DBpia

IEEE 802.22 WRAN 시스템에서 확신 벡터를 이용한 협력 센싱

정회원 임 선 민*, 정 회 윤*, 송 명 선*

Collaborative Sensing using Confidence Vector in IEEE 802.22 WRAN System

Sun-min Lim*, Hoi-yoon Jung*, Myung-sun Song* ***Regular Members***

요 약

IEEE 802.22 WRAN의 사용을 위해서는 TV 대역의 스펙트럼 센싱이 필수적이다. 그러나 WRAN의 센싱 요구 조건을 만족하기 위해서는 긴 휴지 시간이 필요하고 쉐도윙 등의 환경적인 요인에 의해 기민허 사용자를 검출하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 협력 센싱을 통해 각 CPE의 센싱 요구 조건을 완화시키거나 스펙트럼 센싱의 신뢰성을 높인다. 일반적으로 협력 센싱은 k-out-of-N 규칙이 단순한 계산으로 인해 많이 사용된다. 그러나 이 방식의 경우 각 CPE의 SNR의 차이가 많은 경우 협력 센싱을 통해 얻은 센싱 성능이 가장 좋은 SNR을 가지는 CPE의 검출 성능보다 나쁘게 나타난다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 각 노드의 SNR을 반영하여 데이터 퓨전을 수행하는 방법들이 제안되는데 본 논문에서는 새로운 확신 벡터를 이용한 데이터 퓨젼 방식을 제안하였으며 전산 모의 실험 결과 제안된 방식이 기존 방식보다 검출 성능이 개선된 것으로 나타났다.

Key Words : cognitive radio, spectrum sensing, collaborative sensing, data fusion, confidence vector

ABSTRACT

For operation of IEEE 802.22 WRAN system, spectrum sensing is a essential function. However, due to strict sensing requirement of WRAN system, spectrum sensing process of CR nodes require long quiet period. In addition, CR nodes sometimes fail to detect licensed users due to shadowing effect of wireless communication environment. To overcome this problem, CR nodes collaborate with each other for increasing the sensing reliability or mitigating the sensitivity requirement. A general approach for decision fusion, the "k out of N" rule is often taken as the decision fusion rule for its simplicity. However, since k out of N rules can not achieve better performance than the highest SNR node when SNR is largely different among CR nodes, the local SNR of each node should be considered to achieve better performance. In this paper, we propose two novel data fusion methods by utilizing confidence vector which represents the confidence level of individual sensing result. The simulation results show that the proposed schemes improve the signal detection performance than the conventional data fusion algorithms.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원(변경 가능)의 IT 신성장동력 핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음 [2005-S-002-04, 스펙트럼 사용효율 개선을 위한 cognitive radio 기술]

* 한국전자통신연구원 방송통신융합부문 인지무선연구팀(smlim@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2009-02-055 , 접수일자 : 2009년 2월 11일 , 최종논문접수일자 : 2009년 8월 7일

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

IEEE 802.22 WRAN (Wireless Regional Area Network) 시스템은 TV 대역의 면허 사용자인 디지털 TV, 아날로그 TV, 무선 마이크폰 등의 신호에 대해 채널 사용 여부를 판단하여 해당 채널이 비어 있거나 면허 사용자에게 간섭을 주지 않는 규정된 레벨 이하일 경우에만 해당 채널을 사용하는 방식이다. 현재 WRAN 표준화 기구에서는 TV 신호의 경우 데이터베이스를 이용하여 채널의 신호 존재 유무를 파악하도록 규정하고 있으나 데이터베이스에 접속할 수 없는 경우이거나 무선 마이크폰 신호와 같이 신호 출현을 예측할 수 없는 경우에는 스펙트럼 센싱을 통해 신호 존재 유무를 판단하도록 하였다[1].

WRAN 시스템은 고객 댁내 장치 (Customer Premises Equipment, CPE)가 해당 채널에 대해 스펙트럼 센싱을 수행하고 그 결과를 기지국으로 보내면 기지국에서는 여러 CPE들의 센싱 정보를 종합하여 데이터 퓨전을 통해 해당 채널에 대한 최종 판정을 내린다. 데이터 퓨젼은 잠복 터미널 문제 (hidden node terminal) 를 해결하고 동일한 검출 성능을 내기 위해 필요한 각 CPE의 센싱 요구 조건을 완화시킬 수 있으며 센싱에 필요한 휴지 시간을 줄일 수 있는 장점을 가진다[2][3].

