

논문 2015-52-9-1

점유 대역폭 차이를 이용한 무선랜 신호 구별 방법

(Identification of WLAN Signals Using the Difference in the Occupied Bandwidth)

임 창 현*, 김 형 중**

(Chang Heon Lim[Ⓢ] and Hyung Jung Kim)

요 약

최근 OFDM 방식을 채택한 무선 전송 표준이 많아지면서 그에 대한 스펙트럼 센싱 및 식별에 대한 연구가 활발하게 전개되고 있다. OFDM 기반 무선랜 전송 방식 중에서 IEEE 802.11a와 IEEE 802.11n 방식은 OFDM 심볼이나 CP(cyclic prefix)의 길이 같은 OFDM 심볼 구조 측면에서 매우 유사하기 때문에 이런 파라미터의 차이를 활용하는 기존의 스펙트럼 센싱 방식으로는 두 가지 방식을 구분하기 어렵다. 본 논문에서는 두 가지 방식이 차지하는 주파수 대역폭이 다르다는 점에 착안하여 이들 전송 방식을 구분할 수 있는 방안을 제안하고 성능을 살펴본다.

Abstract

Recently, a lot of research effort has been directed toward spectrum sensing and identification of OFDM signals as the OFDM technique has been adopted for transmission in many wireless communications standards. Among them, two popular WLAN standards, IEEE 802.11a and IEEE 802.11n, have a very similar OFDM symbol structure in terms of the lengths of CP(cyclic prefix) and effective OFDM symbol and so it is not straightforward to distinguish them with existing spectrum sensing methods based on the difference in the parameters. In this paper, we present a spectrum sensing strategy for identifying them by exploiting the fact that they employ different bandwidths and examine its performance.

Keywords : cognitive radio, spectrum sensing, OFDM, 802.11a, 802.11n

I. 서 론

무선 통신 서비스에 대한 수요가 지속적으로 늘어나

면서 가용 주파수 자원은 점점 고갈되어 가고 있다. 이 문제를 해소하기 위한 방안으로 인지 무선(cognitive radio) 기술이 등장하였다. 인지 무선을 구성하는 핵심 기술 중의 하나는 우선 사용자(primary user)가 임의의 주파수 대역을 사용하고 있는지 여부를 판단하는 스펙트럼 센싱(spectrum sensing) 기술^[1]이다.

* 평생회원, 부경대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Pukyong National University)

** 정회원, 한국전자통신연구원 신호처리분석연구실
(Radio Analysis Research Section, Electronics and Telecommunication Research Institute)

ⓈCorresponding Author(E-mail: chlim@pknu.ac.kr)

※ 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임[11-911-01-112, My-F 이용 융합서비스 기술 개발]

Received ; March 16, 2015 Revised ; June 22, 2015

Accepted ; August 26, 2015

OFDM 방식은 최근 여러 가지 전송 표준이 채택하고 있는 전송 방식이다. 예를 들면 IEEE 802.11a/g, IEEE 802.16 WiMAX, LTE, DVB-T 등이 있다. 이에 따라 OFDM 기반 신호에 대한 스펙트럼 센싱 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이에 대한 기존의 연구는 주로 주기적 정상성(cyclostationarity) 특징을 토대로 OFDM 신호 존재 여부를 판단하고 식별하는 방법에 관

한 것이다^[2-6]. 이는 주로 OFDM 심볼의 CP(cyclic prefix)가 OFDM 심볼의 후반부와 동일하다는 점을 활용한 것이다.

무선랜 전송 방식 중에서 IEEE 802.11a^[7]와 IEEE 802.11n^[8] 방식은 CP의 길이나 OFDM 심볼 길이가 동일하다. 따라서 주기적 정상성을 근거로 한 기존의 스펙트럼 센싱 방식으로는 이 두 가지 방식을 식별하기는 어렵다. 두 가지 전송 방식은 프리앰블(preamble) 구조 등에서 차이를 보이지만, 그 길이가 비교적 짧고 센싱 구간내에 프리앰블이 포함되지 않을 수도 있다. 따라서 보다 지속적으로 나타나는 차이점을 활용하는 것이 필요한데, 이에 해당하는 것이 바로 점유 주파수 대역폭의 차이이다. 본 논문에서는 이 차이점을 활용하여 두 가지 신호를 구분하는 방식을 제안하고자 한다. 이 방식은 비단 802.11a와 802.11n 방식을 구별하는 것 뿐만 아니라 점유 대역의 일부가 일반적인 경우에도 활용될 수 있다.

