

# 지능형 교통 시스템에서 협력 통신의 성능 분석

## Performance Analysis of Cooperative Communication in Intelligent Transport System

남호중\*, 백명기\*\*, 김진영\*\*

\*광운대학교, \*\*광운대학교

Key Words : ITS, Cooperative communication, Decision rule

### 목 차

- I. 서론
- II. 신호 검출 모델
- III. 협력 통신을 이용한 성능 분석
- IV. 시뮬레이션 결과
- V. 결론

## I. 서론

지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transport System)은 기존의 하드웨어 인프라에 정보통신, 전자, 기계 및 제어 기술을 적용하여 교통 시설을 보다 효율적으로 운영하고 통행자에게 유용한 정보를 제공하여 보다 안전하고 편리한 통행을 가능하게 하고, 교통 시스템이 최대한의 효율을 가지도록 하는 교통 부분의 정보화 시스템이다 [1], [2].

보다 나은 지능형 교통 시스템을 위하여 다양한 기술의 적용이 가능하며, 특히 최근에 활발한 연구가 진행되고 있는 인지무선 시스템을 적용하여 채널 환경이 좋은 잉여 주파수 대역의 확보가 가능하다. 인지무선 시스템은 스펙트럼 센싱을 통하여 사용되고 있지 않는 주파수 대역을 찾고 채널 환경에 적합한 최적의 파라미터를 설정하여, 최적의 서비스를 제공할 뿐만 아니라 잉여 주파수 대역의 확보로 데이터의 전송율도 향상시킬 수 있다. 하지만 인지무선 시스템이 적용된 시스템은 주파수 사용에 대한 면허권을 가지고 있지 않기 때문에 1차 사용자(primary user)에게 간섭을 주어서는 안 된다 [3], [4].

따라서 본 논문에서는 지능형 교통 시스템이 사용되는 5.8 GHz 대역에서 인지무선 시스템의 신호 검출 성능을 분석한다. 1차 사용자의 신호 검출을 위해서 기존의 에너지 검출 방법과 cyclostationary 기반의 신호 검출 방법에 다수의 인지무선 사용자들의 협력 통신을 이용한 신호 검출 방법을 적용하여 신호 검출의 성능과 신뢰성을 분석한다.

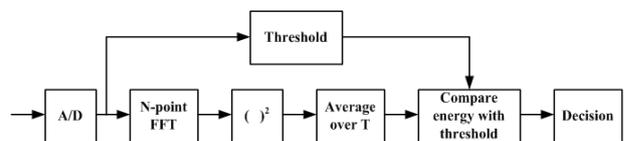
본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 신호 검출 방식에 대해 간단히 설명하고, III장에서는 협력통신을 이용한 신호 검출에 대해서 설명한다. IV장에서는 신호 검출에

대한 시뮬레이션 결과를 분석하고, 끝으로 V장은 본 논문의 결론으로 구성한다.

## II. 신호 검출 모델

### 1. 에너지 검출 방법

에너지 검출 방법은 송신 신호의 정보가 없어도 수신 에너지와 미리 설정된 특정 임계값과의 비교를 통하여 원하는 주파수 대역의 신호의 존재 유무를 판단할 수 있다 [5], [6]. 그림 1은 에너지 검출 방법의 구조를 보여준다.



<그림 1. 에너지 검출 블록도>

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.

$$r(n) = s(n) + w(n). \quad (1)$$

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 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$P_R = P_S + P_W = \frac{1}{T} \sum_1^T y(n)y^*(n). \quad (2)$$

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

## 2. Cyclostationary 기반의 신호 검출 방법

송신기에서 최종적으로 전송되는 신호는 변조와 반송파 등의 영향으로 그 평균과 자기상관 함수 등이 통계적으로 주기성을 갖게 되므로 cyclostationary 특성을 가지게 된다 [7], [8]. 일반적으로 stationary 랜덤 프로세스의 신호 성분을 분석하기 위해서는 자기상관 함수와 PSD(Power Spectral Density)를 이용하게 되지만, cyclostationary 신호는 그 주기적 특성으로 인해 주파수 성분 간의 상관성이 존재하게 되어 SCF(Spectral Correlation Function)을 이용할 수 있다. 그래서 잡음의 경우 주파수 영역에서 cyclostationary 특성을 가지지 않기 때문에 스펙트럼 센싱을 통해 1차 사용자의 존재 유무를 판단할 수 있다. 주기 T를 가지는 임의의 신호의 평균과 자기상관 함수는 식 (3), (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$m_x(t) = m_x(t - T), \quad (3)$$

$$R_x(t + T + \frac{\tau}{2}, t + T - \frac{\tau}{2}) = R_x(t + \frac{\tau}{2}, t - \frac{\tau}{2}). \quad (4)$$

