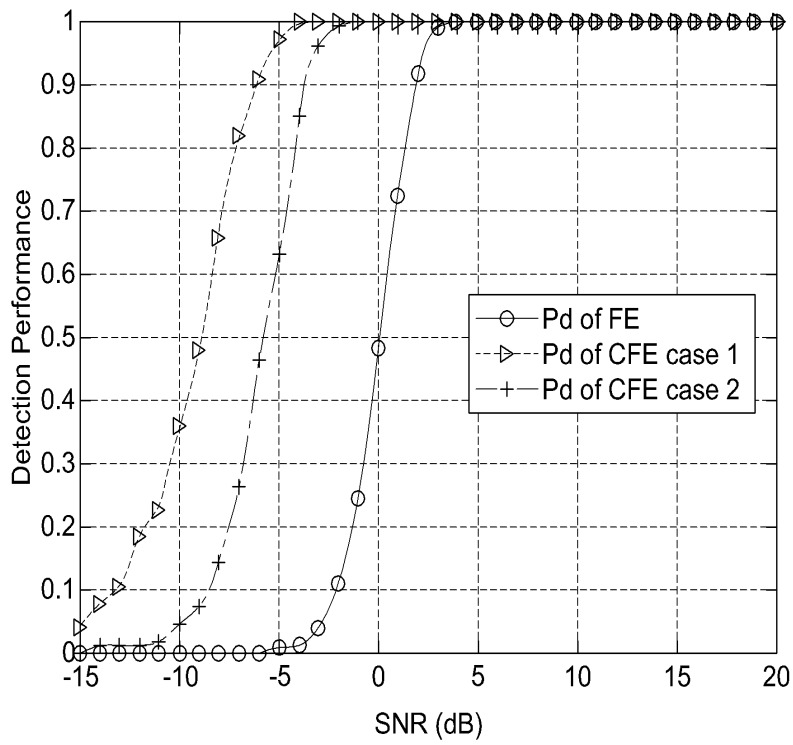
도면4a



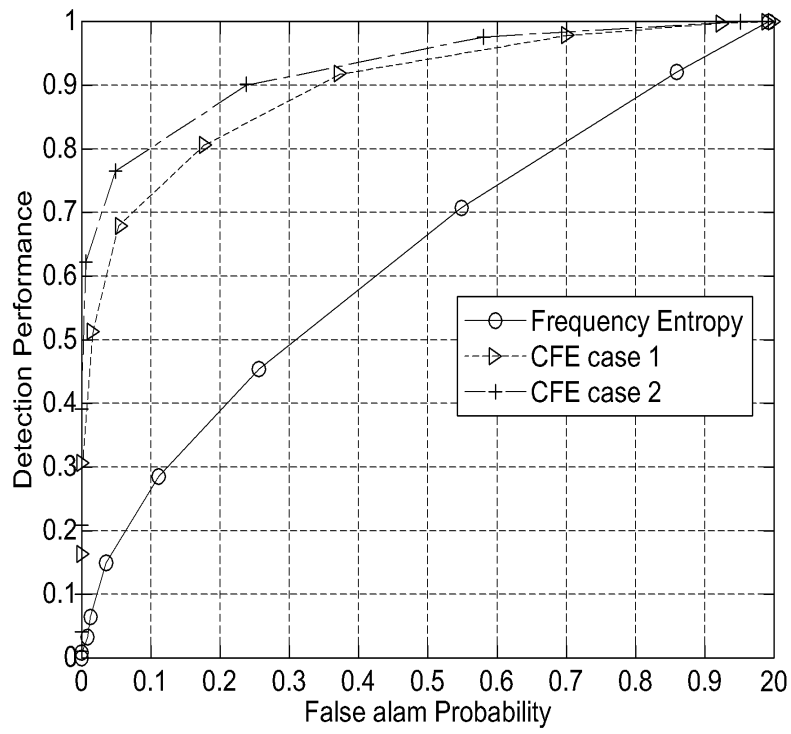
도면4b