I 장의 서론에 이어 II 장에서는 본 논문에서 다루고자 하는 문제를 정의한다. 그리고 III 장에서는 II 장에서 제기한 문제를 해결하는 방식을 제시하고, IV 장에서 실험 결과를 제시한다. 마지막으로 V 장에서 결론을 맺는다.

II. 문제 정의

802.11a와 802.11n 신호는 모두 OFDM 방식을 따르고 있으며 프레임 단위로 구성되어 있다. 이들 두 가지 신호의 주요 차이점은 프리앰블 구성과 실제 사용하는 부반송파의 개수에 있다. 부 반송파 개수에 관해 좀 더 구체적으로 설명하면 802.11n 방식은 802.11a 방식에서 사용하는 부반송파에 27, 28, 36, 37번째 부반송파를 추가로 사용한다.

스펙트럼 센싱 관점에서 보면 센싱 구간 내에 이들 신호의 프리앰블이 반드시 포함된다는 보장이 없기 때문에, 프리앰블의 차이를 이용하여 식별하는 것은 효과적이지 않다. 반면에 실제 사용하는 부반송파의 개수 차이는 프레임의 데이터 부분에 항상 반영되기 때문에 스펙트럼 센싱 구간에 포함될 가능성이 매우 높아 식별에 이용하기에 유리하다.

802.11a와 비교하여 802.11n 방식이 추가로 점유하는 주파수 대역에 존재하는 기저 대역 수신 신호를 $x(t)$

라고 한다. 수신 신호가 802.11a와 802.11n인 경우를 각각 가설 H_0 , H_1 이라고 하면, 이들 두 가지 신호 방식을 구분하는 문제는 다음과 같이 가설 검정(hypothesis testing) 문제로 공식화할 수 있다.

$$x(t) = \begin{cases} n(t) & H_0 \\ s(t) + n(t) & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

위 식에서 $s(t)$ 는 IEEE 802.11n 신호의 주파수 성분 중에서 IEEE 802.11a에 비해 추가로 점유한 주파수 대역에 존재하는 신호 성분을 가리키며, 여기에는 채널 특성이 이미 반영되어 있다고 가정한다. 그리고 $n(t)$ 는 해당 대역에 포함된 가우시안 잡음을 나타낸다.

III. 제안하는 방식

스펙트럼 센싱 관점에서 식(1)의 $s(t)$ 를 구체적으로 기술하는 것은 어렵다. 왜냐하면 $s(t)$ 신호 자체도 복잡하지만, 불규칙한 채널 특성이 반영되어 있기 때문이다. 이런 경우에 위의 가설 검정 문제를 해결할 수 있는 간단한 방법은 에너지 검파(energy detection) 방식^[9~12]을 사용하는 것이다.

본 논문에서 제안하는 방법은 수신 신호의 주파수 성분 중에서 802.11a에서는 사용하지 않지만 802.11n 방식은 사용하는 대역 성분만을 추출한 후, 이 신호의 전력 또는 에너지를 임계값과 비교하여 무선랜 방식을 식별하는 것이다. 이때 802.11n 신호만이 사용하는 대역 성분을 추출하기 위하여 대역 통과 필터를 사용하기로 한다.

가설 H_0 가 유효한 상황에서 대역 통과 필터의 임펄스 응답을 $h(m)$ 이라고 하고, 대역 통과 필터에 입력되는 잡음을 $w(m)$ 이라고 하며, 대역 통과 필터 출력 잡음을 $n(m)$ 이라고 한다. 그리고 $w(m)$ 은 평균이 0이고 분산이 σ_w^2 인 AWGN이라고 가정한다. 그러면 출력 잡음은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$n(m) = \sum_{i=0}^{L-1} h(i)w(m-i) \quad (2)$$

위 식에서 L 은 대역 통과 필터의 임펄스 응답 길이이다. 이때 출력 잡음 $n(m)$ 의 평균과 분산은 다음과 같다.

$$E[n(m)] = \sum_{i=0}^{L-1} h(i)E[w(m-i)] = 0 \quad (3)$$

$$V[n(m)] = \sum_{i=0}^{L-1} |h(i)|^2 \sigma_w^2 \quad (4)$$

위 식에서 $E[\cdot]$ 와 $V[\cdot]$ 은 각각 평균 연산과 분산 연산을 의미한다. $w(m)$ 이 가우시안 잡음이므로 출력 잡음 $n(m)$ 도 가우시안 분포를 따르게 되어 해당 분포를 $N\left(0, \sum_{i=0}^{L-1} |h(i)|^2 \sigma_w^2\right)$ 로 표현할 수 있다. 이때 $n(m)$

의 분산을 σ_n^2 이라고 하면 $\sigma_n^2 = \sum_{i=0}^{L-1} |h(i)|^2 \sigma_w^2$ 으로 표현할 수 있다. 이때 출력 잡음을 $\sigma_n/\sqrt{2}$ 으로 정규화하면 출력 잡음의 실수부와 허수부가 모두 정규 분포를 따르게 되어 $|\sqrt{2}n(m)/\sigma_n|^2$ 는 2차의 카이 제곱(chi-square) 분포를 따른다.

