

인지무선 애드혹 네트워크에서 히스토리 기반 최적 정밀 센싱대역 선택 알고리즘

최익수*, 장성진*, 유상조°,
 최재각**, 서명환**, 박민호***,
 이광역***

History-Based Optimal Sensing Band Selection Algorithm in Cognitive Radio Ad-Hoc Networks

Ik-Soo Choi*, Sung Jeon Jang*,
 Sang-Jo Yoo, Jae-Kark Choi**,
 Myunghwan Seo**, Minho Park***,
 Kwang-Eog Lee***

요약

인지 무선 네트워크에서 스펙트럼 센싱은 부 사용자가 스펙트럼을 기회적으로 사용하기 위한 필수적 과정으로, 광대역 센싱과 협대역 정밀센싱으로 이루어진다. 본 논문에서는 인지무선 애드혹 네트워크에서 광대역 센싱결과를 협력적으로 이용하여 최적의 정밀 센싱대역을 결정하는 알고리즘을 제안한다. 슬라이딩 윈도우 기반 효율함수와 선형회귀 방식의 예측을 통해 보다 효율적인 센싱대역 결정이 이루어 질수 있다.

Key Words : Cognitive radio networks, spectrum sensing, sensing band selection

ABSTRACT

In cognitive radio networks, spectrum sensing is a crucial function to make secondary users utilize

spectrum holes opportunistically consisting of wideband sensing and narrow-band fine sensing. In this paper, we propose an algorithm that determines an optimal fine sensing band based on cooperative wideband spectrum sensing results in CR ad-hoc networks. We can select more effective fine sensing band using sliding window based utilization function and linear regression based prediction technique.

I. 서론

인지무선(cognitive radio) 네트워크 환경에서는 특정 주파수에 대한 권한이 없는 부 사용자는 해당 주파수에 대한 권한을 가진 주 사용자가 이를 사용하지 않을 때, 이러한 유휴대역(spectrum hole)을 기회적으로 사용할 수 있도록 한다^[1,2].

인지무선 네트워크에서의 스펙트럼 센싱은 넓은 대역을 한번에 센싱하는 광대역센싱(wideband sensing)과 광대역센싱 이후 특정 주파수 범위에 대해 보다 정밀한 센싱을 수행하는 협대역 정밀 센싱(fine sensing)의 두 단계로 구성된다^[3]. 광대역 센싱에서는 FFT(Fast Fourier Transform)과 같은 에너지 감지기술을 이용한 비 정밀 감지 알고리즘이 사용된다^[3]. 본 논문에서는 클러스터 기반의 무선 인지무선 애드혹(ad-hoc) 네트워크에서 각 부사용자 단말의 로컬 광대역 센싱정보를 기반으로 최적의 정밀 센싱 대역을 결정하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서는 슬라이딩 윈도우 기반의 대역 효율함수를 정의하였으며 각 부 사용자가 전송해온 광대역 센싱 히스토리 데이터를 이용하여 선형회귀(linear regression) 방식의 예측기법을 사용한 최적 대역결정을 수행한다.

II. 히스토리 기반의 최적 정밀 센싱 대역 선택 알고리즘

본 장에서는 정밀 센싱을 위한 히스토리 기반의 최적의 대역 선택 알고리즘에 대해 기술한다. 그림 1은

※ This work was supported by a grant-in-aid of Hanwha Systems and the Agency for Defense Development (ADD) in the Republic of Korea as part of the Contract UC160007ED.

