

사물지능통신(M2M)을 위한 하이브리드 스펙트럼 센싱 시스템

김남선*

Hybrid Spectrum Sensing System for Machine-to-Machine(M2M)

Nam-Sun Kim*

요약 본 논문에서는 M2M 서비스를 위한 클러스터 기반의 혼합 스펙트럼 센싱 시스템에 대하여 연구한다. 클러스터 내에서, 주 노드의 전송반경 이내의 부 노드들은 국부 스펙트럼 센싱을 통한 경관정 방법을 사용하여 주 노드의 존재 유무를 판단하며, 그 이외의 부 노드들과 무선 채널 환경이 좋지 않은 부 노드들은 협력 스펙트럼 센싱을 수행하여 얻은 값들을 연관정 방법을 통해 주사용자의 존재를 판단한다. 레일리 페이딩 채널하에서, 제안된 혼합 스펙트럼 센싱 시스템에서, 부 노드들의 수에 따른 성능을 기존 시스템과 분석한다. 협력 센싱을 수행하는 사용자의 수를 2, 3, 4로 증가함에 따라 클러스터 오류확률은 SNR이 -10[dB]에서 각각 0.5608, 0.5252, 0.4001으로 감소됨을 알 수 있었다. 제안된 시스템은 연관정-연관정, 연관정-경관정 방법을 사용하는 기존 시스템 보다 적은 오버헤드 트래픽을 사용하므로 주파수 이용 측면에서도 효과적임을 알 수 있었다.

Abstract This paper presents cluster based hybrid spectrum sensing system for M2M services. For each cluster, secondary nodes within the transmission radius of the primary node use hard decision method through local spectrum sensing to determine whether the primary node exists. And the other secondary nodes and the secondary nodes having poor radio channel conditions judge the existence of the primary node through the soft decision method of the values obtained by performing the cooperative spectrum sensing. In the proposed hybrid spectrum sensing system, the performance according to the number of secondary nodes is analyzed with the conventional system over Rayleigh fading channel. As the number of cooperative sensing users increased to 2, 3 and 4, the cluster error probability decreased to 0.5608, 0.5252 and 0.4001 at SNR of -10[dB] respectively. Since the proposed system uses less overhead traffic, it is found that it is more effective in terms of frequency usage than the conventional system using soft decision-soft decision and soft decision-hard decision methods.

Key Words : Cognitive Radio, Decision Methods, Energy Detection, M2M, Spectrum sensing,

1. 서론

사물인터넷(IoT, Internet of Things), 사물지능통신(M2M, Machine-to-machine)은 모든 사물에 센서, 통신 기능을 부과하여 지능적으로 정보를 수집하고 상호 전달하는 시스템이다. 이러한 사물

통신 네트워크 환경에서는 사람 대 사람, 사람 대 사물뿐만 아니라 사물 대 사물간의 통신 네트워크가 가능해져 모든 객체간의 정보 공유가 가능해지며 이는 미래 유비쿼터스(ubiquitous) 정보 서비스 사회로 진화하기 위한 필수적인 기술 요소라 할 수 있다[1]. 유비쿼터스 시대에는 전파도 유비쿼터

*Corresponding Author : Department of Electrical, Electronic and Communication, Daejin University (kimns@daejin.ac.kr)

Received April 11, 2017

Revised April 17, 2017

Accepted April 17, 2017

스하게 이용해야 함으로, 독점적으로 사용하던 전파의 효율성을 높이기 위해 전파를 유연하게 이용할 수 있는 시스템이 필요하다. 여기서 인지무선(CR, Cognitive Radio) 기술은 주파수를 할당 받은 면허 사용자(주 노드)가 해당 주파수를 사용하지 않을 경우, 비면허 사용자(부 노드)가 면허 사용자에게 간섭을 주지 않고 해당 주파수를 사용할 수 있는 기술로서, 효율적인 주파수 대역의 사용요구를 만족시킬 수 있다.[2] 이러한 인지무선은 노드의 밀도가 높아지는 방향으로 진화하고 있는 무선 통신환경에서 M2M과 스마트폰 등을 위한 적합한 통신 환경을 제공한다[3].

