다중 안테나 수신 기법을 이용한 인지무선통신의 채널 센싱 기법

Channel Sensing Algorithm of Cognitive Radio Using by Multiple Antenna Receiving Technique

류 제 원*, 김 종 호*, 최 영 완*, 박 호 현*, 이 정 우*, 권 영 빈**, 박 재 화**
Je-Won Ryu, Jong-Ho Kim, Young-Wan Choi, Ho-Hyun Park, Jeong-Woo Lee, Young-Bin Kwon, and Jae-Hwa Park

Abstract

Cognitive Radio(CR)는 특정 주파수 대역을 사용하도록 할당된 유저가 사용하지 않을 때, 이를 탐지하여 해당 주파수 대역을 이용함으로써 주파수 스펙트럼 효율을 향상시킬 수 있는 기술이다. 특히, CR에서 스펙트럼 센싱(Spectrum Sensing)은 중요한 기술의 하나라고 말할 수 있다. 기존의 스펙트럼 센싱 성능을 향상시키기 위한 방법으로, 다수의 노드가 각각 판정한 결과를 이용하는 OR-Rule, AND-Rule 등의 기법이 제안된 바 있다.

본 논문에서는 수신 다이버시티 기법 중의 하나인 Equal Gain Combiner(EGC) 알고리듬을 이용하여 스펙트럼 센싱 성능을 알아보고 특히, 기존의 방법은 각 노드에서 판정 후 판정부에서 그 결과를 결합하여 최종 판정하는 방법이나, 본 논문에서 적용한 EGC 기법은 각 노드에서 수신된 신호에 대한 검출된 에너지 값을 융합센터(Fusion Center)로 보내어 최종 판정하는 방법이다. 각 노드에서 검출된 에너지 값을 융합센터가 수신한 신호에는 실질적으로 잡음이 섞이게 되므로 이로 인하여 발생할 수 있는 전송 오류를 추가적으로 고려하였다. 또한, 각 노드에서 검출한 에너지 값이 융합센터로 전송될 때에는 양자화 되어서 전송된다. 이에 따라서 양자화 bit수와 관련된 센싱 성능과 데이터의 반복 전송의 필요성, 그리고 그 횟수에 대해 제시하고자 한다.

Keywords : Cognitive Radio(CR), Cooperative Spectrum Sensing, Equal Gain Combining(EGC), Fusion Center, Propagation Error.

I. 서 론

최근 수년 동안 무선 통신 기술의 증가로 제한된 자원인 주파수 대역은 각각의 통신을 위한 목적으로 사용되도록 할당되었다. 이로 인하여 점점 사용할 수 있는 주파수 대역은 부족해졌고, 근래에 이르러 비어 있는 주파수 대역이 거의 없을 정도로 그 문제가 심각해졌다. 2003년 12월 미국 FCC(Federal Communications Commission)는 주파수 대역에 대한 실제 사용률을 분석했다[1]. 이는 예상과는 다르게 할당된 주파수 대역의 사용률이 매우 낮음을 보여준다.

따라서, 제한된 주파수 대역의 부족문제를 해결하기 위하여 현재까지 많은 방법이 제안되었고 연구 결과가 발표되고 있다. 그런 방법 중에 하나인 CR(Cognitive Radio)은 기존 주파수 대역의 사용 효율을 향상시키기 위한 방법으로서 SDR(Software Defined Raio) 기술을 발전시킨 것이다[2].

CR기술은 지역 및 시간에 따라 다르게 나타나는 특정 주파수 대역의 할당된 사용자인 PU(Primary User)의 신호를 능동적으로 인지하여 간섭의 영향을 주지 않는 범위에서 다른 유저인 SU(Secondary User)가 해당 주파수 대역을 사용하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해서는 PU의 사용 여부를 탐지하는 것이 무엇보다도 중요하다. 이를 탐지하기 위한 방법으로는 스펙트럼 센싱(Spectrum Sensing)방법이 있다.