♦ First Author : Inha University Department of Information and Communication Engineering, ischoi.win@gmail.com, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0003-1533-0814)Inha University Department of Information and Communication Engineering, sjyoo@inha.ac.kr, 종신회원

* Inha University Department of Information and Communication Engineering, sungjeon.jang@inha.edu

** Tactical Comm. Team, Hanwha Systems, jaekark.choi@hanwha.com, myunghwan.seo@hanwha.com

*** Agency for Defense Development, Korea, mhpark2@add.re.kr, kelee@add.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2017-12-381, Received December 12, 2017; Revised January 8, 2018; Accepted January 11, 2018

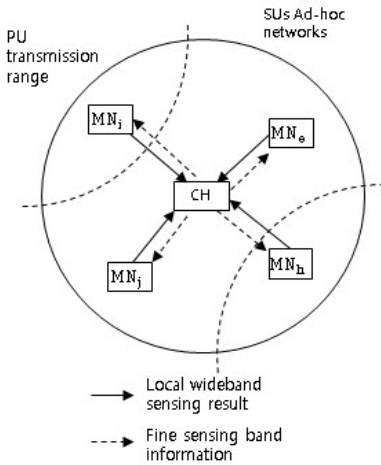


Fig. 1. Optimal band selection system model.

하나의 클러스터 헤드(cluster head: CH)와 다수의 멤버 노드(member node: MN)로 구성된 제한하는 알고리즘의 시스템 구조를 나타낸 것이다. 모든 노드는 자신의 현재 위치에서 로컬 광대역 센싱을 수행하고, MN은 광대역 센싱 결과를 CH에게 전송한다. CH는 수신한 MN의 센싱 결과와 자신의 센싱 결과를 합하여 공통으로 사용 가능한 광대역을 추출한다. 추출된 광대역에 대해 제안하는 알고리즘을 통해 정밀 센싱을 위한 대역을 결정한다. 이 후 결정된 대역의 정보를 모든 MN에게 전송하고, 모든 노드는 정밀 센싱을 수행한다.

2.1 로컬 광대역 센싱 및 공통으로 사용 가능한 대역 결정 방법

모든 노드는 자신의 위치에서 광대역에 대해 로컬 광대역 센싱, 즉, 광대역 N-FFT를 수행한다. 노드 i 에서 수행한 k 번째 광대역 센싱 시간에서의 수신 신호의 N-point FFT 결과 값은 $FFT_i^k = [f_{i,1}^k, f_{i,2}^k \dots f_{i,N}^k]$ 과 같이 표현하고 해당 FFT 빈에 대해 모든 노드는 부사용자가 사용 가능한 빈(x_i^k)을 판별하는데, 식 (1)과 같이 이진수의 벡터로 표현한다.

$$x_i^k = [x_{i,1}^k, x_{i,2}^k \dots x_{i,n}^k \dots x_{i,N}^k] \quad (1)$$

$$\text{where, } x_{i,n}^k = \begin{cases} 1 & \text{if } f_{i,n}^k \leq Th_{fft} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

이때, $x_{i,n}^k$ 은 i 노드에서 k 번째 수행한 n 번째 FFT 빈의 사용가능 유무를 의미한다. 또한, Th_{fft} 는 FFT 빈의 값이 Th_{fft} 보다 작을 때, 실제 주 사용자가 사용

하지 않을 확률이 시스템 설계 요구 조건 (최소 감지 확률 값)인 P_{req} 보다 크도록 $P(H_0 | (f_{i,n}^k \leq Th_{fft})) \geq P_{req}$ 설정되어야 한다. 즉, 주 사용자가 존재하지 않는 경우를 H_0 라고 한다면, 해당 확률은 하나의 FFT 빈이 사용가능 한 경우에, 주 사용자가 존재하지 않을 확률이므로 성공적으로 주 사용자를 감지 할 확률 값이 P_{req} 값을 넘어야 한다는 의미이다.

멤버 노드 i 는 이진 벡터인 x_i^k 를 CH에게 전송한다. 이때, 본 논문에서는 이진수의 데이터를 전송하기 때문에 CH로 센싱 결과를 전송하는 시간과 전송량은 최소를 유지할 수 있다. CH는 각 노드의 이진 벡터를 AND 룰을 사용하여 네트워크 내 공통으로 사용가능한 FFT 빈 목록(Y^*)을 식 (2)와 같이 구한다.

$$Y^* = [y_1^k, y_2^k \dots y_n^k \dots y_N^k] = x_1^k \cap x_2^k \cap \dots \cap x_I^k \quad (2)$$

이때, y_n^k 는 모든 노드의 결과 값을 이용하여 각 FFT 빈의 사용가능 유무를 판단한 값이고, I 는 멤버 노드의 수이다.