스펙트럼 센싱(spectrum sensing)은 에너지 검출(energy detection) 방식 등을 이용하여 사용되고 있지 않은 스펙트럼을 찾아내는 기능을 말한다. 스펙트럼 센싱에서 가장 중요한 것은 부 노드(SN, Secondary Node)가 주 노드(PN, Primary Node)의 채널 사용 유무를 정확하게 판단하는 것인데, 협력(cooperative) 스펙트럼 센싱을 이용하여 페이딩이나 장애물 등으로 인한 스펙트럼 검출 성능이 저하되는 것을 극복할 수 있다[4]. 협력 센싱에서 센싱 결과를 판정하는 기법에는 연판정(Soft decision) 방식과 경판정(Hard decision) 방식이 있다[4]. 연판정 방법에서 각 노드는 센싱 결과를 결정하지 않고 센싱 정보만을 융합센터(FC)에 전송하고 융합센터에서 최종 판정을 내리는 방식인 반면, 경판정 방법은 각 노드들이 일차적으로 스펙트럼 유휴를 판단하여 그 결과를 융합 센터에 전송하면 융합 센터에서 이를 취합하여 최종 판정 방식에 따라 스펙트럼 사용 여부를 최종 판단하게 된다[5]. 본 연구에서는 M2M과 같이 인지 노드들이 많아지는 환경에서 경판정과 연판정을 혼용하는 혼합(hybrid) 스펙트럼 센싱 방법을 제안하며 이를 성능 및 오버헤드(overhead) 측면에서 분석한다. 제안된 클러스터 기반 협력 센싱 시스템에서, 각 클러스터 내에서 무선 환경이 좋거나 주 노드의 전송반경 내에 있는 부 노드들은 로컬 센싱을 수행하고 경판정 방법을 사용하며, 채널 환경이 좋지 않은 부 노드들은 협력 센싱을 수행하며 연

판정 기법을 사용하는 것으로 하였다.

기존의 연구에서, 혼합 센싱에 관한 대부분의 연구는 협력 센싱 시스템을 고려하였고, 클러스터 내에서는 연판정 기법을, 클러스터 간에는 경판정 기법을 사용하여 유휴 스펙트럼을 찾는 방법이다[6]-[8]. 또한 한 지역에서 혼합 센싱을 사용하는 시스템을 분석하였다[9]. 그러나 본 연구는 클러스터 내에서도 혼합 센싱기법을 사용하였으며 채널 환경에 따라 경판정과 연판정을 사용하는 사용자 수를 변화시킬 수 있게 하였다.

2. 스펙트럼 검출 시스템

협력 센싱기법은 센싱에 사용되는 데이터 트래픽의 감소와 센싱의 정확도를 향상시키기 위해 각 노드가 개별적으로 센싱한 결과를 함께 활용하는 기법이다. 클러스터링 기반의 협력 센싱은 인접한 다수의 노드들을 논리적인 그룹인 클러스터로 묶어서 관리하는 방법으로, 주 노드의 존재 여부 판단을 2단계로 나누어 진행한다. 우선 각 센서 인지 노드가 국부 센싱을 통해 독립적으로 주 노드 신호를 검출하고 이 결과를 이용하여 클러스터내의 클러스터 헤드(CH, Cluster Head)에서 1차 협력 판정을 수행한다. 여기서 CH는 국부 스펙트럼 센싱 데이터의 신뢰도가 가장 높은 노드가 CH가 되며, 판정 결과를 융합센터(FC, Fusion Center)에 전송하고, 융합센터는 이를 바탕으로 종합적인 결과를 도출한다[4]. 부 노드들은 주 노드의 신호를 검출하기 위해 국부 스펙트럼 센싱을 수행하는데, i 번째 부 노드가 관측하는 수신신호, $y_i(k)$ 는 식 (1)과 같은 두 가지의 가설(hypothesis)을 따른다[10].

$$y_i(k) = \begin{cases} n_i(k) & i = 1, 2, \dots, N : H_0 \\ h_i s(k) + n_i(k) & i = 1, 2, \dots, N : H_1 \end{cases} \quad (1)$$

여기서 H_0 는 주 노드가 존재하지 않는 것이며, H_1 은 주 노드가 존재하는 것을 의미한다. 또한 $s(k)$ 는 주 노드의 신호, h_i 는 센싱 채널 이득이고,