스펙트럼 센싱 방법으로는 정합 필터(Matched Filter)를 이용하는 방법, 신호의 특성을 이용하는 특성 검출(Feature Detection) 방법[3], 수신된 에너지를 이용한 에너지 검출(Energy Detection)방법 등이 있다[4]. 정합필터를 이용하는 방법은 가장 좋은 성능을 제공하지만 복잡도가 크다는 문제가 있고, 신호의 주기적인 특성을 이용하는 방법인 특성 검출방법은 SU가 PU의 신호에 대해서 사전정보가 필요하다는 단점이 있다. 에너지 검출방법은 구현에 필요한 복잡도 낮고 센싱에 필요한 시간이 짧다는 점을 고려한다면 다른 방법보다 가장 현실적인 방법으로 생각할 수 있다.

또한, 개별적으로 센싱하는 방법은 산이나 빌딩 등에 의하여 발생하는 쉐도잉(Shadowing)과 다중 경로 페이딩(Multi-path fading)에 의해서 성능 열화가 발생한다[4]. 이를 극복하기 위한 방법으로 다수의 SU를 사용하여 각각의 SU가 판정한 결과를 융합센터로 전송하고, 이에 대해 최종 판정하는 협력 스펙트럼 센싱 방법이 많이 사용되고 있다. 대표적인 협력 스펙트럼 센싱 방법은 OR-Rule, AND-Rule 등이 있다[5].

다수의 노드를 이용하는 OR-Rule, AND-Rule과 같은 경판정 기법은 개별 노드에서 해당 대역에 대한 PU의 사

접수일자 : 2009년 8월 14일
최종완료 : 2009년 8월 14일
*중앙대학교 전자전기공학부
**중앙대학교 컴퓨터공학부

용 여부를 판정한 후에 이를 융합센터에서 최종 판정한다.

개별 노드에서 PU의 사용 여부를 판단하지 않고 융합센터에서 각각의 판정 방법에 따라 최종 판정하는 연판정 기법은 이미 많은 논문에서 제안 된 바 있다[6][7]. 이런 연판정 기법은 성능이 높은 대신에 복잡도 또한 높아지게 되고 센싱 시간 또한 길게 된다.

본 논문에서는 상기 연판정 기법 중 Equal Gain Combining(EGC) 기법을 사용하여, 각각의 개별 노드인 SU에서 판정한 결과를 융합센터로 전송할 때 실제로 발생할 수 있는 오류를 고려하였다.

본 논문의 구성은 II장에서는 본 논문에서 고려하고 있는 시스템 모델을 설명하고, III장에서는 협력 센싱 방법에서 경판정 방법과 본 논문에서 적용한 연판정 방법인 EGC 기법에 대하여 설명하였다. IV장에서는 각각의 노드에서 측정한 결과를 최종 판정하기 위해서 융합센터로 전송할 때, 그 결과를 양자화하여 보내는 과정 중에 발생하게 되는 오류를 고려한다. V장에서는 이에 대한 성능을 비교 분석하였고, 마지막으로 VI에서는 본 논문에서 제시하는 방법을 정리하여 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 다음과 같은 시스템을 가정한다. 인지무선통신의 스펙트럼 센싱에 있어서 그 핵심은 PU 신호의 존재 여부를 판정하는 것이다. 이는 대립되는 두 가지 가설 중에서 한 가지로 판정한다는 점에 있어서 가설 검정(Hypothesis testing) 문제로 생각할 수 있다. 이를 이용하여 하나의 신호에 대해 다음과 같이 생각할 수 있다.

$$y[m]=\begin{cases} n[m] & : H_0 \\ s[m]+n[m] & : H_1 \end{cases} \quad (1)$$

여기서 y[m]은 SU가 수신한 신호이며, n[m]은 평균이 0이고, 분산이 σ2인 AWGN (Additive White Gaussian Noise)를 나타낸다. 또한, s[m]은 PU가 전송한 신호로서 이에 대해 살펴보면, 평균이 0이고, 분산은 μ2인 통계적 특성을 가지고 있다고 가정한다. 이 때 수신된 하나의 신호 샘플에 대해 잡음만 존재하는 경우를 H0 , 잡음과 신호가 같이 존재하는 경우를 H1이라 한다.