대역 통과 필터의 출력 샘플 하나만을 사용하여 가설 검정을 한다면 $|\sqrt{2}n(m)/\sigma_n|^2$ 을 계산한 후 이 값을 임계값과 비교하면 된다. 그러나 한 개의 샘플을 사용하기보다 여러 샘플을 사용하여 가설 검정을 한다면 한층 향상된 식별 성능을 기대할 수 있다. 다만 이때 여러 샘플이 통계적으로 서로 독립인 것이 바람직하다. 이를 위해 본 논문에서는 대역 통과 필터의 출력 샘플 중에서 일정 시간 간격으로 발췌한 샘플로부터 $|\sqrt{2}n(m)/\sigma_n|^2$ 을 계산하고, 이를 합산하여 가설 검정을 수행하는 방식을 제안한다. 그림 1은 제안하는 방식을 블록도로 나타낸 것이다. 대역 통과 필터의 길이가 L 이라면 대역 통과 필터의 출력 샘플을 $L+1$ 이상의 간격으로 발췌하면 통계적으로 서로 독립인 샘플을 확보할 수 있다. 이때 N 개의 샘플을 발췌하여 시험 통계량을 만들었다면, 시험 통계량 X 는 $2N$ 차의 카이 제곱 분포를 갖는다^[10]. 샘플 개수가 충분히 크면 중앙극한 정리(central limit theorem)를 이용하여 시험 통



그림 1. 제안하는 스펙트럼 센싱 방식의 구조
Fig. 1. Structure of the proposed spectrum sensing scheme.

계량의 분포를 가우시안 분포로 근사화할 수 있으며, 이때 X 의 평균은 $2N$ 이고 분산은 $4N$ 이 된다. 이때 시험 통계량 X 가 임계값 λ 보다 클 확률을 $P_{E,11a}$ 이라고 하면

$$P_{E,11a} = Q\left(\frac{\lambda - 2N}{\sqrt{4N}}\right) \quad (5)$$

가 된다. 따라서 주어진 $P_{E,11a}$ 에 대한 임계값 λ 는 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\lambda = \sqrt{4N} Q^{-1}(P_{E,11a}) + 2N \quad (6)$$

위 식에서 $Q^{-1}(\cdot)$ 은 Q 함수의 역함수를 나타낸다.

III. 실험 및 결과

III장에서 제안한 방식의 성능을 살펴보기 위하여 몬테 카를로(Monte Carlo) 방식의 전산 모의 실험을 실시하였다. 스펙트럼 센싱 시간은 5ms로 하였고, 센싱 시간 구간 내에 802.11a 또는 802.11n 신호가 채워져 있다고 가정하였다. 이때 센싱 구간에 포함되는 부분은 해당 신호 전체에서 무작위로 선택하도록 하였다. 그리고 $P_{E,a} = 0.1$ 로 설정하였으며, 시험 통계량을 만들 때 사용한 대역 통과 필터 출력의 개수 $N = 100$ 으로 설정하였다.

그림 2는 식(1)의 $x(t)$ 에 해당하는 신호를 얻기 위해 사용하는 대역 통과 필터의 주파수 응답 특성이다. 이때 대역 통과 필터로는 375차의 FIR 필터를 사용하였다. 필터의 길이는 해당 필터의 선택 특성을 어떻게 설정하는냐에 따라 달라질 수 있다. 802.11n 만이 사용하는 대역을 포함시키기 위해 이 필터는 28번째와 37번째 부반송파의 반송 주파수가 통과 대역에 포함되도록 설계하였다.