본 논문에서는 WRAN 시스템에서 스펙트럼 센싱을 통해 신호를 검출하는 무선 마이크폰의 검출 성능을 향상 시키는 방법으로 두 종류의 확신 벡터를 이용한 데이터 퓨전 방식을 제안하였다. 2장에서는 무선 마이크폰 신호 검출을 위한 방식으로 에너지 검출 방식에 대해 설명하고 3장에서는 기존의 데이터 퓨젼 방식들에 대해 소개한다. 4장에서는 새로운 데이터 퓨젼 방식을 소개하고 5장에서는 전산모의 실험을 통해 새로운 퓨젼 방식과 기존 방식의 성능을 비교 분석하고 6장에서 결론으로 마무리하였다.

Ⅱ. 스펙트럼 센싱

WRAN 시스템에서 채널의 사용 여부를 결정하는 센싱 임계값에 대해서는 기능 요구 사항[4]에 표 1과 같이 명시되어있다. 표 1의 조건에서 오경보 확률이 10% 미만일 때 검출 성능이 90% 이상을 만족하는 경우 센싱 요구 조건을 만족한다고 말한다.

IEEE 802.22 WRAN에서는 스펙트럼 센싱 알고리즘에 대해 구현 시 결정되어야 할 문제로 간주하고 표준에서는 스펙트럼 센싱 함수 (Spectrum Sensing Function, SSF)의 형태로 입·출력 파라미터만을 정의하였다[5]. SSF는 그림 1과 같은 입출력 정보를 가지는데 센싱해야 할 신호 종류, 채널 주파수, 대역폭,수신 데이터 캡처 시간 정보, 오경보 확률 등의 정보를 입력하면 신호 종류에 따른 존재 유무, 신호 강도 그리고 신호 출현의 확신을 나타내는 확신 벡터 등이 출력된다. WRAN 시스템에서는 각 CPE가 센싱 장치에서 얻은 센싱 결과를 기지국으로 전송하면 기지국내의 스펙트럼 관리자 (Spectrum Manager, SM)가 데이터 퓨전을 통해 최종적으로 채널 점유 상태를 판단하게 된다. 기지국에서 최종 판단을 위해 사용할 수 있는 정보로는 각 CPE에서 보고된 신호 출현에 대한 이진 데이터 외에 신호 출현 판단의 신뢰도를 알려주는 확신 벡터와 전계 강도 정보를 이용할 수 있다. 그러나 전계 강도는 RF 수신기에서 측정한 대략적인 값이므로 신호 레벨이 잡음 레벨과 비슷하거나 작은 경우에는 정보의 유용성이 떨어지므로 본 논문에서는 임의의 신호 크기에서도 이용 가능한 확신 벡터를 이용한 데이터 퓨전 방식을 제안하였다.

표 1. WRAN 시스템의 센싱 요구 조건

	ATSC	NTSC	PART 74
센싱 임계값(dBm)	-116	-94	-107
대역폭(MHz)	6	6	0.2
SNR(dB)	-22.2	-0.2	1.5

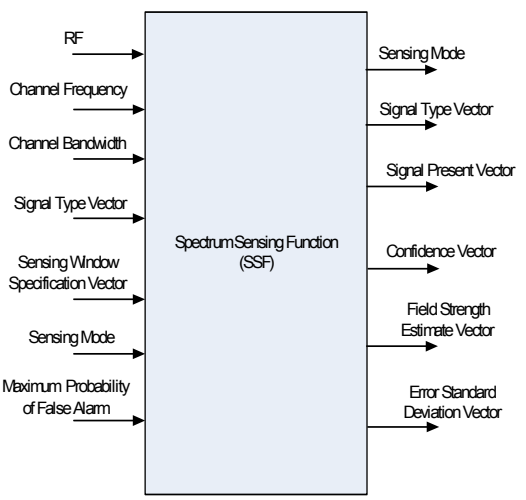

그림 1. 스펙트럼 센싱 함수

www.dbpia.co.kr

2.1 에너지 검출 방식

신호를 검출하는 알고리즘으로 가장 간단하면서 보편적으로 사용되는 방법이 에너지 검출 방식이다. 그림 2는 에너지 검출 방식에 대한 블록도를 나타낸 것으로 단위 시간 동안 수신 신호의 에너지를 측정하여 임계값보다 큰 경우 신호가 존재한다고 판단하는 기법이다. 신호 유무를 결정하는 임계값은 잡음 신호의 확률 분포 함수로부터 정의된 오경보 확률에 따라 결정된다. 에너지 검출 방식의 검출 확률과 오경보 확률은 다음과 같다[6].

