

이기종 사용자 기반 협력 스펙트럼 감지를 위한 적응형 그룹화 알고리즘

서 동 호*, 남 해 운*, 최 세 영^o

An Adaptive Grouping Algorithm for Cooperative Spectrum Sensing Based on Heterogeneous Users

Dongho Seo*, Haewoon Nam*, Seyeong Choi^o

요 약

이 논문에서는 2차사용자의 감지 성능이 서로 다른 다중 채널 환경에서 그룹 기반 협동 스펙트럼 감지를 위한 그룹화 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 2차사용자의 오류 확률을 고려한 그룹화를 통해 감지 정확도를 향상시킴으로써 전체 네트워크의 처리량을 증가시킨다. 시뮬레이션 결과는 제안된 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 감지 정확도와 총 네트워크 처리량을 크게 향상시킬 수 있음을 보여준다.

Key Words : Cognitive Radio (CR), Cooperative Spectrum Sensing (CSS), Grouping algorithm

ABSTRACT

In this paper, we propose a grouping algorithm for group-based cooperative spectrum sensing in multi-channel environments where the secondary users' sensing performances are different. The proposed algorithm increases the total network throughput with a grouping by considering the error probability of secondary users. Simulation results show that the proposed algorithm can improve the

sensing accuracy and total network throughput significantly compared to the conventional algorithm.

I. 서 론

인지 무선 네트워크(Cognitive Radio Network)에 서는 우선 사용자(primary user)가 해당 채널을 사용하고 있지 않을 경우 2차사용자(secondary user)가 공유함으로써 주파수 효율성을 높일 수 있다. 스펙트럼 감지 기법은 우선사용자의 채널 사용 유무를 결정하는 데 중요한 역할을 하며 이때 단일 2차사용자의 감지 성능이 무선채널 환경이나 음영지역, 새도잉 효과 등에 의해 현저하게 떨어질 수 있기 때문에 여러 2차 사용자가 협력해서 동일한 채널을 감지한 결과를 융합센터(fusion center)에 보고하여 융합센터가 해당 감지 채널의 사용 유무를 최종적으로 결정하게 된다^{1,2}. 일반적으로 스펙트럼 감지에 참여하는 2차사용자 수가 증가할수록 감지 정확도는 증가하게 되지만 실제 환경에서는 감지에 참여할 수 있는 2차사용자 숫자가 제한되어 있으며 또한 다수의 감지 채널이 존재할 수 있다. 따라서 주어진 2차사용자를 다중 감지 채널에 효과적으로 할당하여 동시에 여러 채널을 효과적으로 감지할 수 있는 클러스터링 및 그룹화 알고리즘이 많이 연구되었다^{3,4}. 기존의 연구들은 대부분 동일한 환경의 다수 2차사용자를 기준으로하기 때문에 평균 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)나 감지 성능이 동일한 상황을 가정하고 진행한다. 이러한 가정은 모든 2차사용자가 동일한 검출 확률(detection probability)과 오경보 확률(false alarm probability)을 갖는다는 점이 실제 인지 무선 네트워크 환경과 많이 다르다는 한계가 있다. 이러한 점을 보완하기 위해서 이기종 2차사용자로 이루어진 다중 채널 감지의 인지 무선 네트워크 환경에서 그룹화 알고리즘이 연구되었다⁵. 2차사용자 각각의 채널에 따라 다른 검출 확률값을 고려하여 그룹 목표 검출 확률을 만족시키는 2차사용자들의 조합으로 그룹화를 하였다. 신호 대 잡음비가 좋은 환경에서는 그 성능이 보장되지만 반대 환경에서는 오류 확률(error probability)이 크게 증가하기 때문에 감지 정확도가 크게 떨어질 수 있다는 단점이 존재

* 본 연구는 한국연구재단 논문연구과제(NRF-2017R1D1A1B03027926) 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : (ORCID:0000-0002-3394-3422)Dept. of Elec. and Comm. Eng., Hanyang University, johnseo@hanyang.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-1888-9165)Dept. of Info. and Comm. Eng., Wonkwang University, sychoi@wku.ac.kr, 종신회원

* (ORCID:0000-0001-9847-7023)Dept. of Elec. and Comm. Eng., Hanyang University, hnam@hanyang.ac.kr, 정회원
논문번호 : 201808-246-A-LU, Received August 16, 2018; Revised September 14, 2018; Accepted October 4, 2018

한다. 이 논문에서는 이기종 2차사용자의 그룹 목표오류 확률을 만족시키는 그룹화 알고리즘을 제시하고 시스템 성능에 대한 모의실험 및 결과와 분석을 제시한다.