2.2 정밀 센싱을 위한 최적의 대역 결정 방법

인지 무선 애드혹 네트워크에서 정밀 센싱을 위한 대역의 크기가 W 라고 할 때, 최적의 W 크기를 갖는 정밀 센싱 범위의 위치를 구하기 위해 본 논문에서는 식 (3)과 같은 최적의 효용 함수(utility function)를 정의하였다.

$$U^k(n) = w_1 f_{ab}^k(n) + w_2 f_{mcb}^k(n), \text{ where, } w_1 + w_2 = 1 \quad (3)$$

$f_{ab}^k(n)$ 은 Y^* 벡터의 FFT 빈 포인트의 범위 $[n, n+W-1]$ 의 W 크기 대역에 대해 해당 값이 1인 (부 사용자 시스템에서 사용가능한 광대역 센싱 FFT 빈) 빈의 수를 합한 값이다. $f_{mcb}^k(n)$ 은 Y^* 벡터에서 빈 포인트 범위 $[n, n+W-1]$ 에 대해 1인 값이 연속으로 나오는 횟수의 최대값을 나타낸다. 따라서, 효용 함수는 현재 광대역의 상태(사용가능 유무)를 수치로 나타낸 것이다.

CH는 윈도우 크기가 W 인 슬라이딩 윈도우(sliding window) 개념을 이용하여 각 빈 포인트에서의 효용 값을 계산한 뒤, 효용 값이 특정 효용 임계값(Th_{util})을 넘는 대역을 정밀 센싱 대역 후보(FB)로 선택하고 식 (4)와 같이 정의한다.

$$FB^k = \{bg_j^k\}, \text{ where } U^k(n) \geq Th_{util} \quad (4)$$

여기서 정밀 센싱 대역 후보들의 실제 대역 크기는 bg_j^k 가 n 번째 빈에서 시작한다면, $bg_j^k = [n, n + W - 1]$ 을 의미한다. 이 후 CH는 각 멤버 노드로부터 받은 광대역 센싱 결과의 히스토리 데이터를 이용하여 정밀 센싱 후보 대역 별로 이전 L 시간 동안 각각의 빈에 대해 사용가능한 FFT 빈 값을 식 (5)를 사용하여 계산한다.

$$Z_{bg_j}^k = [z_1^k, z_2^k, \dots, z_W^k], \text{ where, } z_w^k = \sum_{l=k-L+1}^k y_w^l \quad (5)$$

여기서 w 는 bg_j^k 의 w 번째 FFT 빈을 의미한다. CH는 각 bg_j^k 의 $Z_{bg_j}^k$ 원소 값의 평균 값을 구하며 이 값은 $\bar{z}_{bg_j}^k$ 로 표시한다.

마지막으로 CH는 선형 회귀 방법을 이용하여 $(k+1)$ 시점에 예상되는 각 대역의 $\hat{z}_{bg_j}^{k+1}$ 을 추정하여 가장 큰 값을 가지는 대역을 최종적으로 정밀 센싱을 위한 대역으로 선택한다.

선형 회귀를 위해 수행해야하는 절차는 가설(hypothesis)성립과 검증이다. 선형 가설(linear hypothesis)은 데이터의 범위를 지정하여 예측하는 방법으로써 제안하는 알고리즘에 적용하기 위해 식 (6)으로 정의한다. 선형 회귀의 목표는 입력 데이터에 따라 가중치(A)와 바이어스(b)의 값을 조절하여 예측을 위한 선형 함수를 찾는 것이다.