$n_i(k)$ 은 평균이 0, 분산이 σ_i^2 인 AWGN을 나타낸다. 에너지 검출기를 사용하는 i 번째 인지 노드 수신기의 검정 통계량은 검출 샘플 수를 L 이라 할 때 식 (2)와 같다.

$$Y_i = \sum_{k=1}^L |y_i(k)|^2 \quad (2)$$

각 부 노드의 에너지 검출기 출력은 식 (3)의 분포를 따른다.

$$Y_i = \begin{cases} \chi_L^2, & : H_0 \\ \chi_L^2(2\gamma_i), & : H_1 \end{cases} \quad (3)$$

여기서 Y_i 와 γ_i 는 각각 i 번째 노드가 수신한 에너지와 수신한 신호의 SNR을 나타낸다. 또한 χ_L^2 은 L 의 자유도를 갖는 중심 카이 제곱분포(central chi-square distribution)이다. L 이 큰 경우, Y_i 는 중심극한정리에 따라 식 (4)와 같은 가우시안 분포로 근사시킬 수 있다[7].

$$Y_i \approx \begin{cases} N(L, 2L) & : H_0 \\ N(L(1+\gamma_i), 2L(1+2\gamma_i)) & : H_1 \end{cases} \quad (4)$$

각 인지 부 노드에서는 수신신호의 에너지를 자신들의 검출 임계값, λ_i 와 비교하여 임계값 이상이면 주 사용자가 존재한다고 판단하고, 그렇지 않으면 면허 사용자가 존재하지 않는다고 판단한다. 주 노드가 채널을 사용하고 있는 경우, 주 노드의 전송 범위 안에 있는 부 노드들 중에서 간섭의 영향이 낮거나 받지 않는 경우에는 주 노드의 채널 사용 유무에 대한 국부 결정값의 정확도가 높다. 반면 장애물 등으로 인한 간섭 영향을 받은 부 노드의 국부 결정값의 정확도가 낮다[11]. 국부 스펙트럼 센싱 데이터의 신뢰도가 가장 높은 인지 노드가 융합센터가 되어 주변 노드로부터 스펙트럼 센싱값을 수집하여 스펙트럼 사용 유무에 대한 1차 결정을 내린다.

3. 하이브리드(hybrid) 스펙트럼 센싱

에너지 검출방식의 협력 스펙트럼 센싱에서 스펙트럼 감지 결정방식은 경관정 방식과 연관정 방법이 있다. 여기서 연관정 방식의 경우는 융합센터에 전달해야 하는 데이터 양이 많아 오버헤드가 늘어나 주파수 효율 및 구현측면에서 불리하지만 성능은 높아지는 특성을 가지며, 경관정 방식은 센싱의 성능은 연관정 방식보다 낮지만 시스템의 부담이 적고 비교적 단순한 방식이라 할 수 있다. 본 절에서는 이런 각각의 장단점을 갖는 연관정방식과 경관정 방식을 혼합한 혼합 스펙트럼 센싱 방식을 제안한다.

3.1 연관정(Soft decision) 기법

연관정 기법에서는 국부적으로 스펙트럼 센싱한 다수의 부 노드들이 센싱한 에너지 값을 바로 FC로 전송하고, FC는 이들을 취합하여 문턱값과 비교하여 최종 결정을 내린다. 연관정 결합 방식은 최대 비율 결합법(MRC), 동일 이득 결합법(EGC)등이 있다. MRC 기반 협력 스펙트럼 센싱에서, 주 노드와 부 노드들의 거리에 따른 가중치, w_j 를 반영하여 각 부 노드들의 에너지 값을 융합한 값은 식 (5)와 같다.

$$Y_S = \sum_{j=1}^M w_j Y_j \quad (5)$$

여기서 M 은 국부 센싱에 참여하는 부 노드들의 수를 나타낸다. Y_j 와 w_j 가 독립이라 가정하면, Y_S 는 식 (6)과 같은 가우시안 분포를 갖는다.

$$Y_S \approx \begin{cases} N(L \sum_{j=1}^M w_j, 2L \sum_{j=1}^M w_j^2) & : H_0 \\ N(L \sum_{j=1}^M w_j(1+\gamma_j), 2L \sum_{j=1}^M w_j(1+2\gamma_j)) & : H_1 \end{cases} \quad (6)$$