$$P_D = \Pr\{Y > \lambda | H_1\} = Q_{\frac{M}{2}}(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda}) \quad (1)$$

$$P_{FA} = \Pr\{Y > \lambda | H_0\} = \frac{\Gamma\left(\frac{M}{2}, \frac{\lambda}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{M}{2}\right)} \quad (2)$$

식(1)의 P_D는 검출 확률로써 $Q_m(\bullet)$는 Marcum Q함수, λ는 임계값, M은 에너지 검출 방식에 사용된 샘플의 개수, γ 는 SNR을 나타낸다. 식(2)의 P_{FA}는 오경보 확률로써 $\Gamma(\bullet)$는 gamma 함수를 나타낸다.

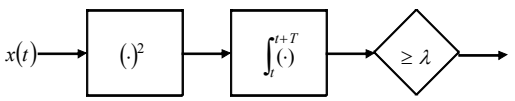

그림 2. 에너지 검출 방식 블럭도

Ⅲ. 데이터 퓨젼

WRAN 실환경에서 무선 마이크폰 신호는 TV 신호와 달리 출현을 예측할 수 없으므로 사전 확률을 계산할 수 없다. 따라서 사전 확률을 요구하는 베이시안 검출, 네이만 피어슨 검정, 순차적 확률비 검정 등은 이용할 수 없으므로 각 CPE로부터 전송되어진 이진 데이터 값만을 이용한 데이터 퓨전 방식을 사용해야하는데 대표적으로 아래와 같은 방식들이 존재한다[7].

3.1 k-out-of-N (Decision Fusion)

데이터 퓨젼 방식의 가장 간단한 형태로써 식(3)과 같이 N개의 CPE로부터 전송되어진 센싱 결과인 이진 데이타 합이 k 이상인 경우 신호가 존재한다고 판단하는 방법이다.

$$u(n) = \begin{cases} 1, \sum_i^N u_i(n) \geq k \\ 0, \sum_i^N u_i(n) < k \end{cases} \quad (3)$$

위 식에서 $u_i(n)$은 n이라는 시간에 i번째 CPE에서 보내온 신호 출현에 대한 이진 데이터 값이고 $u(n)$은 데이터 퓨젼을 통해 판단한 최종 결과값을 나타낸다. 이 방식은 $k=1$인 경우 OR 규칙, $k=N$인 경우 AND 규칙, $k \geq (N+1)/2$인 경우 MAJORITY 규칙이 된다. 아래 식은 k-out-of-N 방식의 검출 및 오경보 확률을 보여주는 식으로 u_i는 i번째 CPE가 판단한 신호 존재 유무에 대한 이진 데이타이고, $P_{D,i}$, $P_{FA,i}$는 i번째 CPE의 검출과 오경보 확률을 나타낸 것이다. P_D, P_{FA}는 데이터 퓨젼을 수행한 최종 판단 결과로써 N개 CPE의 이진 데이터 합이 k이상일 때의 확률을 나타낸다.

$$P_D = \sum_{j=k}^{N} \sum_{\sum u_i = j} \prod_{i=1}^{N} (P_{D,i})^{u_i} (1 - P_{D,i})^{1-u_i} \quad (4)$$

$$P_{FA} = \sum_{j=k}^{N} \sum_{\sum u_i = j} \prod_{i=1}^{N} (P_{FA,i})^{u_i} (1 - P_{FA,i})^{1-u_i} \quad (5)$$

논문 [7]을 참조하면 AND, OR, MAJORITY 규칙의 성능을 다양한 SNR 조건에 따라 비교해 놓았다. 비슷한 SNR을 가지는 경우에는 평균 SNR의 성능보다 데이터 퓨젼 후의 성능이 우수하게 나타나지만, 한 노드가 훨씬 높은 SNR을 가지는 경우에는 데이터 퓨젼 후의 성능이 높은 SNR을 가지는 성능보다 낮게 나타난다[11]. 그래서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 노드의 SNR을 고려하여 가중치를 부여하여 협력 센싱을 수행하는 다양한 방법들이 제안되었다[9],[10].