II. 시스템 모형

이 논문에서는 K 개의 2차사용자와 L 개의 우선사용자로 이루어진 인지 무선 네트워크 환경을 고려한다. k -2차사용자 ($k = 1, 2, \dots, K$)가 수신하는 n 번째 표본을 $x_k(n)$ ($n = 1, 2, \dots, N$)이라하며 우선사용자의 채널 사용 유무에 따라 $x_k(n)$ 을 다음과 같이 정의한다.

$$x_k(n) = \begin{cases} v_k(n), & H_0 \\ h_k s(n) + v_k(n), & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

이때 $v_k(n)$ 는 평균 0, 분산 σ_v^2 인 부가백색가우스 잡음이라 가정하며 신호 $s(n)$ 의 평균과 분산은 각각 0과 σ_s^2 이다. 채널 이득 h_k 는 한 프레임 안에서 변하지 않는다고 가정한다. H_0 와 H_1 가설은 각각 우선사용자가 해당 채널을 사용하지 않을 때와 사용할 때를 의미한다. k -2차사용자가 N 개의 표본을 통해 얻은 에너지 값 E_k 는 다음과 같이 정의할 수 있으며, 이때 N 값이 충분히 크다면 ($N \geq 10$ [6]) 중심극한 정리에 의해 아래의 평균과 분산 값을 갖는 정규 분포로 근사화할 수 있다[7,8].

$$E_k = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |x_k(n)|^2 \sim \begin{cases} N(\sigma_v^2, \frac{1}{N}\sigma_v^4), & H_0 \\ N\left(\left(\frac{|h_k|^2 \sigma_s^2}{\sigma_v^2} + 1\right)\sigma_v^2, \frac{\sigma_v^4}{N}\left(\frac{2|h_k|^2 \sigma_s^2}{\sigma_v^2} + 1\right)\right), & H_1. \end{cases} \quad (2)$$

III. 적응형 그룹화 알고리즘

인지 무선 네트워크의 2차사용자는 각각의 우선사용자로부터의 거리와 채널 환경이 상이하기 때문에 서로 다른 2차사용자가 동일한 채널을 감지하는 경우에도 평균 신호 대 잡음비가 다를 수 있으며 이에 따라 에너지검과 문턱 값 또한 달라지기 때문에 모든 2차사용자의 검출 확률 p_d 와 오경보 확률 p_f 은 동일하지 않다. 제안하는 알고리즘은 표 1과 같이 l -채널

($l = 1, 2, \dots, L$)의 그룹오류 확률 $P_e(g_l)$ 이 목표오류 확률 $P_{e,t}$ 보다 작아지도록 각 그룹에 2차사용자를 할당한다. 이 때 2차사용자는 하나의 그룹에만 할당되며 l -감지그룹은 오직 l -채널에 대한 경판정(hard decision)값만을 융합센터에게 보고하며 융합센터는 이를 OR 규칙을 이용하여 해당 채널의 사용유무를 결정한다. 이때 해당 채널이 비어있다고 판단하면 해당 그룹의 특정 2차사용자에게 채널을 할당한다. 제안하는 알고리즘은 기존의 검출확률 기반의 알고리즘과 비교하여 2차사용자의 오류 확률 p_e 를 이용함으로써 오검출 확률 및 오경보 확률을 동시에 고려하여 감지 채널에 대해 충분한 검출 확률 조건을 만족시키며 동시에 오검출 확률을 낮추기 때문에 감지 정확도와 스펙트럼 처리량 성능을 향상시킨다. 이때, $P_e(g_i)$ 와 $P_m(g_i)$ 는 각각 그룹 g_i 의 오경보 확률과 미검출 확률이며, $p_{d,k}$ 와 $p_{f,k}$ 는 k -2차사용자의 검출확률과 오검출 확률을 의미한다. 이 논문에서 제시하는 스펙트럼 감지 정확도 Λ 와 처리량 효율 Γ_{eff} 은 다음과 같이 정의한다.