연관정 경우만을 생각하면, 융합센터에서의 검

출 확률(P_d , Detection probability)와 오경보 확률(P_f , False Alarm Probability)은 각각 식 (7), 식 (8)과 같다[7].

$$P_f = P(Y_S > \lambda | H_0) = Q \left(\frac{\lambda - L \sum_{j=1}^M w_j}{\sqrt{2L \sum_{j=1}^L w_j^2}} \right) \quad (7)$$

$$P_d = P(Y_S > \lambda | H_1) = Q \left(\frac{\lambda - L \sum_{j=1}^M w_j (1 + \gamma_j)}{\sqrt{2L \sum_{j=1}^L w_j^2 (1 + 2\gamma_j)}} \right) \quad (8)$$

3.2 경판정(Hard decision) 기법

경판정 기법은 국부적으로 센싱한 다수의 부 노드들이 주 노드의 존재 유무를 판단하고 그 결과를 1비트(0 또는 1) 단위, d_i 로 표현하여 FC로 전송한다.

$$d_i = \begin{cases} 0, & PN \circlearrowleft \text{ inactive} \\ 1, & PN \circlearrowleft \text{ active} \end{cases} \quad (9)$$

FC에서 가질 수 있는 N 개의 국부 센싱 결과의 집합, $d = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}$ 가 주어진다면 검출 확률과 오경보 확률은 식 (10)와 (11)으로 표현된다.

$$P_d(d) = \prod_{j=1}^N (1 - P_{d,i})^{(N-d_i)} (P_{d,i})^{d_i} \quad (10)$$

$$P_f(d) = \prod_{j=1}^N (1 - P_{f,i})^{(N-d_i)} (P_{f,i})^{d_i} \quad (11)$$

여기서 $P_{f,i}$ 와 $P_{d,i}$ 는 에너지 검출 방식에 의해 얻어지는 검출 확률과 오경보 확률이다. 경판정 기법에서 센싱 정보를 취합하는 방법에는 OR-rule, AND-rule과 M -out of- N 이 있다. 여기서 AND-rule의 전체 센싱 결과를 나타내는 검출 확률과 오경보 확률은 다음과 같다.

$$Q_d = \prod_{j=1}^N P_{d,i} \quad (12)$$

$$Q_f = \prod_{j=1}^N P_{f,i} \quad (13)$$

3.3 혼합 스펙트럼 센싱

음영지역, 쉐도잉(shadowing) 등에 의해 센싱 정확도를 높이는 데에는 한계가 있다. 그림 1은 본 연구에서 제안한 혼합 스펙트럼 센싱 시스템의 개념도를 나타낸다.

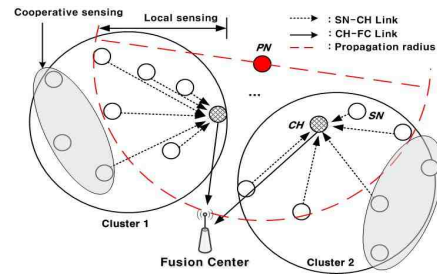


그림 1. 혼합 스펙트럼 센싱시스템

Fig. 1. Hybrid Spectrum Sensing System

클러스터 내에서 주 노드와 가까이 위치한 부 노드가 주 노드의 스펙트럼 사용 유무를 정확히 판단할 가능성이 상대적으로 높다. 즉, 주 노드와 부 노드간의 거리가 다 다르므로, 주 노드의 전송 범위 내에 위치해 있는 부 노드들은 그렇지 못한 노드들에 비해 상대적으로 검출 정보의 신뢰성을 가지므로 각각 국부 센싱을 통해 얻은 값을 가지고 경판정하여 1[bit] 정보로 CH로 전송한다. 반면 전송범위 밖에 위치하거나 각종 장애물로 인하여 검출 정보의 신뢰성이 저하되는 부 노드들은 협력 스펙트럼 센싱을 수행하며 이들은 경판정보보다 성능이 좋은 연관정을 이용하여 주 노드의 존재 유무를 판정하여 이 결과를 CH로 전송한다. 이와 같은 과정을 통해 클러스터 내에서 1차 판정을 하게 된다. 이러한 1차 판정 결과가 융합센터(FC)로 전송되는데, 융합센터에 전달해야 하는 데이터의 양