수신된 신호는 각각 독립인 통계적 분포를 가질 때, 수신된 신호의 에너지 값은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Y=\sum_{m=1}^{L}\left|y_I[m]+y_Q[m]\right|^2 \quad (2)$$

위 식에서 L은 수신된 신호의 샘플 개수를 의미하고, L 값의 변화에 따라 그 분포가 변화하게 된다. 이 때 L 값이 무한히 크다면, Y의 확률 분포는 중심 극한 정리(Central limit theorem)에 따라서 정규 분포의 특성을 가진다.

$$Y \sim \begin{cases} N\left(2L\sigma^2, 4L\sigma^4\right) & : H_0 \\ N\left(2L(\sigma^2+\mu^2), 4L(\sigma^2+2\mu^2)^2\right) & : H_1 \end{cases} \quad (3)$$

위 식의 N(m,v)는 m이 평균, v가 분산인 정규 분포의 확률 밀도 함수를 나타낸다.

본 논문에서는 에너지 검출 방식으로 PU의 채널 사용 여부를 판단한다. 이를 판정하기 위해서 임계값 T를 결정하고, 수신된 에너지 값이 T보다 큰 경우에는 PU의 신호가 있는 H_1인 경우로 판정하게 된다. 반대로 수신된 에너지 값이 T보다 작은 경우에는 PU의 신호가 없는 H_0으로 판정한다. 이를 위해 Neyman-Pearson lemma를 이용해서 임계값 T를 결정할 수 있다[8]. 식(3)에서 제시한 가설별 확률 분포를 바탕으로 SU에서 PU 신호가 존재할 시 이를 정확히 검출할 확률인 P_D(detection probability)를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_D = P\left(Y>T\middle|H_1\right) = Q\left(\frac{T-2L(\sigma^2+\mu^2)}{\sqrt{4L(\sigma^2+\mu^2)^2}}\right) \quad (4)$$

한편, PU의 신호가 없음에도 임계값 T보다 큰 범위에서 측정됨으로 인해 신호가 존재한다고 판정하여 잘못 검출할 확률인 오류 경보 확률(false alarm probability) PFA는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{FA} = P\left(Y>T\middle|H_0\right) = Q\left(\frac{T-2L\sigma^2}{\sqrt{4L\sigma^4}}\right) \quad (5)$$

식(5)를 이용하여 하나의 노드에서 L개의 샘플을 얻은 각 SU는 어떤 오류 경보 확률 P_{FA}를 나타내는 α의 변화에 따라서 임계값 T를 정의할 수 있고, 이를 식(4)에 적용하여 SU에서의 PU 신호 검출 확률(detection probability) P_D를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_D = Q\left(\frac{(\sqrt{4L\sigma^4}\times Q^{-1}(\alpha)+2L\sigma^2)-2L(\sigma^2+\mu^2)}{\sqrt{4L(\sigma^2+\mu^2)^2}}\right) \quad (6)$$

III. 협력 센싱 시스템 모델

1. 경판정 방법(Hard Decision Method)

각 노드에서 수신된 에너지를 바탕으로 개별적인 판정을 한 후에, 이 판정을 융합센터로 전송하여 최종판정을 하는 방식이다. 대표적인 경판정 방법으로 OR-Rule, And-Rule등이 있다. 이와 같은 판정은 임계값을 기준으로 한다. OR-Rule의 경우에는 각 노드에서 개별적으로 PU 신호 유무에 대한 판정을 한 후, 한 노드라도 PU의 신호가 있다고 판정하는 경우에는 융합센터의 최종 결과에서 신호가 있는 것으로 판정하는 반면, AND-Rule의 경우에는 모든 노드에서 PU의 신호가 있다고 판정하는 경우에만 융합센터의 최종 결과에서 신호가 있다고 판정하게 된다.

