

지능형 교통 시스템에서 협력 통신을 이용한 신호 검출

Signal Detection using Cooperative Communication in Intelligent Transport System

백명기*, 김진영**

*광운대학교

Key Words : ITS, Cognitive radio, Cooperative communication, Signal detection

목 차

- I. 서론
- II. 신호 검출 모델
- III. 시뮬레이션 결과
- IV. 결론

I. 서론

지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transport System)은 교통 네트워크에 정보통신 네트워크 기술을 적용하여 교통 시설을 보다 효율적으로 운영하고 통행자에게 유용한 정보를 제공하여 보다 안전하고 편리한 통행을 가능하게 하고, 최대한의 효율을 가지도록 하는 교통 부분의 정보화 시스템이다. 도로와 차량 등의 하드웨어 중심의 기반 시설에 통신과 전자, 제어, 컴퓨터 기술 등의 소프트웨어 기술을 결합하여 지능형 교통 시스템을 실현하게 된다 [1], [2].

ITS 환경에서는 노변기지국과 차량 단말 간의 다양한 서비스를 제공하기 위해 도로를 포함하는 단위 면적 내에서 양방향 통신의 많은 데이터의 전송이 이루어지게 되고, 이러한 환경에서의 통신은 주변 환경의 잡음 및 간섭의 영향도 많이 받는다. ITS 환경에서 잡음 및 간섭의 영향을 줄이고 스펙트럼 센싱을 통하여 잉여 주파수 대역을 확보하여 데이터 전송률을 향상시킬 수 있는 인지무선(CR: Cognitive Radio) 기술의 적용이 최근에 연구되고 있다 [3].

CR 기술은 지역적으로 각기 다른 주파수 및 시간 할당 분포, 고유한 주변 환경 특성에 의한 채널 특성과 같은 상황을 능동적으로 인지하고, 이러한 정보를 토대로 사용가능한 다양한 무선 자원 즉, 시간, 공간, 주파수 등을 사용자 또는 서비스가 요구하는 데이터 전송률, 용량 및 신호 대 간섭비 등과 서비스별 QoS를 만족시키기 위해 능동적으로 무선자원을 할당하고 활용하는 기술을 다루고 있다 [4-6]. 현재 CR 기술은 IEEE 802.22 WRAN(Wireless Regional Area Network)에서 표준화가 활발히 진행되고 있으며, 2009년 2월에 상용 제품 출시를 목표로 하고 있다.

CR 기술을 사용하여 잉여 주파수 대역을 확보하기 위해서

는 우선적으로 스펙트럼 센싱을 통하여 면허권을 가진 1차 사용자의 신호를 검출할 수 있어야 하며, 1차 사용자의 신호 검출을 위한 여러 가지 방법들이 연구되어지고 있다 [7-9]. 그리고 최근에는 단일 스펙트럼 센싱의 신호 검출 성능의 한계를 극복하고, 신호 검출의 신뢰성 확보를 위하여 협력 통신 기반의 신호 검출 방법이 많이 제안되고 있다 [10-12].

따라서 본 논문에서는 지능형 교통 시스템의 더 나은 채널에서의 통신과 잉여 주파수 대역의 확보를 위하여 신호 검출에 대한 연구를 수행한다. 그리고 신호 검출의 성능 향상 및 신뢰성 향상을 위해 협력 통신 기반의 신호 검출 방법을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 단일 신호 검출 방법과 비교하여 성능 향상 정도를 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 에너지 검출 방식을 이용한 단일 신호 검출과 제안하는 협력 통신을 이용한 에너지 검출 방식에 대해 알아본다. 그리고 III장에서는 시뮬레이션을 통한 신호 검출의 성능을 분석하고, 끝으로 IV장은 본 논문의 결론으로 구성한다.