Cyclostationary 신호의 분석을 위해서 시간 도메인과 주파수 도메인에서의 두 가지의 함수를 이용한다. 시간 도메인에서의 cyclostationary 신호의 분석은 식 (5)와 같은 CAF(Cyclic Autocorrelation Function)을 이용하고, 주파수 도메인에서의 분석은 식 (6)과 같이 CAF를 푸리에 변환한 SCD(Spectral Correlation Function)을 이용한다.

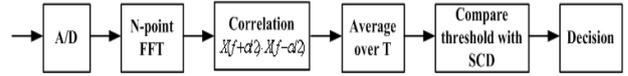
$$R_x^\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_{-\Delta t/2}^{\Delta t/2} x(t + \frac{\tau}{2})x(t - \frac{\tau}{2})e^{-j2\pi\alpha t} dt, \quad (5)$$

$$S_x^\alpha(f) = \lim_{\Delta f \rightarrow \infty} \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_{-\Delta t/2}^{\Delta t/2} \Delta f X_{1/\Delta f}(t, f + \frac{\tau}{2})X_{1/\Delta f}^*(t, f - \frac{\tau}{2}) dt, \quad (6)$$

$$X_{1/\Delta f}(t, v) = \int_{t - \frac{1}{2\Delta f}}^{t + \frac{1}{2\Delta f}} x(u)e^{-j2\pi v u} dt, \quad (7)$$

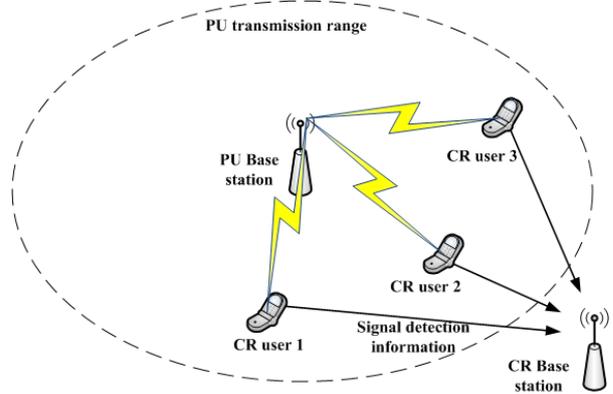
여기서 식 (7)은 중심주파수  $v$ 와 대역폭  $\Delta f$ 를 가지는 신호  $x(t)$ 의 구간  $[t+1/2\Delta f, t-1/2\Delta f]$ 에서의 복소 포락선으로 푸리에

계수를 나타낸다. 이와 같은 cyclostationary 특성을 이용한 신호 검출은 FFT를 이용하여 간략화 할 수 있다. 그림 2는 일반적인 cyclostationary 검출 방식의 구조를 나타내고 있다. 채널을 통과하여 수신된 신호  $x(t)$ 는 A/D 블록을 통과한 후에, FFT를 거쳐 시간 신호에서 주파수 신호로 변환된다. 그리고  $\alpha$  간격의 주기 주파수 간격으로 스펙트럼 상관 관계를 구하고, 주기 T 만큼의 평균을 구한 후에 특정 임계값과 SCD 값을 비교하여 스펙트럼 센싱 구간에서 1차 사용자의 신호의 존재 유무를 판단할 수 있다.



<그림 2. Cyclostationary 검출 방식의 블록도>

## III. 협력통신을 이용한 성능 분석



<그림 3. 협력 통신을 이용한 신호 검출의 블록도>

협력 통신을 이용한 신호 검출은 단일 신호 검출의 성능에 비해 신호 검출 확률을 향상시키고, 신호 검출에 대한 신뢰성을 주기 위해 사용 된다 [9-11]. 그림 3은 협력 통신을 이용한 신호 검출 방식을 보여준다. 각각의 인지무선 사용자들은 단일 신호 검출을 수행하고, 인지무선 기지국으로 신호 검출에 대한 정보를 전달하여 최종적으로 인지무선 기지국에서 1차 사용자의 신호의 존재 유무를 판단하게 된다.