2. 연판정 방법(Soft Decision Method)

일반적으로 연판정 방법은 경판정 방법에 비해 PU 신호 판정에 대한 정확도를 높일 수 있다. 본 논문에서는 공간 다이버시티 방법 중에서 EGC(Equal Gain Combining) 기법을 적용한 협력 센싱 방법을 사용한다. EGC 기법은 각 노드에서 개별적으로 판정하지 않고 검출된 에너지 값을 융합센터로 전송한 후에 융합센터에서 최종 판정한다는 점

이 다르다. 융합센터에서 판정할 때에는 전송된 에너지 값의 총합을 노드의 개수로 나누어 평균한 뒤, 그 값을 임계값 T와 비교하여 해당 채널에 신호가 존재하는지 최종 판정하게 된다. EGC 기법에 대한 PD식은 다음과 같다.

$$P_{D_EGC} = Q\left(\frac{(\sqrt{4L\beta\sigma^4}\times Q^{-1}(\alpha)+2L\beta\sigma^2)-2L\beta(\sigma^2+\mu^2)}{\sqrt{4L\beta(\sigma^2+\mu^2)^2}}\right) \quad (7)$$

위 식은 α의 오류 경보 확률(PFA)을 가질 때, 각 노드의 개수에 따른 신호 검출 확률(PD)을 나타낸 식이다. 이 때 β는 협력 스펙트럼 센싱에 참여한 노드의 총 개수를 의미한다.

IV. Propagation Error

무선인지통신의 협력 스펙트럼 센싱 방법을 통한 판정 결과를 융합센터로 전송하는 방법에 있어서 각 노드는 일반적인 무선통신을 통해 그 결과를 전송하게 된다. 이와 같은 과정에서 전송 오류가 발생할 수 있다. 성능이 좋은 기법을 통해 각 노드에서 PU의 존재 유무에 대해서 정확하게 판정했다 하더라도, 전송 과정에서 오류가 발생한다면 융합센터의 최종 판정에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

또한, EGC 방법은 각 노드에서 수신한 에너지 값을 융합센터에 전송한 후에 최종 판정하므로 에너지 값은 양자화(Quantization)되어져서 전송된다. 노드에서 수신한 에너지 값을 나타내기 위한 bit 수가 너무 작으면 수신한 에너지 값을 정확히 표현할 수 없게 되어 최종 판정에 대해서 영향을 미치고, 반대로 너무 크면 전송 오류로 인한 영향을 많이 받을 수 있다. 이와 같은 이유로 수신한 에너지 값을 표현하기 위한 최적의 양자화 bit의 개수를 찾는 것이 중요하다.

V. 성능 분석

본 장에서는 모의실험을 통해 III장에서 설명한 경판정 방법의 성능과 연판정 방법인 EGC의 성능을 비교 분석하였다. 그리고 개별 판정 결과가 양자화되어 전송되는 도중에 오류가 발생되는 경우도 고려하였다. 또한, 전송 오류를 극복하기 위한 적절한 데이터 반복 전송 횟수를 얻기 위한 모의실험도 진행하였다.

이 모의실험은 IEEE 802.15.4의 PHY layer의 표준을 기준으로 진행하였다. IEEE 802.15.4의 경우 CCA(Channel Clear Assessment)를 8심볼(=128μs)동안 수행하는데, 1심볼은 32개의 칩으로 구성되어 있으므로 최대 256개의 칩을 에너지 검출 방식의 샘플 개수로 설정할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 시스템의 처리 시간을 고려하여 샘플 개수 L=100, 협력 스펙트럼 센싱을 위한 노드의 개수 β=3로 설정하고 모의실험 결과를 도출하였다.