II. 신호 검출 모델

1. 전송 신호

제안하는 에너지 검출 시스템에서 전송 신호는 OFDM 신호이다. OFDM은 현재 WiBro, DMB, HSDPA 등 다수의 고속 멀티미디어 서비스에 채택되어 사용되고 있으며, OFDM 신호는 광대역 주파수 채널을 다수의 협대역 채널로 나누어 전송하는데 고속의 전송심벌을 다수의 부반송파로 저속 병렬 전송하게 되면 주파수의 효율이 좋아지는 장점이 있다. 그리고

OFDM 기반의 시스템은 임펄스 잡음과 같은 다중 경로 페이딩 채널에 강한 특성을 보인다. 이는 OFDM의 각각의 부반송파와 신호가 주파수 선택적 페이딩이 아닌 플랫 페이딩 채널을 거치게 됨으로써 가능하게 된다. OFDM 신호 $x(t)$ 는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

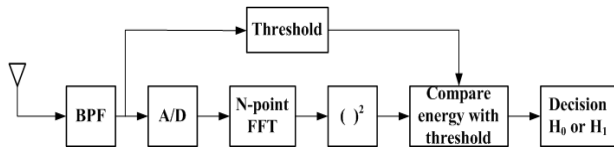
$$x(t) = \sum_{k=1}^K X_k[n] e^{j2\pi k \Delta f t}. \quad (1)$$

여기서 K 는 부반송파의 수, Δf 는 부반송파 주파수 간격, $X_k[n]$ 은 k 번째 부반송파에서 n 번째 전송 심벌을 나타낸다. 그리고 $n = t/T_s$ 이고, T_s 는 심벌 길이이다.

OFDM 신호는 모든 직교 부반송파가 동시에 전송되고, 전체 할당된 채널은 협대역 부채널들의 합과 같다. 따라서 OFDM 신호는 여러 개의 i.i.d (independent and identically distributed) 확률 변수들의 구성으로 볼 수 있다.

2. 단일 에너지 검출

에너지 검출 방법은 수신 신호의 정보가 없어도 단순히 수신 신호의 에너지를 특정 임계값과 비교함으로써 1차 사용자의 주파수 사용 여부를 결정할 수 있다. 이 신호 검출 방법은 SNR이 좋은 무선 채널 환경에서 고속으로 신호의 존재 유무를 결정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 에너지 검출 방법의 신호 검출 절차는 그림 1과 같이 수행된다.



<그림 1. 에너지 검출 방법의 구조>

에너지 검출 방법은 그림 1과 같이 수신된 신호를 샘플링을 통해 디지털화 하고 FFT 연산 및 평균을 취한 후, 그 결과를 특정 임계값과 비교하는 방법으로 해당 주파수 대역 내에 존재하는 신호의 검출을 수행하는 간단한 구조를 갖는다. 그리고 FFT 연산을 통해 신호 검출 시간이 짧은 장점을 갖는다. 기저 대역에서 샘플링 된 신호는 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

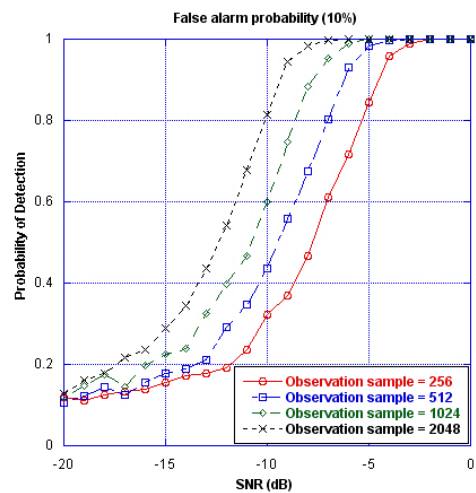
$$r(n) = s(n) + w(n). \quad (2)$$

여기서 수신 신호 $r(n)$ 은 신호 성분 $s(n)$ 과 잡음 성분 $w(n)$ 으로 구성된다. 그리고 신호 성분의 전력을 P_s , 잡음 성분의 전력을 P_w 이라고 하면, 수신 신호의 전력 P_R 은 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