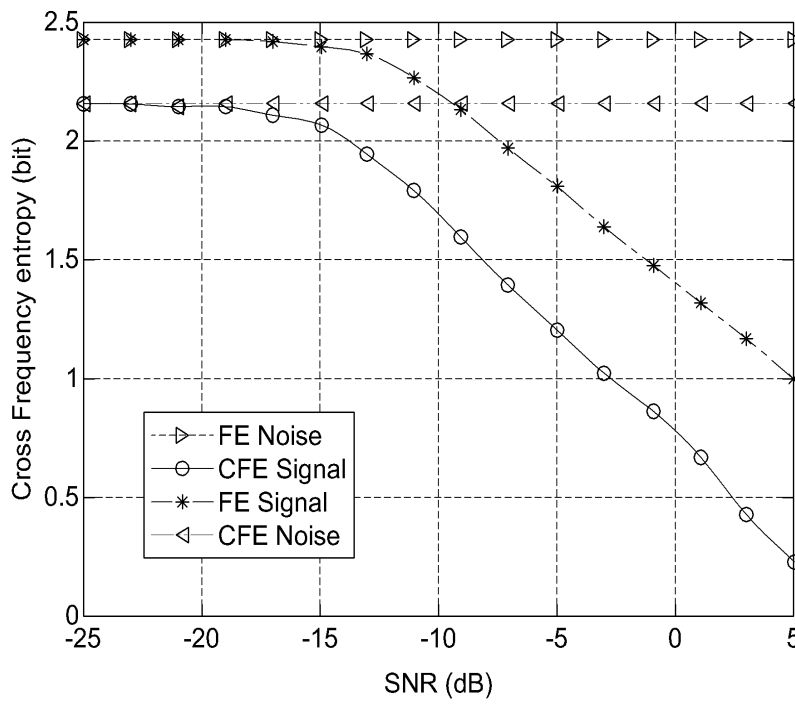
도면4c



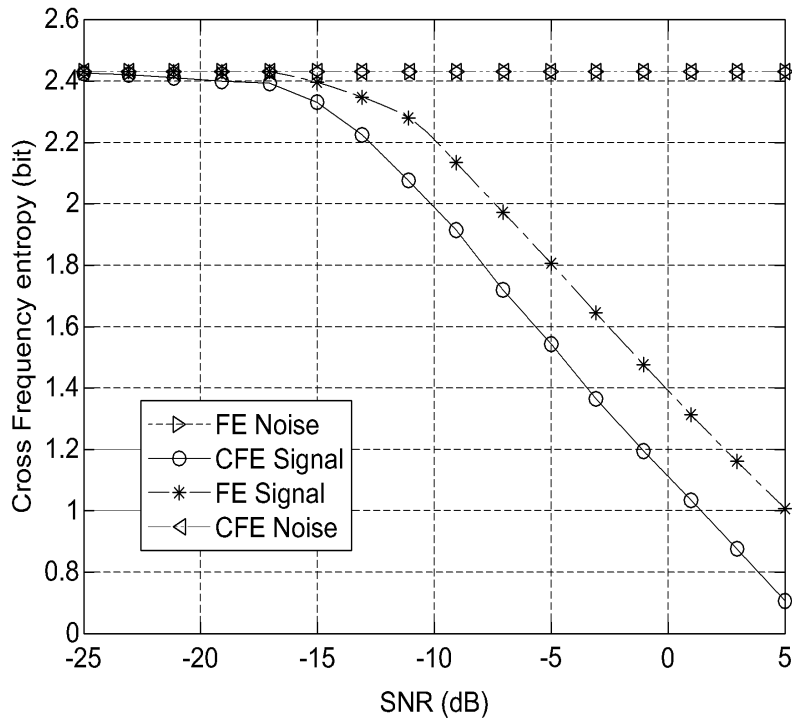
도면4d