$$Z = AX^T + b$$

where, $Z = [z_{bg_j}^{(k-L+1)} \quad z_{bg_j}^{(k-L+2)} \quad \dots \quad z_{bg_j}^k]^T$ (6)

$$X = [(k-L+1) \quad (k-L+2) \quad \dots \quad k]^T$$

$$A = [a_{k-L+1} \quad a_{k-L+2} \quad \dots \quad a_k]^T$$

식 (6)을 이용하여 얻어진 선에서 실제 데이터와 얼마나 차이가 있는지 확인하는 검증은 비용(Cost)함수로 다음과 같이 정의한다.

$$Cost(A, b) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L [AX^T + b - z_{bg_j}^{(k-L+l)}] \quad (7)$$

비용 함수를 최소화하는 값을 계산하면 다음 식으로 가중치와 바이어스가 결정된다.

$$A = (X^T X)^{-1} X^T Z \quad (8)$$

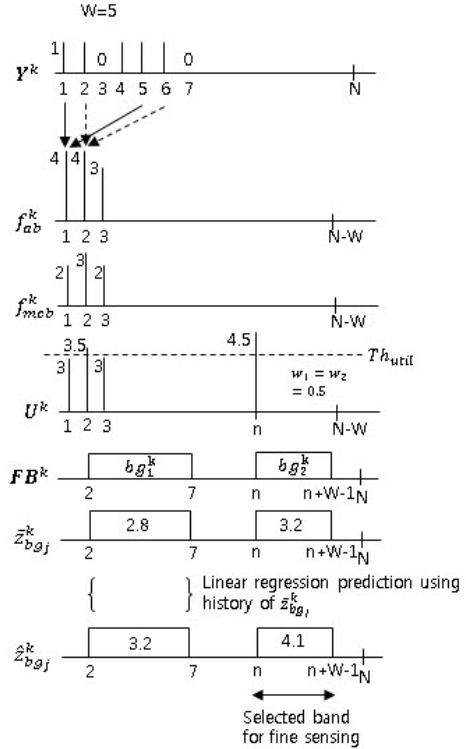


Fig. 2. Optimal band selection method for W=5.

$$b = Z - AX^T \quad (9)$$

그림 2는 정밀 센싱을 위한 대역 크기(W)가 5인 경우에 제안하는 알고리즘의 대역 선택까지의 계산 과정을 나타낸 것이다.

III. 모의 실험

본 장에서는 제안하는 알고리즘의 성능평가를 실시하였다. 제안하는 방법과의 성능 비교를 위한 기존의 방법은 광대역을 대역 크기만큼 일정하게 나눈 구간에서 효용 함수를 이용하여 대역 선택을 하는 방법이다. 이때 사용하는 효용 함수와 대역 크기는 제안하는 알고리즘에서 사용되는 것과 같은 값이다. 두 가지의 방법에 대해 평균 효용 값과 성공적으로 대역을 선택하는 확률 값을 계산하였다.

광대역 FFT 빈의 분포, 즉, 각 빈의 사용유무를 나타내는 On, Off 패턴에 따른 광대역 FFT 빈의 분포는 지수 분포를 사용하여 임의로 [100, 100]의 데이터를 발생 시켰다. 즉, 총 100개의 FFT 빈의 사용 유무를 가지고 있고, 100번의 광대역 센싱을 했다는 의미이다.

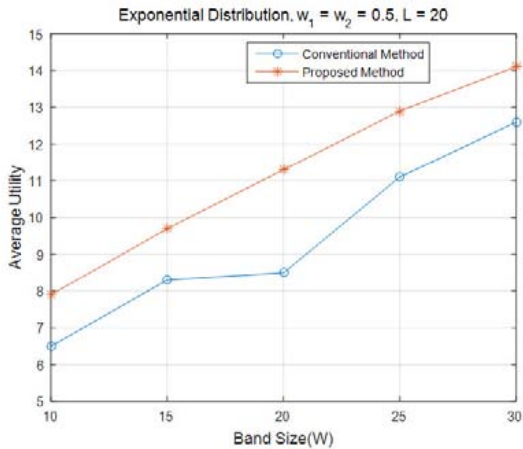


Fig. 3. Average utility according to band size.