1. Non-Propagation Error

본 절에서는 EGC 방법의 적용에 따른 성능을 분석함에 있어, 먼저 전송 오류를 고려하지 않은 상황을 가정하고자 한다. 앞서 II장에서 도출했던 식을 바탕으로 성능 분석 결과를 나타내면 아래와 같다.

그림 1에서는 PFA가 10%일 때, SNR의 변화에 따라서 한 개 노드의 스펙트럼 센싱을 통한 판정, 협력 스펙트럼

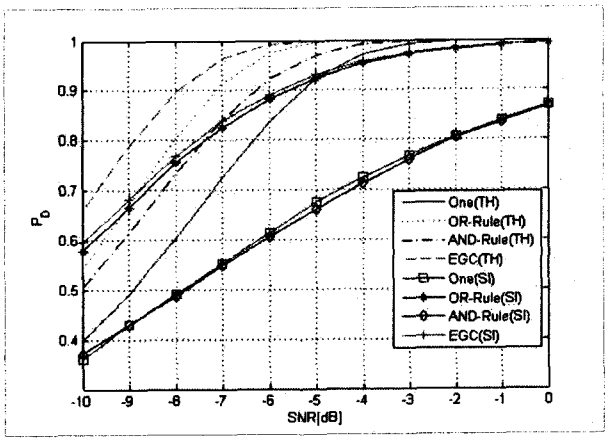


그림 1. SNR에 따른 협력 스펙트럼 센싱 방법들의 P_D변화(P_{FA}=0.1)

센싱 중에서의 OR-Rule과 AND-Rule의 판정, EGC 기법을 적용한 판정 방법을 서로 비교하였다. EGC 방법은 한 개의 노드나 AND-Rule보다 월등히 뛰어난 검출 확률을 보이며, OR-Rule과는 근소하지만 SNR -10dB에서 약 2.5% 이상 검출 확률이 높다는 사실을 확인할 수 있다.

그림 2와 그림 3는 SNR이 0dB, -10dB일 때 협력 스펙트럼 센싱 방법에 따라서 ROC(receiver operation characteristics) 곡선을 나타낸 것이다. ROC 곡선을 이용하면 요구하는 오류 경보 확률에서 신호 검출 확률이 어느 정도인지 살펴볼 수 있다. 이를 이용하여 그림2를 살펴보면, 0dB에서는 EGC 기법을 적용한 방법이 10%의 오류 경보 확률을 가질 때에 OR-Rule과 차이가 없다고 볼 수 있을 만큼 비슷한 양상을 보이지만, 한 개의 노드에서의 검출 확률이나 AND-Rule의 검출 확률보다는 12% 이상 월등함을 살펴 볼 수 있다.

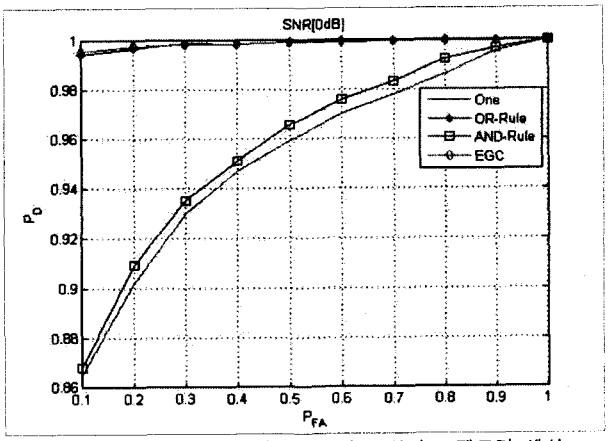


그림 2. 오류 경보 확률(P_{FA})에 따른 협력 스펙트럼 센싱 방법들의 P_D 변화(SNR=0dB)

그림 2의 분석과 같이 그림 3을 살펴보면 -10dB에서 오류 경보 확률의 값에 상관없이 전반적으로 약 2%의 검출 확률의 우수함을 보여준다.