3.2 단계적 퓨젼

이 방식은 그림 3과 같이 병렬과 직렬 퓨젼 모두를 사용하는 방식으로 SNR에 따라 CPE들을 그룹화하여 낮은 SNR 그룹에서 높은 SNR 그룹으로 단계적으로 데이터 퓨젼을 수행하여 결과를 얻는 방

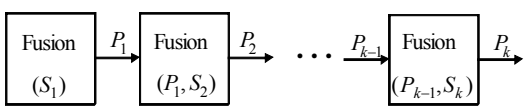

그림 3. 단계적 퓨젼 방식 블럭도

www.dbpia.co.kr

식이다[11]. 비슷한 SNR을 가지는 여러 개의 노드가 존재하는 경우에는 MAJORITY 규칙을 사용하면 결정 방식들 중 가장 우수하게 검출 성능이 향상되므로 퓨젼 결과를 한 개의 노드로 간주하여 다음 단계 SNR 그룹과 통합하여 데이터 퓨젼을 통해 검출 성능을 향상 시키는 원리를 이용한다. 그림 3에서 k단계의 데이터 통합은 이전의 SNR 그룹의 데이터 퓨젼 결과인 P_{k-1}과 현 단계 SNR 그룹에서의 CPE들의 센싱 결과인 S_k를 데이터 퓨전하여 결과 P_k를 생성한다. 이를 j번째 CPE에서의 오경보 확률과 검출 확률로 나타내면 다음과 같다.

$$P_{FA,j}=\frac{\Gamma\left(\frac{M}{2},\sqrt{\frac{t_{j,0}}{2}}\right)}{\Gamma\left(\frac{M}{2}\right)}(1-P_{LFA})+\frac{\Gamma\left(\frac{M}{2},\sqrt{\frac{t_{j,1}}{2}}\right)}{\Gamma\left(\frac{M}{2}\right)}P_{LFA} \tag{6}$$

$$P_{D,j}=Q_{\frac{M}{2}}\left(\sqrt{2\gamma},\sqrt{t_{j,0}}\right)(1-P_{LD})+Q_{\frac{M}{2}}\left(\sqrt{2\gamma},\sqrt{t_{j,1}}\right)P_{LD} \tag{7}$$

여기서 $t_{j,0}$과 $t_{j,1}$은 j번째 CPE의 $u_{j-1}=0$과 $u_{j-1}=1$일 때의 임계값을 나타내고 P_{LFA}와 P_{LD}는 이전 낮은 그룹의 오경보와 검출 확률을 나타낸다. 단계적 퓨젼 방식의 경우 서브 그룹의 CPE 개수가 2개 이하면 OR 규칙을 사용하고, 3개 이상이면 MAJORITY 규칙을 사용한다.

Ⅳ. 확신 벡터를 이용한 데이터 퓨젼

WRAN 시스템의 경우 CPE에서 보고된 SSF 출력에는 신호의 존재 유무 외에 판단의 확신 정도를 나타내는 확신 벡터(Confidence Vector, CV)가 포함되어 있다. 확신 벡터는 0~1 사이의 값으로 확신이 전혀 없는 경우를 0으로 나타내고 그 반대의 경우는 1로 나타낸다.

우선 제안된 첫 번째 방식은 신호의 존재 유무 판단시 판단의 근거가 임계값 근처인 경우 잘못된 판단을 내릴 확률이 높으므로 임계값으로부터 일정 값 이상 차이를 가지는 즉, 확신 벡터값이 일정값 이상인 경우의 CPE 결과만을 모아 데이터 퓨전에 이용하는 방식이다. 이 방식은 다음과 같이 식으로 나타낼 수 있다.

$$\overline{u_i}(n)=\begin{cases}1, & u_i(n)=1, CV_i\geq\lambda\\ -1, & u_i(n)=0, CV_i\geq\lambda\\ 0, & CV_i<\lambda\end{cases} \tag{8}$$

위 식에서 CV_i는 i번째 CPE의 확신 벡터값을 나타낸다. 식(8)의 결과로 CPE의 확신 벡터가 임계값 이상일 때 신호가 존재한다고 판단한 경우는 1, 신호가 존재하지 않는다고 판단한 경우는 -1 그리고 확신벡터가 임계값 미만이면 0으로 할당된다. 식(9)는 식(8)의 결과를 이용하여 기지국에서 최종 신호 존재 유무를 결정하는 식으로써 식(8)에서 할당된 $\overline{u_i}(n)$ 값들의 합을 구해 양수인 경우에는 최종적으로 신호가 존재한다고 판단하고 그렇지 않은 경우에는 채널이 비어있다고 판단한다.