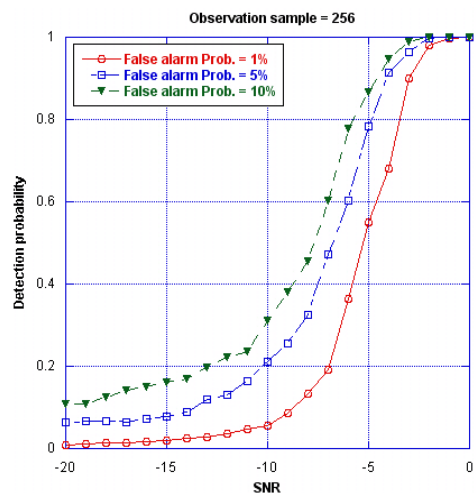
$$P_R = P_s + P_w = \frac{1}{T} \sum_1^T y(n)y^*(n). \quad (3)$$

검출기를 통해서 구한 전력이 특정 오경보 확률로부터 구한 임계값 보다 큰 경우 채널이 점유되었다고 판단하고 그렇지 않은 경우에는 채널이 비어있다고 판단한다.

단일 신호 검출의 경우 신호 검출의 성능을 향상시키기 위해 다중 안테나를 사용하거나 신호 관찰 구간을 증가시킴으로써 신호 검출의 성능을 향상시킬 수 있다. 그림 2는 단일 에너지 검출 방식에서 신호 관찰 구간을 증가시켰을 경우의 신호 검출 성능을 보여준다. 그리고 그림 3은 오경보율에 따른 신호 검출의 성능을 보여준다.



<그림 2. 단일 신호 검출에서 관찰 구간에 따른 신호 검출 성능>

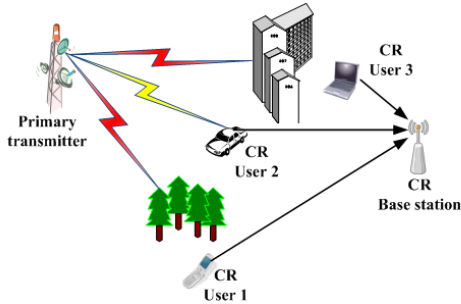


<그림 3. 단일 신호 검출에서 오경보율에 따른 신호 검출 확률>

3. 협력 통신 에너지 검출

단일 신호 검출 방식의 성능을 향상시키고 신호 검출에 대한 신뢰성을 향상시키기 위해 협력 통신을 이용한 신호 검출 방법이 제안되었다. 그림 4는 협력 통신을 이용한 신호 검출

방식을 보여준다. 그림 4에서 단일 신호 검출의 경우 User 2, 3은 쉐도잉과 페이딩의 영향으로 1차 사용자의 신호를 검출할 수 없지만, 협력 통신을 이용할 경우에는 좋은 채널 환경에 있는 User 2의 신호를 바탕으로 인지무선 기지국에서 1차 사용자의 신호를 판별하고, 스펙트럼 관리를 할 수 있게 된다.



<그림 4. 협력 통신을 이용한 신호 검출 구조>

일반적으로 단일 신호 검출에서 에너지 검출 테스트는 식 (4)와 같이 신호의 존재 유무를 구별하기 위해서 이진 가설 (binary hypothesis) 테스트로 공식화할 수 있다 [13].

$$\begin{aligned} H_0 : Y[k] &= W[k], \\ H_1 : Y[k] &= X[k] + W[k]. \end{aligned} \quad (4)$$

위의 식에서 $k = 1, 2, \dots, N$ 이고, N 은 신호의 관찰 구간을 의미한다. 잡음 성분 $W[k]$ 는 평균값 0과 편차 σ_w^2 을 가지는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)이라고 가정한다. $Y[k]$ 는 인지 무선 시스템이 가능한 단말에서의 수신 신호이고, 가설 H_0 는 채널에 잡음 성분만이 존재한다고 가정하고, 가설 H_1 은 전송 신호 $X[k]$ 와 잡음 성분이 함께 존재한다고 가정한다.