이를 근거로 하여 EGC 기법이 일반적인 경판정 방법보다 신호 검출 확률에 있어 우수한 성능을 보여준다는 사실을 알 수 있다.

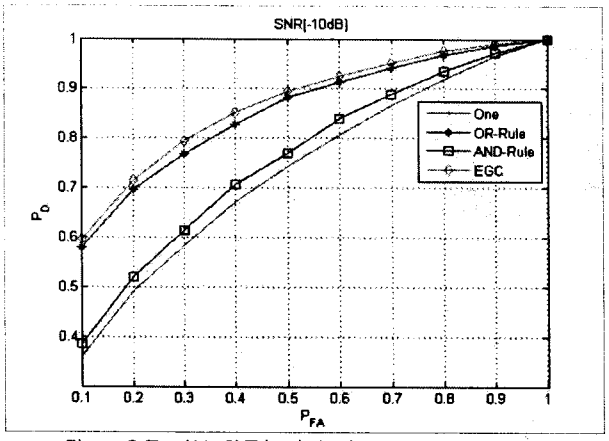


그림 3. 오류 경보 확률(P_{FA})에 따른 협력 스펙트럼 센싱 방법들의 P_D 변화(SNR=-10dB)

2. Propagation Error

EGC 기법은 각 노드에서 검출한 에너지 값을 양자화하여 융합센터로 전송하기 때문에 이 과정에서 전송 오류가 발생한다. 양자화된 bit수가 많을수록 전송 오류 또한 증가할 수 있고 이는 최종 판단에 영향을 줄 수 있다. 불필요한 전송 오류의 증가를 막기 위해 적정 양자화 bit수를 알아내기 위한 모의실험을 진행하였다. 또한, 전송 오류를 줄일 수 있는 방법 중 반복 전송 방법을 적용한 모의실험을 진행하였다. 검출된 에너지 값을 양자화 bit의 크기에 따라 다르게 적용하여 모의실험을 진행한 결과는 아래와 같다.

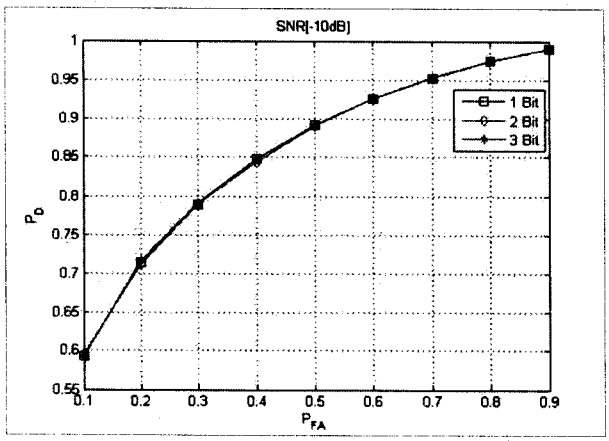


그림 4. 소수점 양자화 bit 수 변화에 따른 P_D 변화

그림 4에서는 융합 센터로 전송되는 소수점 bit수의 증가에도 불구하고 신호 검출 확률(PD)은 거의 동일함을 알 수 있다. 이 결과로 바탕으로 융합센터로 전송되는 각 노드에서의 에너지 값 소수 부분을 고려한 양자화는 비효율적임을 알 수 있다.

그림 5에서는 각 노드에서 측정한 에너지 값을 양자화한 후에 융합센터로 전송할 때, 이 양자화 bit의 반복 횟수 변화에 따른 P_D의 변화를 보여준다. 양자화 bit의 반복 전송 횟수가 많을수록 신호의 검출 확률은 높아짐을 알 수 있다. 그러나 반복 전송 횟수 증가에 따른 향상되는 성능은 점점 작아지고, 반복 전송 횟수를 증가하면 융합센터의 최종 판정에 소요되는 시간의 지연을 초래하게 된다.