$$u(n)=\begin{cases}1, & \sum_i \overline{u_i}(n)\geq 0\\ 0, & \sum_i \overline{u_i}(n)<0\end{cases} \tag{9}$$

제안된 첫번째 방식의 경우 확신 벡터가 일정값 이상인 CPE의 결과만을 모아 최종 판단에 이용하므로 CPE에서 측정한 신호 존재 판단 근거가 임계값 근처에 위치하여 미검출이나 오경보 등의 잘못된 검출 결과를 가질 수 있는 가능성을 줄일 수 있다.

확신 벡터를 이용하는 두 번째 퓨젼 방법은 모든 노드의 확신 벡터 값을 이용하여 최종 센싱 결과를 얻는 방식으로 식(10)과 같이 i번째 CPE에서 센싱 결과가 신호가 존재한다고 판단한 경우에는 확신 벡터 값을 그대로 이용하고, 신호가 존재하지 않는다고 판단한 경우에는 확신 벡터에 -1을 곱하여 음의 값으로 할당한다.

$$\overline{u_i}(n)=\begin{cases}CV_i, & u_i(n)=1\\ -CV_i, & u_i(n)=0\end{cases} \tag{10}$$

식(10)에서 값을 계산한 후 식(9)와 같이 그 합이 양수인 경우에는 최종적으로 신호가 존재한다고 판단하고 그렇지 않은 경우에는 채널이 비었다고 판단한다. 이 방식은 OR 방식에서 나타날 수 있는 오경보 확률을 줄일 수 있는 방법으로 오경보로 낮은 확신 벡터를 가지고 신호가 존재한다고 판단한 CPE가 있을때 신호가 존재하지 않는다고 판단한 다른 CPE들의 확신 벡터값을 이용하여 오경보를 방지할 수 있는 장점을 가진다.

www.dbpia.co.kr

V. 전산 모의 실험

본 절에서는 4장에서 새로이 제안한 퓨젼 기법에 대해 전산 모의 실험을 수행하고 기존 방식들과 비교, 분석하였다. 각 CPE에서의 신호 검출 방식은 2장에서 설명한 에너지 검출 기법을 이용하였으며, 기지국에서는 각 CPE들이 보고한 센싱 결과를 이용하여 3장과 4장에서 설명한 퓨젼 방식들로 최종 센싱 결과를 판단하여 각 퓨젼 방식별로 오경보 확률에 대한 검출 확률로 성능 비교하였다.

센싱 대상 채널이 1차 면허 사용자가 사용 중이라고 가정하고 셀 내에 4개의 CPE가 존재하는데 이들 중 한 개의 CPE가 쉐도윙으로 인해 신호를 검출하기 어려운 경우를 가정하였다. 수신 신호의 샘플링율은 8MHz, 센싱 시간은 10ms로 가정하고 4개 CPE의 SNR=[-22 -22 -22 -28]dB를 가정하여 전산 모의 실험하였다. 식(1), (2)에서 신호 검출에 사용된 임계값이 SNR에 따른 오경보 확률로부터 계산된 값일 때 확신 벡터는 신호의 에너지가 임계값인 경우 0으로 할당하고 SNR=30dB인 경우의 에너지 값이 확신 벡터값 1로 할당되도록 정규화하였다. 식(8)에서 신호 판단에 이용될 노드들을 결정하는 확신 벡터 임계값은 0.1로 설정하여 전산 모의 실험하였다. 그림 4는 각 데이터 퓨젼 방식의 오경보 확률 대 검출 성능을 나타낸 그래프로써 일반적인 방식인 AND, OR, MAJORITY 방식보다 제안된 확신 벡터를 이용한 방식이 검출 성능이 좋은 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다. 동일한 조건에서 데이터 퓨젼을 통해 WRAN의 센싱 요구 조건인 P_{FA}=10%에서 P_D=90% 이상을 만족하는 경우는 제안된 데이터 퓨젼 방식 중 하나인 모든 CPE의 확신 벡터를 이용하는 두 번째 방식만 만족하는 것으로 나타났다. 이는 비슷한 SNR에서 가장 좋은 성능을 나타내는 MAJORITY 규칙을 이용하는 경우보다 제안된 방식들이 P_{FA}=10%에서 약 5~10%정도 개선된 검출 성능을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 SNR=-28dB를 가지는 CPE의 경우 확신 벡터값이 작으므로 첫 번째 제안된 퓨젼 방식에서 제외되는 경우가 발생하면 SNR=-22dB인 세 개의 CPE를 가지고 데이터 퓨젼을 수행하는 효과를 가져와 MAJORITY 방식보다 검출 성능이 높게 나타나는 것으로 판단된다. 제안된 두 번째 방식의 경우에는 SNR=-28dB를 가지는 CPE의 결과를 아예 제외시키는 것보다 이 경우 확신 벡터값이 작으므로 그 영향을 작게라도 반영시키는 것이 기존의 MAJORITY