협력 통신 기반의 신호 검출은 시스템 오버헤드를 줄이기 위하여 각각의 인지무선 사용자의 신호의 존재 유무를 판단하는 1비트의 데이터만을 전송한다. 신호가 존재한다고 판단할 때  $H_1$ 의 정보를 보내고, 신호가 존재하지 않는다고 판단할 때  $H_0$ 의 1비트의 정보만을 공유하는 방식을 Hard decision 방식이라고 한다.

1차 사용자의 신호 검출 확률을 높이기 위해서 인지무선 기지국에서 한 명의 인지무선 사용자라도 신호가 존재한다고 판단할 때, 기지국에서 신호가 존재한다고 판단하는 decision-rule을 OR-rule이라고 한다 [12]. OR-rule의 수식은 식 (8), (9)와 같다. 아래의 식에서  $P_d$ 와  $P_{fa}$ 는 각각의 인지무선 단말에서의 신호 검출 확률과 오경보 확률을 의미한다.

$$P_d = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - P_{d,k}), \quad (8)$$

$$P_{fa} = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - P_{fa,k}). \quad (9)$$

AND-rule은 인지무선 기지국에서 모든 신호 검출 정보를 수집하여 모든 정보가 신호가 존재한다고 판단하였을 때, 기지국에서 최종적으로 신호가 존재한다고 판단한다. AND-rule은 식 (10), (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_d = \prod_{k=1}^n P_{d,k}, \quad (10)$$

$$P_{fa} = \prod_{k=1}^n P_{fa,k}. \quad (11)$$

### III. 시뮬레이션 결과

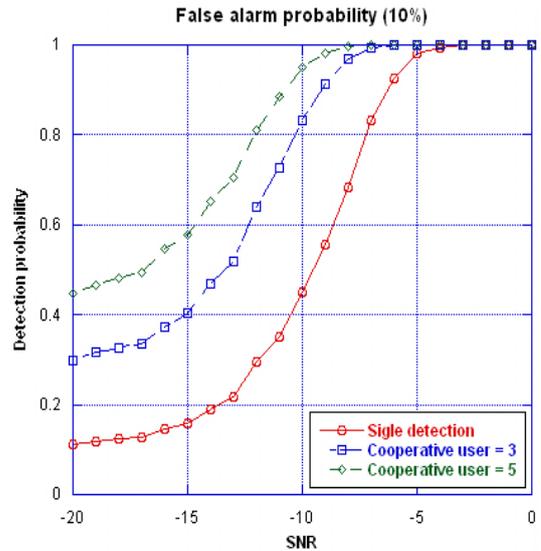
본 논문에서는 에너지 검출 방법과 cyclostationary 기반의 신호 검출 방법에 협력 통신 방법을 적용하고 decision rule에 따른 신호 검출 확률을 분석한다. 성능의 분석을 위해 ITS 주파수 대역인 5.8GHz 대역의 OFDM 신호에 대한 신호 검출을 수행한다. 시뮬레이션을 위한 기본 파라미터는 표1과 같다.

<표 1. 시뮬레이션 파라미터>

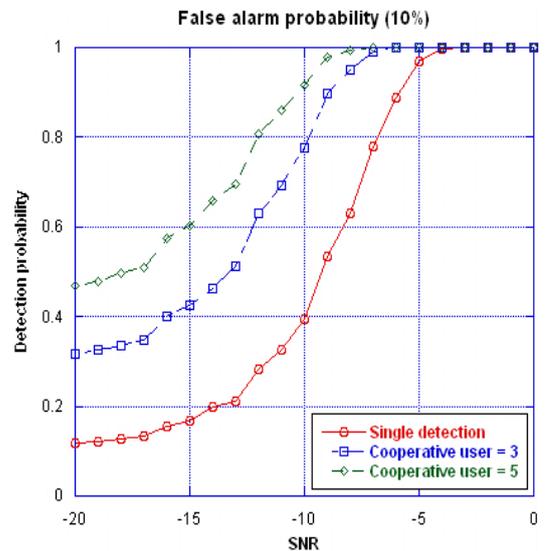
파라미터	값
중심 주파수	5.8 GHz
신호 종류	OFDM
변조 방식	BPSK
채널 모델	AWGN
오경보율	10%
FFT 사이즈	512
협력 통신 사용자 수	3, 5

그림 5와 6을 비교해 보면, 그림 5는 512 사이즈의 관찰 구간을 가지는 에너지 검출 방식을 이용한 협력 통신의 성능을 나타내고, 그림 6은 총 관찰 구간은 512 사이즈이지만, 256 샘플들의 상관 관계를 구하여 신호를 검출한다. OR-rule을 사용하는 경우에, 동일 관찰 구간을 가지는 에너지 검출 방법과 cyclostationary 기반의 신호 검출 방식을 협력 통신에 이용하였을 때, 두 방법이 비슷한 성능을 보이지만 복잡성을 비교하였을 때, 에너지 검출 방식을 이용한 협력 통신의 신호 검출 방식이 더 우수하다고 볼 수 있다.