$$\Lambda = \frac{N_{succ}}{N_{succ} + N_{miss} + N_{false}} \quad (3)$$

$$\Gamma_{eff} = \frac{T_{succ}}{T_{succ} + T_{intf}} \quad (4)$$

표 1. 제안하는 알고리즘
Table 1. Proposed Algorithm

```

1:  $\mathbf{l} = \{1, 2, \dots, L\}$ 
2:  $\mathbf{k} = \{1, 2, \dots, K\}$ 
3:  $\mathbf{g} = \{g_1, g_2, \dots, g_L\}$  is channel group
4: for  $i = 1$  to  $L$  do do
5:    $\eta = \{\eta_1, \dots, \eta_K\}$  is the index of SUs in ascending order of  $p_{e,k}$ 
6:   if  $\eta \neq \phi$  then
7:      $P_e(g_i) = P_f(g_i) + P_m(g_i)$ 
8:      $= (1 - \prod_{\eta_k \in \eta} (1 - p_{f,\eta_k})) + \prod_{\eta_k \in \eta} (1 - p_{d,\eta_k})$ 
9:      $k^* \leftarrow \arg \min_k (P_e(g_i) \leq P_{e,t})$ 
10:    if  $k^* = 0$  then
11:       $g_i \leftarrow \eta_{k'}, k' = \{1, 2, \dots, k^*\}$ 
12:      remove  $\eta_{k'}$  from  $\mathbf{k}$ 
13:    else
14:       $g_i \leftarrow 0$ 
15:    end if
16:  else
17:     $g^l \leftarrow 0$ 
18:  end if
19: end for
    
```

식 (3)의 N_{succ} , N_{miss} 그리고 N_{false} 는 각각 FC에 의해 결정된 올바르게 판단한 사용가능한 채널 ($H_0|H_0$) 개수, 오검출 채널($H_0|H_1$) 개수 그리고 오경보 채널($H_1|H_0$) 개수를 의미하며 이는 감지 정확도에 따라 크게 달라질 수 있다. 식 (4)의 T_{succ} 와 T_{intf} 는 각각 N_{succ} 를 이용한 처리량과 N_{miss} 로 인해 발생한 간섭(interference) 처리량이다. 감지 성능이 향상되면 N_{miss} 값은 작아지고 N_{succ} 는 증가하기 때문에 이는 감지 정확도를 향상시키고 2차사용자가 우선사용자에게 주는 간섭을 줄임으로써 네트워크의 처리량 효율을 증가시킨다.

IV. 모의실험 및 결과

이 논문에서는 표 2과 같이 모의 실험 변수 값을 설정하였으며 모의 실험은 우선사용자의 숫자를 변경시키면서 각 환경에 대해 독립적으로 1,000번씩 시행하였다. 성능 비교를 위해 기존의 알고리즘은 목표검출 확률만을 조건으로 하여 그룹화를 진행하였으며 무작위 알고리즘은 각 그룹에 무작위로 2차사용자를 할당하는 방식이다. 그림 1과 2는 각각 우선사용자의 변화에 따른 감지 정확도와 처리량 효율을 나타낸다. 기존의 알고리즘은 검출 확률만으로 그룹화를 진행하기 때문에 서로 다른 2차사용자가 동일한 검출 확률을 갖고 있다 하더라도 신호 대 잡음비의 차이에 따른 서로 다른 오류 확률을 고려하지 못한다는 한계점이 존재하며 이때의 오검출 확률로 인해 채널을 사용 중인 우선사용자에게 높은 확률로 간섭을 줄 수 있으며 또한 실제 비어있는 스펙트럼을 사용하지 못함으로써 스펙트럼 사용 효율을 떨어뜨릴 수 있다. 이 논문에서 제안한 알고리즘은 기존 알고리즘의 검출 확률 조건을 만족시키는 동시에 오검출 확률과 오경보 확률을

표 2. 모의실험 변수 설정 값
Table 2. Simulation parameter setting

Simulation Parameter	Values
Network radius	10km
Number of SU	10
Number of PU	{3, 4, 5, 6}
PU transmit power	100mW
Path loss coefficient	4
Number of detection samples	20
Target error probability	0.15
Target detection probability	0.95