그림 3은 대역 크기(W)의 변화에 따라 평균 유틸리티 값을 계산한 것이다. 대역 크기가 변하면 기존의 방법에서는 대역을 나눌 때 대역 경계가 달라지기 때문에 대역 경계가 잘 나누어 저야 성능이 좋아지게 된다. 즉, 센싱의 결과에 따라 시시각각 성능이 변한다. 제안하는 알고리즘은 슬라이딩 윈도우 방법을 사용하여 효율 값을 계산하기 때문에 선형적으로 값이 증가하고 같은 센싱 결과를 사용했을 때, 기존의 방법보다 더 높은 성능을 보인다.

그림 4는 정밀 센싱을 위한 후보 대역을 선택할 때 사용되는 효율 임계값을 증가시키면서 대역을 성공적으로 선택할 확률에 대해서 계산한 것이다. 기존의 방법은 효율 임계값이 어느 값 이상이 되면, 대역 선택 확률이 0이 되는데, 이 경우는 효율 임계값을 넘는 효율 값이 없다는 것을 의미한다. 반면, 제안하는 알고

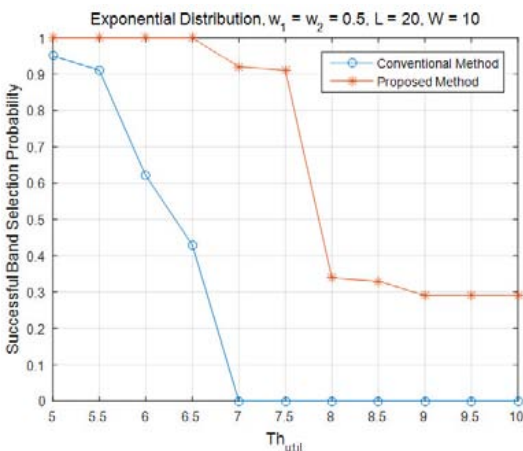


Fig. 4. Successful band selection probability according to utility threshold.

리즘은 기존의 방법보다 항상 높은 확률을 유지하며, 효율 임계값이 최대값으로 가더라도 낮은 확률이지만 사용할 수 있는 대역을 찾을 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 인지 무선 애드혹 네트워크 환경에서 히스토리 기반 최적 정밀 센싱 대역 선택에 대한 알고리즘을 제시하였다. 광대역센싱 결과를 이진수의 bin으로 변환하고, 변환된 bin에서 유틸리티를 계산하여 한계점을 넘는 대역을 추출하여 해당 대역의 히스토리 값을 계산한다. 계산된 히스토리 값을 평균값으로 계산하고, 선형 회귀 기법을 사용하여 최적의 정밀 센싱 대역을 찾아낸다. 모의 실험을 통해 제안하는 알고리즘이 기존의 방법보다 성능이 뛰어난 것을 확인하였다. 하지만, 제안하는 알고리즘에서 센싱 결과를 전송하는 주기에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 제안하는 알고리즘은 고정적인 대역을 선택하는 것이 아닌, 동적으로 선택하기 때문에 정밀 센싱을 위한 대역을 선택할 경우에 최적의 대역을 찾을 수 있도록 도움을 줄 수 있다.

References

- [1] Y. Zou and S. Yoo, "Attact detection scheme against cooperative spectrum sensing data falsification on common control channel in cognitive radio networks," *Wireless Personal Commun.*, vol. 88, no. 4, pp. 871-896, 2016.
- [2] J. Lee and H. Park, "Channel prediction-based channel allocation scheme for multichannel cognitive radio networks," *J. KICS*, vol. 16, no. 2, pp. 209-216, 2014.
- [3] T. Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Commun., Surveys and Tuts.*, vol. 11, no. 1, pp. 116-300, 2009.
- [4] C. Cordeiro, K. Challapali, and D. Birru, "IEEE 802.22: An introduction to the first wireless standard based on cognitive radios," *J. Commun.*, vol. 1, no. 1, pp. 38-47, 2006.