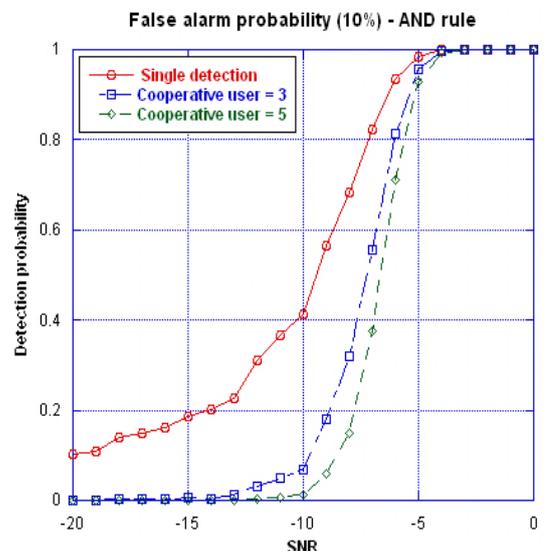
그림 6과 7은 두 방식에 대한 협력 통신에서 AND-rule을 사용하였을 때의 결과를 보여준다. 협력 통신에 참여하는 모든 인지무선 사용자들이 신호가 존재한다고 판단하여야 하기 때문에 단일 신호 검출에 비해서도 신호 검출 확률이 떨어진다. 하지만 -5dB 이상의 채널 환경에서는 90% 이상의 신호 검출 확률로 신호를 검출할 수 있다.



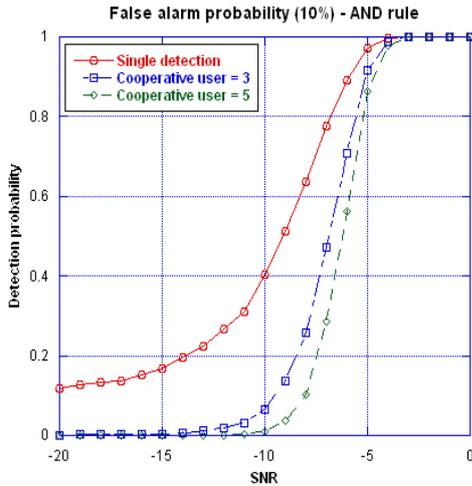
<그림 4. 에너지 검출 방식을 이용한 협력 통신의 성능(OR-rule)>



<그림 5. Cyclostationary 검출 방식의 협력 통신의 성능(OR-rule)>



<그림 6. 에너지 검출 방식을 이용한 협력 통신의 성능(AND-rule)>



<그림 7. Cyclostationary 검출 방식의 협력 통신의 성능(AND-rule)>

#### IV. 결론

본 논문에서는 지능형 교통 시스템에서 인지무선 시스템의 협력 통신을 이용한 신호 검출의 성능을 분석하였다. 협력 통신에 참여하는 각각의 인지무선 사용자는 에너지 검출 방법과 cyclostationary 기반의 신호 검출 방법을 사용한다. 최종적으로 신호의 존재 유무를 판단하는 인지무선 기지국에서는 decision-rule에 따라 신호의 검출 확률을 높이거나, 신호의 검출 확률에 대한 신뢰성을 높여줄 수 있다. 두 가지의 신호 검출 방식을 비교하면, 협력 통신 시스템이 같을 때, 에너지 검출 방식이 복잡성과 신호 검출 확률에서 더 나은 성능을 보인다. 향후 연구 과제는 협력 통신을 위한 프로토콜에 관련한 연구가 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. J. Mitola, "Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio," Ph. D thesis, Royal Institute for Technology (KTH) and Sweden.
4. S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220. Feb. 2005.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. G. Ganesan and Y. Li, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," in *Proc. of IEEE DySPAN 2005.*, pp. 137-143, Nov. 2005.
11. 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.
12. P. K. Varshney, *Distributed detection and data fusion*. New York; Springer-Verlag, 1997.