그림 3은 III장에서 제시한 임계값 설정 방법을 사용하였을 때, 목표로 한 오경보 확률값과 실험을 통해 얻은 값을 비교한 것이다. 잡음만 있는 상황에서는 이상적인 값(목표 오경보 확률)에 근접한 오경보 확률을 얻을 수 있다. 하지만 802.11a 신호가 잡음에 섞여 있는 경우에는 목표로 한 값보다 다소 높은 오경보 확률을 보인다. 이는 대역 통과 필터가 이상적인 대역 통과 필터와는 차이가 있기 때문이다. 이런 현상을 좀 더

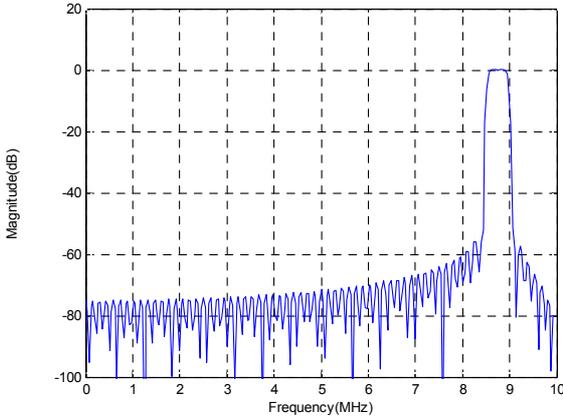


그림 2. 대역 통과 필터의 주파수 응답
Fig. 2. Frequency response of the bandpass filter.

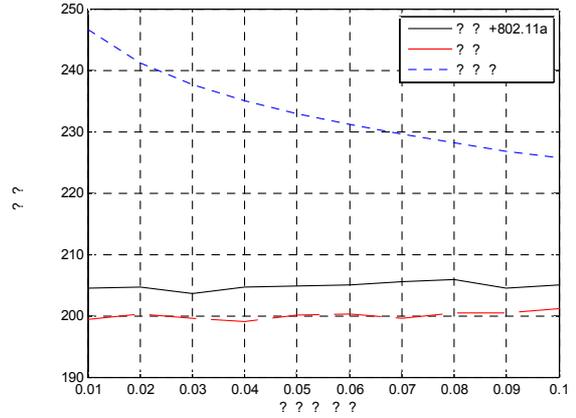


그림 4. 대역 통과 필터 출력의 전력과 임계값 비교
Fig. 4. Comparison of the average output powers of the bandpass filter with the detection threshold.

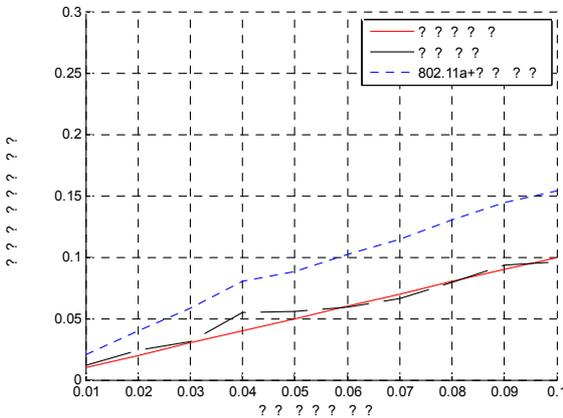


그림 3. 임계값 설정 방법의 정확도
Fig. 3. Accuracy of the threshold determination method.

자세하게 설명하기 위하여 그림 4에서 대역 통과 필터의 입력이 잡음만으로 구성되었을 때와 잡음 및 802.11a 신호가 함께 있을 때로 구분하고, 각 경우에 대하여 대역 통과 필터의 평균 출력 전력을 스펙트럼 센싱 임계값과 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 잡음 및 802.11a 신호가 함께 있을 때 대역 통과 필터의 평균 출력 전력이 잡음만 있을 때보다 증가함을 할 수 있어 실제 발생하는 오경보 확률 또한 목표 오경보 확률보다 커지게 된다는 것을 이해할 수 있다.

그림 5는 AWGN 채널 환경과 페이딩 채널 환경에서 제안한 방식의 성능을 나타낸 것이다. 이때 페이딩 환경은 MATLAB에서 제공하는 802.11a 페이딩 채널 모델을 사용하였으며, 이때 샘플링 주파수는 20 MHz로 다중 경로 채널의 시간 지연 확산(delay spread)은 200

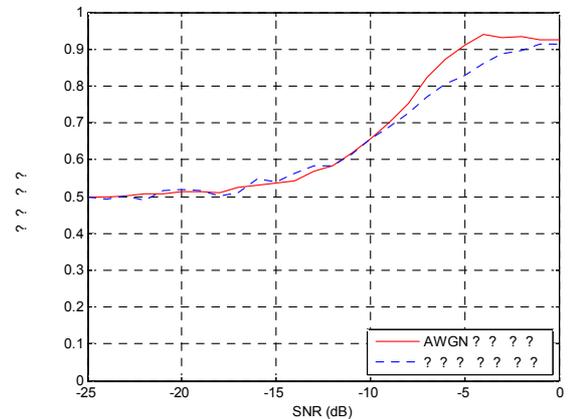


그림 5. AWGN 채널 환경과 페이딩 채널 환경에서 제안한 식별 방식의 성능
Fig. 5. Identification performance of the proposed scheme in AWGN and fading channels.