이진 가설 테스트를 이용하여 에너지 검출기에서 신호의 존재 유무를 결정할 때 오경보 확률 (False alarm probability)과 검출 확률 (Detection probability)을 이용한다. 오경보 확률 P_{fa} 는 식 (5)와 같이 채널이 비어있을 때, 검출기에서는 채널이 비어있지 않다 (D_1)고 판단하는 경우이고,

$$P_{fa} = P(D_1|H_0), \quad (5)$$

미검출 확률 P_{md} 는 식 (6)과 같이 채널을 1차 사용자가 사용하고 있을 때, 검출기에서는 채널이 비어있다 (D_0)고 판단하는 경우이다.

$$P_{md} = P(D_0|H_1). \quad (6)$$

신호 검출의 성능을 향상시키기 위해서 인지무선 사용자 간의 정보를 공유하는 협력 통신 기반의 신호 검출은 통신 오

버헤드를 최소화하기 위해서 신호 존재 유무를 판단하는 1비트의 데이터만을 서로 공유한다. 협력 통신하는 사용자의 수를 n 이라 하고, 모든 n 사용자는 같은 SNR을 가지는 i.i.d 채널을 통과한다고 가정한다. 인지무선 사용자는 $n-1$ 의 신호 검출 정보를 수신하고, n 개의 각각의 신호 검출 중에서 하나라도 신호가 존재한다고 판단하면 최종 판단은 신호가 존재한다(H_1)고 결정하는 OR-rule을 사용한다 [14]. 협력 통신을 이용한 신호 검출에서 신호 검출 확률(C_d)과 오경보 확률(C_{fa})은 아래의 식과 같다.

$$C_d = 1 - (1 - P_d)^n, \quad (7)$$

$$C_{fa} = 1 - (1 - P_{fa})^n. \quad (8)$$

위의 식에서 P_d 와 P_{fa} 는 각각 단일 신호 검출에서의 검출 확률과 오경보 확률이다. 협력 신호 검출의 경우 검출 확률과 오경보 확률 모두 증가하지만, 전체적인 네트워크로 봤을 때 단일 신호 검출에 비해 신호 검출 성능은 증가하게 된다.

III. 시뮬레이션 결과

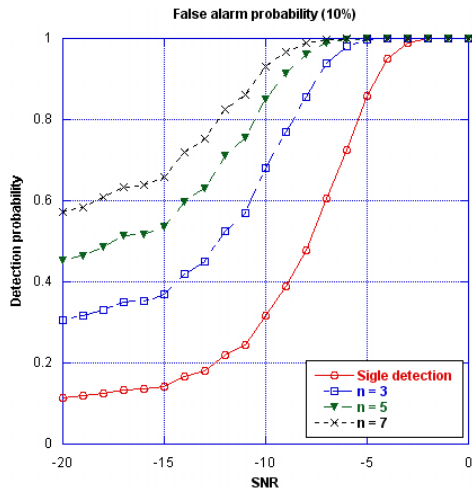
본 논문에서 제안하는 협력 통신을 이용한 신호 검출 방법의 성능을 분석하기 위해 시뮬레이션은 ITS 주파수 대역인 5.8 GHz 대역으로 설정하였다. 특정 오경보 확률에서 신호의 검출 확률을 확인하기 위해 오경보율은 1%와 10%로 설정하였다. 성능 분석을 위한 기본 파라미터는 표 1에 정리하였다.

<표 1. 시뮬레이션 파라미터>

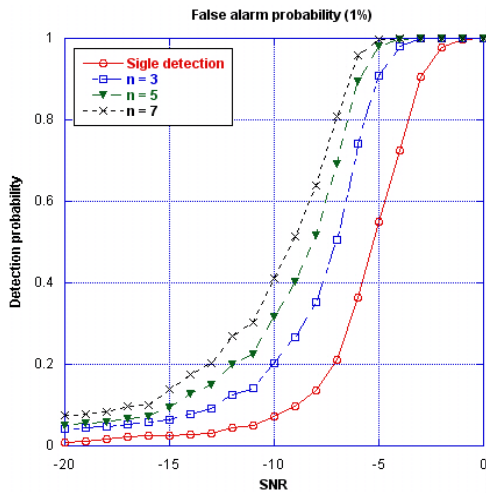
파라미터	값
중심 주파수	5.8 GHz
신호 종류	OFDM
변조 방식	BPSK
채널 모델	AWGN
오경보율	1%, 10 %
FFT 사이즈	256
협력 통신 사용자 수	3, 5, 7