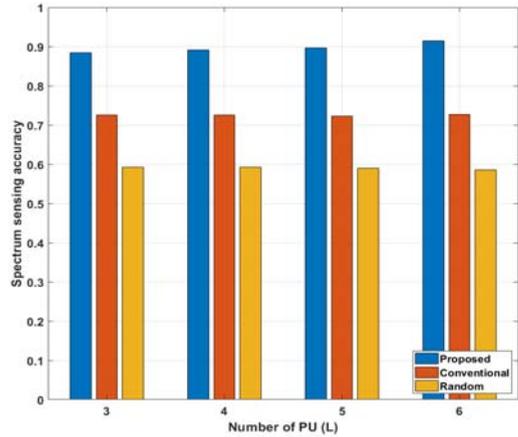


그림 1. $K=10$ 일 때 L 의 변화에 따른 스펙트럼 감지 정확도
Fig. 1. Spectrum sensing accuracy according to the number of L when $K=10$

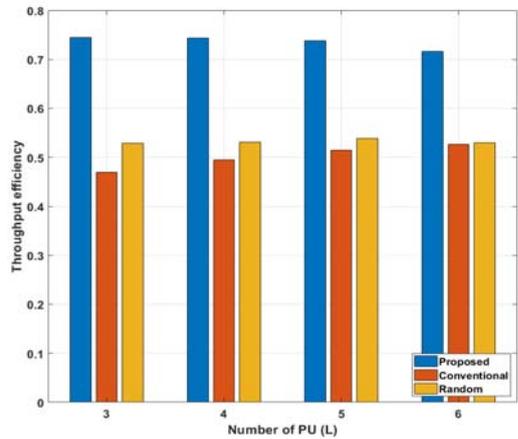


그림 2. $K=10$ 일 때 L 의 변화에 따른 처리량 효율
Fig. 2. Throughput efficiency according to the number of L when $K=10$

크게 낮출 수 있기 때문에 그림 1과 같이 감지 정확도 성능이 크게 향상되었음을 알 수 있다. 그림 2는 처리량 효율 성능을 나타내는 그래프이며 제안한 알고리즘의 경우 기존의 알고리즘과 비교하여 감지 정확도가 크게 향상되었기 때문에 N_{succ} 가 증가하고 N_{false} 와 N_{miss} 가 줄어들어 식 (4)에 따라 처리량 효율 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 이 논문에서는 제안한 그룹화 알고리즘을 적용할 경우 기존의 알고리즘 방식 보다 감지 정확도와 스펙트럼 처리량 효율 성능이 향상됨을 보였다.

References

- [1] D. H. Seo and H. W. Nam, "Performance of energy detection based on non-uniform quantization in cooperative spectrum sensing," *J. KICS*, vol. 42, no. 8, pp. 1551-1553, Aug. 2017.
- [2] I. Shin, et al., "Quantization bit allocation for reporting-throughput tradeoff in cooperative cognitive radio networks," *IEEE MILCOM*, pp. 233-237, Tampa, FL, USA, 2015.
- [3] K. Umbayachi and J. J. Lehtomaky, "Efficient decision fusion for cooperative spectrum sensing based on OR-rule" *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 11, no. 7, pp. 2625-2595, Jul. 2012.
- [4] P. S. Rossi, D. Ciuonzo, and G. RomanoI, "Orthogonality and cooperation in collaborative spectrum sensing through MIMO decision fusion" *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 11, pp. 5826-5836, Sep. 2013.
- [5] L. Khalid and A. Anpalagan, "Adaptive assignment of heterogeneous users for group-based cooperative spectrum sensing," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 15, no. 1, pp. 232-246, Jan. 2016.
- [6] Z. Quan, S. Cui, and A. Sayed, "Optimal linear cooperation for spectrum sensing in cognitive radio networks," *IEEE J. Sel. Topics Signal Process.*, vol. 2, no. 1, pp. 28-40, Feb. 2008.
- [7] B. V. Gendenko and A. N. Kolmogorov, *Limit Distributions for Sums of Independent Random Variables*, MA, USA: Addison- Wesley, 1954
- [8] E. Peh, Y. Liang, Y. L. Guan, and Y. zeng, "Optimization of cooperative sensing in cognitive radio entworks: A sensing-throughput tradeoff view," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 9, pp. 5294-5299, Nov. 2009.