ns로 설정하였다. 그리고 802.11a 신호와 802.11n 신호가 발생할 확률이 각각 1/2인 것으로 설정하였다. 실험 결과에 따르면 페이딩 채널 환경에서는 SNR 증가에 따른 식별 성능의 개선 속도가 상대적으로 느린데, 이는 페이딩 영향으로 인한 것이다. 그림에서 두 가지 채널 환경 차이에 따른 검출 성능 차이가 크지 않은 이유는 주파수 선택적 채널 환경에서 대역 통과 필터의 통과 대역 내에 심한 페이딩(deep fading)이 발생할 가능성이 전체 주파수 대역을 대상으로 한 경우보다 작고, 통과 대역폭이 좁을수록 더욱 작아지기 때문이다. 또한 SNR이 너무 낮은 경우에는 신호 크기가 미약하기 때문에 페이딩의 영향이 작아진다.

IV. 결 론

본 논문에서는 임의의 주파수 대역에 이미 802.11a 또는 802.11n 신호 중의 하나가 존재한다는 사실을 파악한 상황에서 실제로 어느 신호가 존재하는가를 식별하는 방안을 제시하였다. 이 방식은 두 가지 방식이 점유하는 주파수 대역폭에 차이가 있다는 점과 에너지 검파 개념을 활용한 것으로, 상기 경우 이외에도 점유 대역폭의 일부가 다른 스펙트럼들을 식별해야 하는 일반적인 경우에도 적용할 수 있다.

REFERENCES

[1] T. Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Commun. Survey Tutorials*, vol.11, pp.116-130, Mar. 2009.

[2] A. Al-Habashna, O. A. Dobre, R. Venkatesan, D. C. Popescu, "Second-order cyclostationarity of mobile WiMAX and LTE OFDM signals and applications to spectrum awareness in cognitive radio systems," *IEEE J. of Selected Topics in Signal Proc.*, vol. 6, no.1, pp.26-42, Feb. 2012.

[3] L. Chen, Q. Peng, J. Wang, and S. Li, "Sensing scheme for DVB-T in cognitive radio context," *International Conference on Communications, Circuits and Systems*, pp.314-318, 2007.

[4] H.-S. Chen, W. Gao, and D. G. Daut "Spectrum Sensing for OFDM Systems Employing Pilot Tones" *IEEE Transactions on wireless communications*, vol 8, no.12, december 2009.

[5] S. Chaudhari, V. Koivunen, and H. V. Poor, "Autocorrelation-based detectralized sequential detection of OFDM signals in cognitive radios," *IEEE trans. on Signal Proc.*, vol. 57, no. 7, pp.2690-2700, July 2009.

[6] E. Axell and E. G. Larsson, "Optimal and sub-optimal spectrum sensing of OFDM signals in known and unknown noise variance," *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, vol. 29, no. 2, pp. 290-304, Feb. 2011.

[7] *IEEE Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band*, 1999.

[8] *IEEE Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)*

specifications: Amendments 5: Enhancement for Higher Throughput, 2009.

[9] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals," *Proceedings of the IEEE*, vol. 55, no. 4, pp. 523-532, April 1967.

[10] F.F. Digham, M.-S. Alouini, Marvin K. Simon, "On the energy detection of unknown signals over fading channels," *IEEE transactions on communications*, vol. 55, no. 1, pp.21-24, Jan. 2007.

[11] C. H. Lim, "Adaptive energy detection for spectrum sensing in cognitive radio," *Journal of IEIE*, vol. 47, no. 8, pp. 42-46, 2010. 8.

[12] J. Baek, and S. Hwang, "Effect of sensing time on the spectrum sensing performance of energy detector with verification in cognitive radio system," *Journal of IEIE*, vol. 46, no. 1, pp. 89-93, 2009. 1.

저 자 소 개



임 창 현(평생회원)
1986년 2월 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1993년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1994년 3월~현재 부경대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 통신공학, 레이더 신호처리>



김 형 중(정회원)
1992년 2월 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 8월 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
2010년 8월 충북대학교 전파공학과 (공학박사)
1995년 8월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
<주관심분야 : CR/SDR, 디지털 RF, 이동통신 기술>