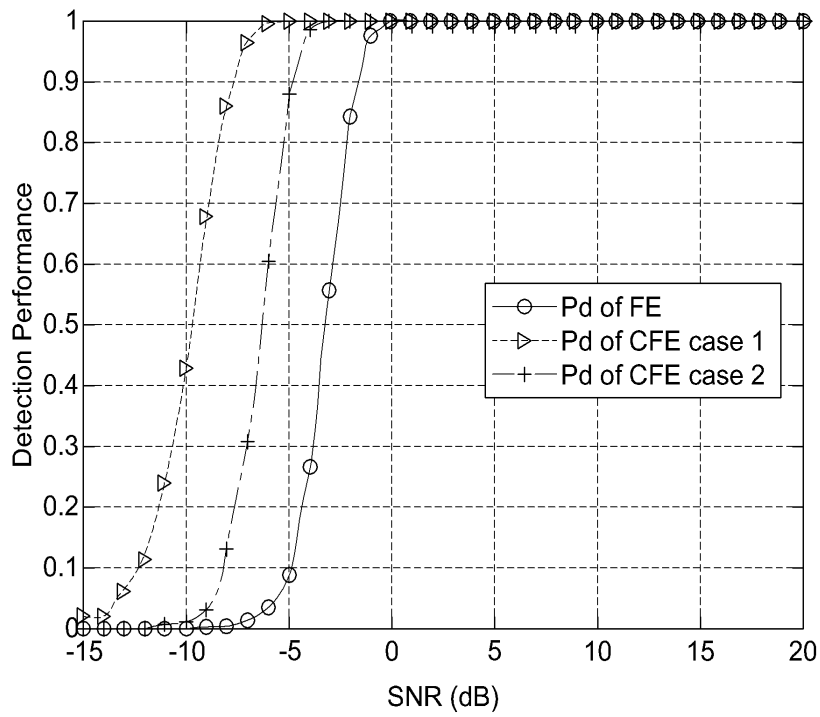
도면4e



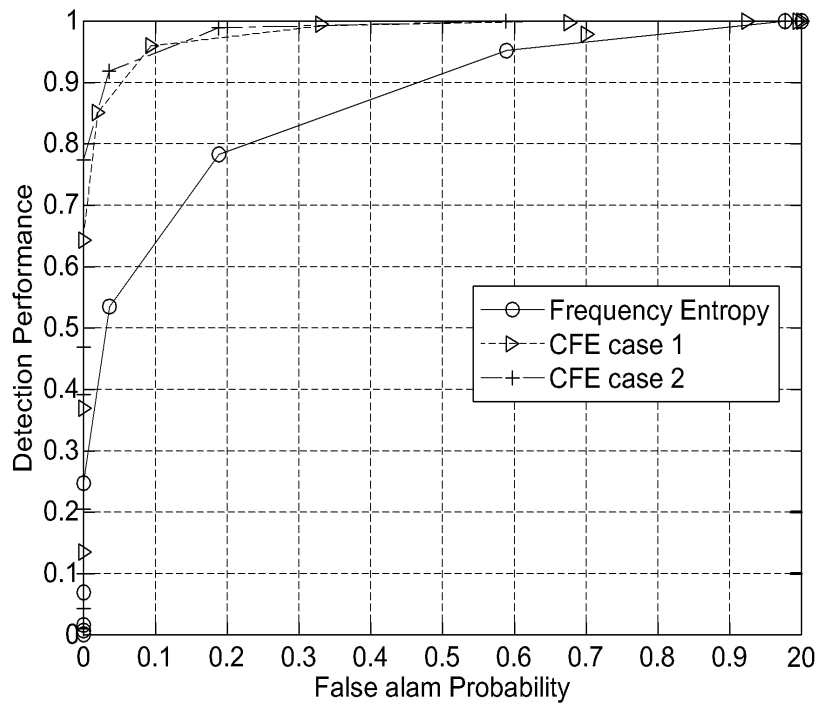
도면4f



도면4g



도면4h



도면5