본 논문에서 적용한 IEEE 802.15.4의 경우 경쟁적으로

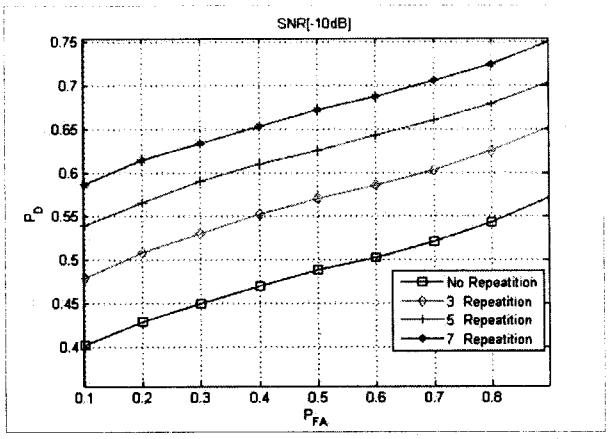


그림 5. 양자화 bit의 반복 전송 횟수에 따른 P_D의 변화

데이터를 전송할 수 있는 Active 구간내의 Contention Access Period(CAP)에 대한 범위를 정의하고 있다. CAP에서 한 Slot의 경우 60심볼(240 bit의 정보)의 자료를 전송할 수 있는데, 에너지 검출에 참여한 각 노드의 숫자가 많아진다면 한 노드가 CAP 구간을 점유할 수 있는 시간이 작아야만 한다. 때문에 한 노드에 대하여 전송 가능한 범위를 1/4 Slot에 해당하는 15심볼(60 bit)로 제한하여 전송한다면, 각 노드마다 최대 5번 반복 전송이 가능하게 된다. 1/4 Slot씩 전송하는 경우 모든 노드에서 CAP 구간동안 검출된 에너지 값에 대한 데이터만 전송한다면, 최소 CAP 범위인 440심볼 동안에도 총 1760개의 노드의 결과를 얻을 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 EGC 기법을 이용한 협력 스펙트럼 센싱 방법에서 오류 경보 확률(P_{FA})의 변화에 따른 검출 확률(P_D)를 수식적으로 유도하였다. 그리고 협력 스펙트럼 센싱 방법 중의 경판정 기법인 OR-Rule, AND-Rule과 연판정 기법 중의 하나인 EGC 기법을 통하여 독립적인 스펙트럼 센싱보다 더 나은 성능을 보였다.

협력 스펙트럼 센싱 방법 중에서 EGC 기법을 이용한 에너지 값에서 소수 부분을 나타내는 bit수 증가에 따른 검출 확률의 변화를 알아보았다. 그리고 에너지 값을 양자화 하여 나타내는 bit가 융합센터로 전송될 때 실제적으로 발생할 수 있는 오류를 고려하였다. 이 때 발생할 수 있는 전송 오류를 줄이기 위해 반복해서 검출 에너지 값을 전송하는 방법을 적용하였고, 이를 통해 융합센터의 최종 판정에 더 나은 성능을 가져올 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10544, 10560)의 지원을 받아 수행되었음

[참 고 문 헌]

[1] FCC, "Spectrum policy task force report, (ET Docket No. 02-135), 'Nov. 2002. [Online.] *Available: hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/*DOC-228542A1.pdf

[2] Mitola, J., III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications", in Proc. IEEE Int. Workshop on Mobile Multimedia Communication 1999.

[3] Berkeley Wireless Research Center, "Cyclostationary Feature Detection, " in Proc. IEEE 1st Symposium on DySPAN'05, (www.eecs.berkeley.edu/~sahai /Presentations/DySPAN05_part2.ppt)

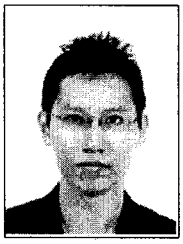
[4] Q. Zhao and B. M. Sadler, "A survey of dynamic spectrum access," *IEEE Signal Processing Mag.*, Vol. 24, No.3, pp.79-89, May 2007.