을 감소시키기 위해 융합센터에서는 경관정 기법을 통해 최종 결정을 내린다.

c 번째 클러스터의 총 부 노드의 수를 K 라 한다. 국부 센싱을 사용하는 부노드와 협력 센싱을 하는 부 노드의 수를 각각 N , $M(=K-N)$ 이라면 식 (7), (8), (12) 그리고 (13)에 따라 클러스터의 혼합 센싱 시스템의 성능은 식 (14)와 (15)로 표현된다.

$$Q_{k,f} = \prod_{i=1}^N \left[Q \left(\frac{\lambda - L \sum_{j=1}^M w_j}{\sqrt{2L \sum_{j=1}^L w_j^2}} \right) \right]^i \quad (14)$$

$$Q_{k,f} = \prod_{i=1}^N \left[Q \left(\frac{\lambda - L \sum_{j=1}^M w_j (1 + \gamma_j)}{\sqrt{2L \sum_{j=1}^L w_j^2 (1 + 2\gamma_j)}} \right) \right]^i \quad (15)$$

또한 C 개의 클러스터가 존재하는 경우의 전체 센싱 성능은 식 (16)과 식(17)으로 표현된다.

$$Q_{FC,f} = \prod_{c=1}^C (Q_{k,f})^c \quad (16)$$

$$Q_{FC,d} = \prod_{c=1}^C (Q_{k,d})^c \quad (17)$$

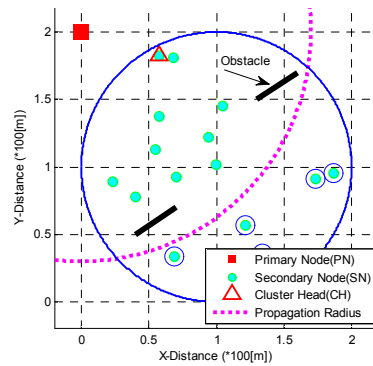
4. 성능 분석

이 절에서는 레일리(Rayleigh) 채널 환경하에서 제안된 시스템과 기존 시스템[7]과의 센싱 성능을 MATLAB 시뮬레이션을 통해서 분석한다. 성능 분석을 위해 3개의 클러스터($C=3$), 각 클러스터에는 6명의 부 노드들($K=6$)이 존재하며 부 노드들의 평균 SNR은 -10 [dB]로 가정된 시스템을 고려하였다. 판정을 위한 연판정 기법은 EGC를 사용하였으며 경관정 방법으로는 AND-rule을 사용하였다.

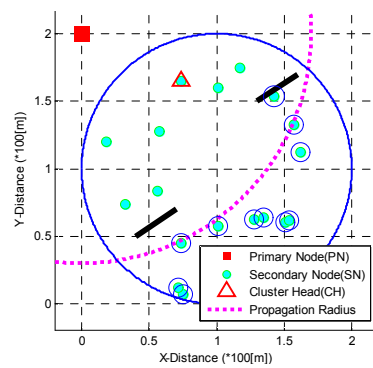
본 논문의 혼합 센싱 시스템 모델의 두 가지의 예를 그림 2에 표시 하였다. 그림 2의 한 클러스터

에서, 랜덤하게 분포하는 K 개(18개)의 부 노드 중에서 N 개의 국부 센싱을 하는 노드(\bullet), M 개의 협력 센싱을 하는 노드(\odot)와 각 노드들의 정보를 받아 최종 결정을 내리는 한 개의 CH가 존재한다. 여기서 그림 2의 (b)와 같이 부 노드가 주 노드의 전송반경 내에 존재하더라도 장애물 등에 의해 수신 환경이 좋지 못하다면 이 노드들은 협력 센싱에 포함 시키는 것으로 한다.

그림 3은 $C=1$, $K=6$ 인 상태에서, 부 노드의 SNR의 함수로 클러스터 오류 확률을 분석 하였다. 여기서 $H_0 = H_1 = 0.5$ 로 하였으며 협력 센싱을 수행하는 사용자 수(M)를 증가시켰다. SNR= -10 [dB]에서, $M=2, 3, 4$,로 증가함에 따라 오류확률은 각각 0.5608, 0.5252, 0.4001으로 감소됨을 알 수 있었다.