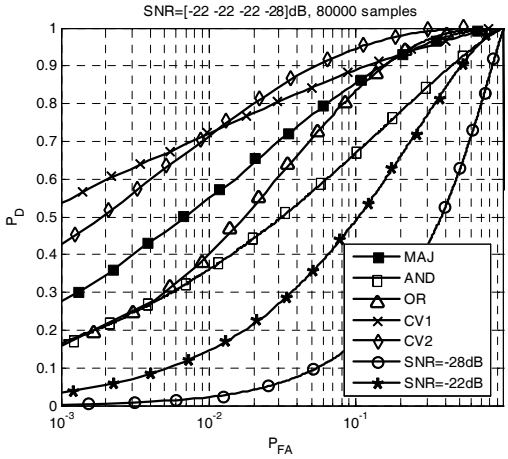

그림 4. 셀내 SNR=[-22 -22 -22 -28]dB인 4개의 CPE를 가지는 경우의 검출 성능

규칙처럼 동일한 영향으로 최종 결과 판단에 이용하는 것보다 좋은 성능을 나타내는 것으로 판단된다. 위와 같은 SNR 조건에서는 단계적 퓨젼 방식은 MAJORITY 규칙과 같게 동작하기 때문에 모의 실험에서 제외하였다.

실환경에서 CPE의 위치는 랜덤하게 분포하므로 각 CPE에서 수신 받은 신호의 SNR 또한 랜덤하게 나타날 것이다. 그림 5는 서로 다른 위치에서 다른 SNR을 갖는 5개의 CPE를 가정하여 검출 성능을 살펴본 것이다. 오경보 확률이 낮아질수록 검출 성능은 CV2>HIER>OR>CV1>MAJ>AND 순으로 나타났다. 따라서 서로 다른 SNR을 가지는 경우에도 제안된 확신 벡터를 이용한 두 번째 방식이 가장 좋은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이는