[5] W. Zhang, R. K. Mallik, and K. B. Letaief, "Cooperative spectrum sensing optimization in cognitive radio networks," *Proc. IEEE Inter. Conf Commun. (ICC)*, pp. 3411-3415, Beijing, China, May 2008.

[6] Z. Quan, S. Cu, and A. H. sayed, "An optimal strategy for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," *Proc. IEEE Global Commun. Conf (GLOBECOM)*, pp. 2947-2951, Washington, DC, USA, Nov. 2007.

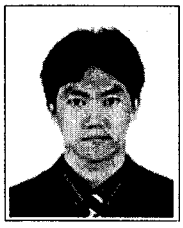
[7] J. Ma and Y. Li, "Soft combination and detection for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," *Proc. IEEE Global Commun. Conf (GLOBECOM)*, pp 3139-3143, Washington, DC, USA, Nov. 2007.

[8] Poor, H. Vincent., *An Introduction to signal detection and estimation*, 2nd ed. Springer-Verlag, c1994.



류 제 원

2007년 중앙대학교 전자전기공학부 학사
2007년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정
<관심분야> 오류정정부호, 정보이론, 무선통신, 신호처리
<e-mail> sskftl1@hotmail.com



김 종 호

2008년 중앙대학교 전자전기공학부 학사
2008년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정
<관심분야> 정보이론, 통신시스템, 무선통신
<e-mail> holythink@wm.cau.ac.kr

최 영 완

1985년 서강대학교 전자공학과 학사
1987년 버팔로 뉴욕주립대 전기및컴퓨터공학과 석사
1992년 버팔로 뉴욕주립대 전기및컴퓨터공학과 박사
1992년~1995년 한국전자통신연구원 선임연구원
1995년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수
<관심분야> Microwave-Photonics, Optical Interconnection, 광스위칭 시스템 및 소자
<e-mail> ychoi@cau.ac.kr

박 호 현

1987년 서울대학교 계산통계학과 학사
1995년 한국과학기술원 컴퓨터공학과 석사
2001년 한국과학기술원 전산학과 박사
1987년~2003년 삼성전자 수석연구원
2003년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수
<관심분야> 멀티미디어 스트리밍, 멀티미디어 정보검색, 시공간 데이터베이스, USN
<e-mail> hohyun@cau.ac.kr

이 정 우

1994년 서울대학교 전기공학과 학사
1996년 서울대학교 전기공학과 석사
2003년 University of Illinois at Urbana-Champaign, Ph.D. in Electrical Engineering
2003년~2004년 University of Illinois at Urbana-Champaign, Research Associate
2004년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수
<관심분야> 통신시스템, 오류정정부호, 정보이론, 무선통신, 신호처리
<e-mail> jwlee2@cau.ac.kr

권 영 빈

1978년 아주대학교 전자공학과 학사
1981년 한국과학기술원 석사
1986년 프랑스 파리 ENST 박사
1995년~현재 국제 패턴인식 학회(IAPR) 이사
2003년~2006년 중앙대학교 정보통신연구원장, 정보대학원장, 전산정보처장, 전산원장
1986년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 패턴인식, 생체인식, RFID 국제표준화
<e-mail> ybkwon@cau.ac.kr

박 재 화

1989년 한양대학교 전자공학과 학사
1991년 한양대학교 전자공학과 석사
2000년 Electrical Engineering,.State Univ. of New York at Buffalo (Ph.D.)
1995년~2000년 Research Scientist CEDAR State Univ. of New York at Buffalo
2001년~2003년 Software Engineer Motorola Inc.
2003~현재 : 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 패턴인식, 휴먼인터페이스 등
<e-mail> jaehwa@cau.ac.kr