(a)



(b)

그림 2. 혼합 스펙트럼 센싱 시나리오
Fig. 2. Hybrid spectrum sensing scenarios

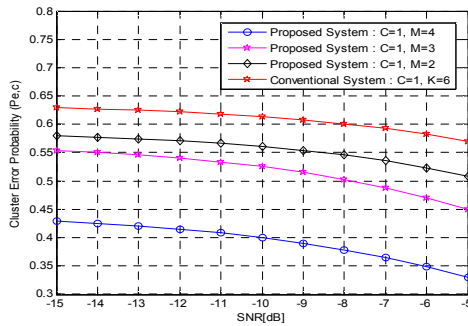


그림 3. 클러스터 오류확률
Fig. 3. Cluster Error Probability

그림 4는 $C=3$, $N=6$ 인 경우, 연관정 방법, 경관정 방법과 제안된 시스템의 수신기 동작 특성 (ROC curve)을 나타낸다. 제안된 시스템의 한 클러스터에서 경관정 방법을 사용하는 부 노드의 수, $M=3$ 으로 가정하였다. ROC 커브는 전체 검출 확률이 증가함에 따라 전체 오 경보 확률의 증가 폭은 작아야 하므로 왼쪽 상단을 향할수록 좋은 특성을 갖는다. 오 경보 확률이 0.1일 때, 제안된 시스템의 검출 확률은 약 0.8로 기존의 시스템과 연관정 방법을 사용하는 시스템의 중간적인 성능을 보이고 있다. 기존의 시스템보다 성능은 조금 떨어지나, 이것은 CH나 FC로 전달해야 하는 정보의 양인 오버헤드 측면에서 이점을 가져올 것이다. 그림 5는 연관정 방법을 사용하는 M 의 영향을 표시하는데, M 이 증가함에 따라 성능이 향상됨을 알 수 있다.

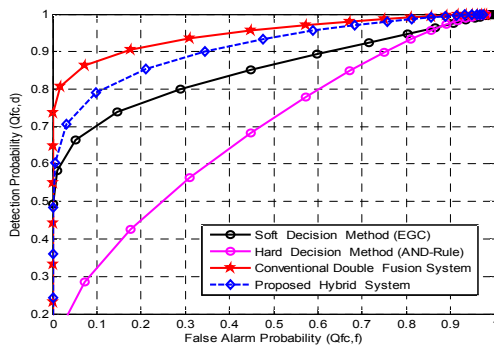


그림 4. 제안된 시스템의 ROC 성능
Fig. 4. ROC performance Of proposed system

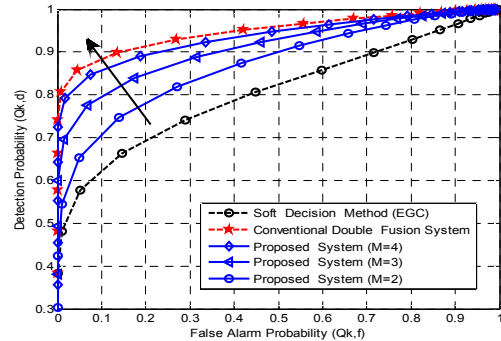


그림 5. M 에 따른 ROC 성능
Fig. 5. ROC performance according to M

표 1은 클러스터 내와 클러스터 간에서 사용한 판정방법에 따른 오버헤드 트래픽을 분석 하였다. 여기서 연관정 기법을 사용한 경우 $x(x \geq 2)$ 비트의 정보로 표시되며, 경관정 기법을 사용하는 경우는 센싱의 결과가 1[bit]의 정보로 표시된다.

표 1. 오버헤드 트래픽 분석
Table 1. Analysis of overhead traffic

Decision Methods		Number of bits	Number of bits
Within Cluster	Between Cluster	SN → CH	CH → FC
Soft	Soft	$x \times K$	$x \times C$
Soft	Hard	$x \times K$	C
Hybrid	Hard	$(x \times M) + (N - M)$	C

만약 $x=3$, $C=3$, $N=3$, $M=3$ 이라 가정하면, SN에서 CH 그리고 CH에서 FC로 전송되는 오버헤드트래픽은 연관정-연관정, 연관정-경관정 그리고 혼합-경관정시스템에서 각각 (18, 18), (18, 3), (12, 3)[bits]로 제안된 시스템이 가장 적은 오버헤드를 가지는 것을 알 수 있다.