그림 5는 10%의 오경보율에서의 협력 통신을 이용한 신호 검출의 성능을 보여준다. 동일한 오경보율에서 관찰 구간을 증가시킨 단일 신호 검출 성능(그림 2)과 협력 통신을 이용한 경우의 신호 검출 성능을 비교해 보면, 협력 통신을 이용한 경우의 신호 검출 성능이 채널 SNR이 낮은 경우도 신호 검출 확률이 높은 것을 확인할 수 있다. 그리고 협력 통신을 이용한 신호 검출 방법은 관찰 구간을 증가시킬 때 발생하는 하드웨어 복잡성이 증가하지 않는 장점도 가지고 있다.

그림 6은 1% 오경보율에서의 협력 통신을 이용한 신호 검출의 성능을 보여주고 있다. 10%의 오경보율을 가질 때와 성능을 비교해 봤을 때, 오경보율이 낮을수록 신호 검출의 확률도 낮아지는 것을 확인할 수 있다.



<그림 5. 10% 오경보율에서의 협력 통신을 이용한 신호 검출>



<그림 6. 1% 오경보율에서의 협력 통신을 이용한 신호 검출의 성능>

IV. 결론

본 논문에서는 인지무선 시스템의 협력 통신 기반의 신호 검출 방법을 사용하여 ITS 대역의 신호 검출 성능을 분석하였다. 협력 통신 기반의 신호 검출 방법은 하드웨어적인 복잡성 증가 없이 1비트의 정보 데이터를 서로 공유함으로써 신호 검출에 대한 신뢰성을 높여주고, 단일 신호 검출 방식에 비해 높은 신호 검출 확률을 보여준다. 향후 연구 과제는 ITS에 적합한 채널 모델 및 환경 파라미터를 고려한 성능 분석이 필요할 것이다.

참고문헌

1. M. Yasunaga, "ITS research and development activities in TAO, JAPAN," in *Proc. of Telecommu. Workshop for ITS*, vol. 24, no. 81, pp. 3-8, May 2000.
2. D. Hiang, V. Taliwal, A. Meier, W. Holfelder, and R.

- Herrtwich, "Design of 5.9GHz DSRC-based vehicular safety communication," *Wireless Commun. IEEE*, vol. 13, pp. 36-43, Oct. 2006.
3. M. K. Baek and J. Y. Kim, "Energy detection method of cognitive radio system for intelligent transport systems," in *Proc. of 2008 Spring Conf. of Korea Intelligent Transportation Systems (KITS SPRING '08)*, pp. 49-53, May 2008.
4. J. Mitola, "Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio," Ph. D thesis, Royal Institute for Technology (KTH) and Sweden.
5. S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, Feb. 2005.
6. I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran and S. Mohanty, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 50, pp. 2127-2159, Sep. 2006.
7. D. Cabric, S. M. Mishar, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," in *Proc. Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computer*, vol. 1, pp. 772-776, Nov. 2004.
8. D. Cabric and R. W. Brodersen, "Physical layer design issues unique to cognitive radio systems," in *Proc. of IEEE PIMRC 2005.*, vol. 2, pp. 759-763, Sept. 2005.
9. D. Cabric, A. Tkachenko, and R. W. Brodersen, "Spectrum sensing measurements of pilot, energy, and collaborative detection," in *Proc. of IEEE MILCOM 2006*, pp. 1-7, Oct. 2006.
10. C. Sun, W. Zhang and K. B. Letaief, "Cooperative spectrum sensing for cognitive radios under bandwidth constraints," in *Proc. of IEEE WCNC 2007.*, pp. 11-15, Mar. 2007.
11. G. Ganesan and Y. Li, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," in *Proc. of IEEE DySPAN 2005.*, pp. 137-143, Nov. 2005.
12. M. Matsui, H. Shiba, K. Akabane and K. Uehara, "A novel cooperative sensing technique for cognitive radio," in *Proc. of IEEE PIMRC 2007.*, pp. 1-5, Sept. 2007.
13. H. L. Van Trees, *Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part I*, Wiley, 1967.
14. P. K. Varshney, *Distributed detection and data fusion*. New York; Springer-Verlag, 1997.