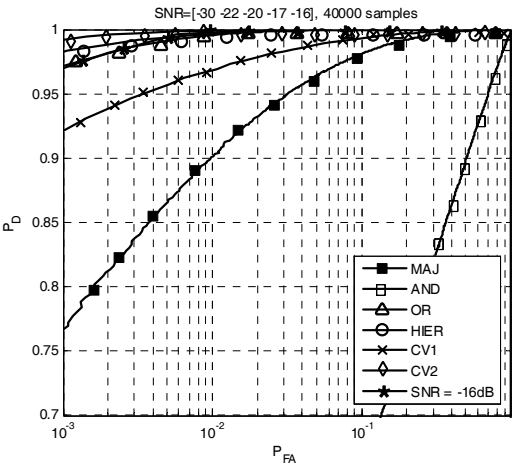

그림 5. 셀내 SNR=[-30 -22 -20 -17 -16]dB인 5개의 CPE를 가지는 경우의 검출 성능

www.dbpia.co.kr

단계적으로 SNR 그룹에 따라 MAJORITY 방식을 수행하는 단계적 퓨전 방식이 기존 단순한 MAJORITY 방식에 비해 높은 성능을 가지지만 단계적 퓨전 방식의 각 단계에서 적용되는 MAJORITY 규칙에서 각 CPE들이 동일한 비율로 판단에 이용되는 것보다 확신 벡터를 이용하여 각 CPE 판단 결과의 신뢰도에 따라 다른 비율로 계산한 두 번째 방식이 더 나은 성능을 가지는 것으로 판단된다. 그리고 단계적 퓨젼 방식의 경우에는 실환경에서 낮은 SNR로 갈수록 그룹을 매핑하기가 어려우므로 실환경에 적용할 경우 단계적 퓨젼 방식의 검출 성능 결과가 저하될 것이라 예상된다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 셀 내에 여러 개의 CPE가 존재하는 경우 최종 센싱 결과를 얻기 위해 이용되는 데이터 퓨젼 방식에 대해 설명하고, 기존의 방식에 비해 성능 개선된 새로운 데이터 퓨젼 방식을 제안하였다. 전산 모의 실험 결과 제안된 방식이 대다수 CPE가 비슷한 SNR 가지고 소수의 CPE가 잠복 터미널 문제를 가지는 경우를 가정했을 때 비슷한 SNR 조건에서 가장 좋은 검출 성능을 나타내는 MAJORITY 방식보다 높은 검출 성능을 가지는 것을 확인하였으며, 그림 5와 같이 CPE간의 SNR 차이가 많은 경우에는 모든 CPE의 확신 벡터를 이용하는 두 번째 제안 방식이 기존 방식보다 높은 검출 성능을 가지는 것으로 나타났다. 제안된 방식들은 무선 마이크폰과 같이 출현 예측이 불가능하여 사전 확률을 계산하기 어려운 시스템에도 적용이 가능하므로 신뢰도를 추정할 수 있는 확신 벡터와 같은 파라미터를 가지는 임의의 데이터 퓨젼 시스템에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

〔1〕 FCC, ET Docket No. 08-260, "Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order," Nov. 2008.

〔2〕 A. Ghasemi, E.S. Sousa, "Collaborative Spectrum Sensing for Opportunistic Access in Fading Environments", In proc. of DySPAN'05, Nov. 2005.

〔3〕 Peh Edward, Liang Ying Chang. " Optimization for Cooperative Sensing in Cognitive Radio Networks". WCNC2007, Mar. 2007.

〔4〕 IEEE 802.22, "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard," IEEE 802.22-05/007r46, Sep. 2005.

〔5〕 IEEE 802.22, "Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands," IEEE 802.22-D1.0, May 2008.

〔6〕 Visser, F.E. Janssen, G.J.M. Pawelczak, P., "Multinode Spectrum Sensing Based on Energy Detection for Dynamic Spectrum Access," *VTC2008-Spring*, May 2008.

〔7〕 P. K. Varshney, *Distributed Detection and Data Fusion*, New York Springer-Verlag, 1997.

〔8〕 W. Wang, L. Zhang, W. Zou and Z. Zhou, "On the Distributed Cooperative Spectrum Sensing for Cognitive Radio", *Intl. Symposium on Commn. And Info. Technologies*, pp. 1496-1501, Oct. 2007.

〔9〕 X. Huang, N. Han, G. Zheng, S. Sohn and J. Kim, "Weighted-Collaborative Spectrum Sensing in Cognitive Radio", *CHINACOM* 2007, pp. 110-114, Aug. 2007.

〔10〕 Z. Quan, S. Qui and A. Sayed, "Optimal Linear Cooperation for Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks", *IEEE J. on Selected Topics in Signal Processing*, Vol. 2, pp. 28-40, Feb 2008.

〔11〕 Wenzhong Wang, Weixia Zou, Zheng Zhou, Yabin Ye, "Detection Fusion by Hierarchy Rule for Cognitive Radio," *CrownCom2008*, pp. 15-17, May 2008.

임 선 민 (Sun-min Lim) 정회원

2000년 2월 충남대학교 정보통신공학과 졸업

2002년 2월 충남대학교 정보통신공학과 석사

2005년 2월 충남대학교 정보통신공학과 박사과정 수료

2006년 9월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀

<관심분야> 무선 인지 기술, 스펙트럼 센싱, 비선형 시스템의 선형화

www.dbpia.co.kr

정 회 윤 (Hoi-yoon Jung) 정회원

2006년 2월 한국정보통신대학교 공학부 학사졸업
2008년 2월 한국정보통신대학교 공학 석사졸업
2008년 2월~현재 한국전자통신연구원 인지 무선연구팀
<관심분야> 인지 무선 기술, 스펙트럼 센싱, 다중 안테나 시스템

송 명 선 (Myung-sun Song) 정회원

1984년 2월 충남대학교 전자공학과 학사졸업
1986년 2월 충남대학교 전자공학과 석사졸업
1986년 1월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀 팀장
<관심분야> 무선 인지 기술, 밀리미터파 통신, 무선 통신 시스템

www.dbpia.co.kr