5. 결론

향후 M2M와 스마트 폰과 같이 인지 노드들이 많아지는 환경에서, 주파수 자원의 부족 현상이 심화될 것이다. 이를 해결하기 위한 한 가지 방법인 인지 무선 기술은 한정된 주파수 자원을 효율적으로 확보 할 수 있을뿐 만아니라 데이터 전송 속도

까지 높아지는 결과를 가져올 것이다.

본 연구에서는 인지 노드들이 많아지는 환경에서 연관정과 경관정을 혼용하는 혼합 협력 스펙트럼 센싱 방법을 제안하며 이를 분석하였다.

제안된 시스템에서, 협력 센싱을 수행하는 사용자의 수를 2, 3, 4로 증가함에 따라 클러스터 오류 확률은 SNR이 -10 [dB]에서 각각 0.5608, 0.5252, 0.4001으로 감소됨을 알 수 있었다. 또한 표 1에서 제시된 바와 같이 기존의 연관정-연관정, 연관정-경관정을 사용하는 시스템에 비해 오버헤드 트래픽이 감소하여 주파수 이용 측면에서도 이점이 있음을 알 수 있었다.

향후 수신신호세기, 위치정보 등의 여러 파라미터를 도입하여 혼합 스펙트럼 센싱을 유연하게 운영할 수 있는 방법의 연구가 필요하다고 본다.

REFERENCES

- [1] K. Hyeong Jun, "Understanding of IoT Network," *Information and Communications Magazine*, V. 27, pp. 21-28, 2010
- [2] K. Hyungu, S. Ickho, B. Jinsoo, M. Hwangki and K. Dongjin, "A Novel Spectrum Sensing Scheme for Cognitive Radio with Receive Diversity: Performance Analysis in Non-Fading Channel," *The Journal of Information, Electronics and Communication Technology*, Vol 3, No. 4, pp. 49-69, 2010
- [3] N. Gosan, L. Sungmook, W. Hanho, "Study on Performance Evaluation of Energy-Constrained Open-Loop Cooperative Sensing in Cognitive Radios," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 63, pp. 34~39, 2014
- [4] M. Subhedar and G. Birajdar, "Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio Networks: A Survey," *International Journal of Next-Generation Networks(IJNGN)*, Vol.3, No.2, June 2011.
- [5] D. Teguig, B. Scheers, and V. Le Nir, "Data fusion schemes for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," *Military Communications and Information Systems Conference (MCC)*, pp. 1-7, 2012
- [6] A. El-Saleh, M. Ismail, M. Ali, and I. Arka, "Hybrid SDF-HDF cluster-based fusion scheme for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," *KSII Trans. on Internet and Information Systems*, Vol. 4, No. 6, pp. 1023-1041, 2010.
- [7] H. Du, Z. Wei and Y. Dacheng, "Hybrid Cooperative Spectrum Sensing Scheme Using Double-Fusion in Cognitive Radio Networks," *Journal of Computational Information Systems*, Vol. 7, pp. 1500-1507, 2011
- [8] N. T. Do and B. An, "A Soft-Hard Combination-Based Cooperative Spectrum Sensing Scheme for Cognitive Radio Networks," *Sensors*, vol. 15, pp. 4388-4407, 2015.
- [9] A. Sungjun, S. Intae, L. Kwangeog and K. Joonhyuk, "A Hybrid combination scheme for cooperative spectrum sensing in ununiform SNR environment," *Proc. of the Korean Institute of Communication Sciences Conference*, Vol. 2015, No. 11, pp. 575-576
- [10] Eunah Cho, *On Optimum Sensing Time over Fading Channels of Cognitive Radio System*, Master's thesis, AALTO UNIVERSITY, October, 2010
- [11] K. Hyung Seo and K. In Soo, "A Robust Spectrum Sensing Method Based on Localization in Cognitive Radios," *Journal of Internet Computing and Services*,

Vol.12, No.1, pp. 1-10, 2011

저자약력

김 남 선 (Nam-Sun Kim)

[정회원]



- 1991년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학 석사)
- 1995년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학 박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 대진대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

이동통신, 인지무선통신, 디지털통신