

멀티콥터를 위한 효율적인 스펙트럼 센싱

정국현*, 이선의*, 박지호*, 김진영*

Efficient Spectrum Sensing for Multi-Copter

Kuk Hyun Jung*, Sun Yui Lee*, Ji Ho Park* and Jin Young Kim*

요 약

본 논문에서는 멀티콥터의 원활한 주파수 사용과 에너지 충전을 위하여 효율적인 스펙트럼 센싱기술을 제안한다. 제안된 구조는 Ad-hoc network를 기반으로 한 Spectrum sensing의 성능을 향상시키는데 중점을 둔다. 우선 Cooperative Spectrum sensing, Ad-hoc based Spectrum sensing의 기본원리와 단점을 설명한다. 이러한 점을 보완하여 인지 무선 시스템 기반 ad-hoc 네트워크에서도 신호들의 detection probability를 향상시키기 위하여 2차 사용자의 ad-hoc 단말들에게 보다 높은 1차 사용자의 전송 파워를 실어 주기 위한 beamforming 기법을 이용한다. 실험 결과는 신호검출 성능으로 보여주며, 본 논문의 실험결과는 ad-hoc 기반 인지 무선 시스템에 적용 가능하다.

Key Words : Multi-Copter, Cognitive Radio, Cooperative Spectrum sensing, Ad-hoc Spectrum sensing, Beam-forming Technique.

ABSTRACT

In this paper, we provide efficient spectrum sensing technology for smooth use of frequency and energy charge of multi-copter. The proposed structures focus on improving performance of spectrum sensing that is based on Ad-hoc network. First, we explain basic principles and disadvantages of cooperative spectrum sensing and ad-hoc based spectrum sensing. To solve these problems, in this paper, we employ the beamforming technology that guarantees higher transmit primary users' signal power to secondary users in ad-hoc network. The performance of proposed algorithm is analyzed in terms of detection probabilities, and the results of this paper can be applied to the various ad-hoc based Cognitive Radio system.

I. 서 론

멀티콥터를 이용한 다양한 영상 촬영 기술이 개발되면서 다양한 영역에서 멀티콥터 촬영을 요하는 수요가 급증하고 있다. 해외의 사례로 보면 다양한 익스트림 스포츠를 멀티콥터를 통하여 촬영하여 더 다양한 즐거움을 원하는 소비자 욕구를 충족하여 멀티콥터 관련 기업이 속속들이 생겨나고 있다. 하지만 멀티콥터가 많이 지는 만큼 도시 내에서 항공 촬영을 하면서 사생활 침해, 비행물체에 대한 허가, 멀티콥터의 주파수 사용 등 다양한 문제가 발생하고 있다[1]. 멀티콥터를 조정하기 위한 주파수는 낮은 영역의 400MHz 정도의 라디오 주파수를 사용하지만 사진 이미지, 동영상 전송 등의 고속 데이터 전송을 요구하는 서비스에는 2.4Ghz에서 주로 쓰이고 있다. 하지만 국내에서는 멀티콥터에 대한 주파수 사용

허가를 논의조차 하지 않은 시점이고 각 통신사들은 LTE망을 이용한 사용 기술을 선보이고 있다. 이런 상황 속에서 협력 통신은 주변의 사용자들의 주파수를 센싱하여 멀티콥터가 사용할 수 있는 주파수 대역을 검색하여 원활한 무선 통신 서비스를 제공하는 기술이 요구되고 있다. 야외나 도시의 상공 등의 채널 환경은 멀티패스가 적은 LOS 환경과 유사하다. 따라서 많은 데이터량을 요구하는 멀티콥터가 촬영한 영상을 다운링크에 보내야하기 때문에 사용 대역을 검색하는 기술이 필요하다.

멀티콥터는 배터리를 이용하여 모터 프로펠러를 가동시켜 비행하기 때문에 비행 시간에 많은 제약을 받는다. 게다가 촬영 영상 장비를 멀티콥터에 장치하게 되면 중량이 늘어나게 되고 동영상을 전송하는 방식을 사용하게 되면 통신을 위한 에너지 소모도 비행시간 단축에 큰 영향을 끼치게 된

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신-방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2014(2014-044), '방송 중계차량 탑재형 멀티콥터 캡 시스템 기술개발']

*광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실(rnzpdl@nate.com), (sunyui22@naver.com), (jihopark@kw.ac.kr), (jinyoung@kw.ac.kr),

접수일자 : 2014년 10월 7일, 수정완료일자 : 2014년 10월 27일, 최종재확정일자 : 2014년 11월 3일

다. 따라서 적은 에너지 소모를 위한 통신 기술이 필요하고 이는 주파수의 사용을 많이 하는 것이 이득이기 때문에 주변 사용자의 사용주파수를 센싱하여 사용할 수 있고 주파수 자원을 활용할 수 있는 협력 통신 기술이 필요하다.

그래서 기존 협력 스펙트럼 센싱 기술을 배경으로, 우리는 빔 포밍 기법 기반에 에드혹 CR을 제안한다. 에드혹 네트워크는 액세스 포인트 또는 중앙 독립 네트워크와 같은 인프라 없이 모바일 디바이스의 자기 조직화 네트워크이다. 하지만 에드혹 네트워크 기반 인지 무선 시스템의 검출 확률은 인프라를 가진 네트워크보다 낮다[2-4]. 이러한 점을 해결하기 위해서, 우리는 에드혹 네트워크 기반 인지 무선 시스템에서 빔포밍을 이용하여 검출 확률을 향상시킨다.

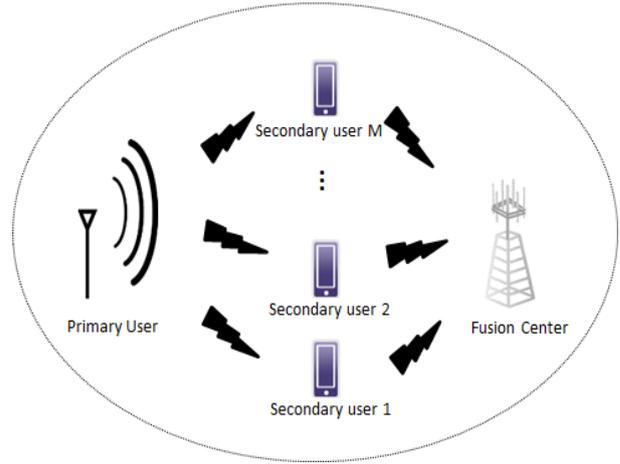


그림 1. 협력 스펙트럼 센싱의 시스템 모델.

II. Cooperative Spectrum sensing

방송 중계를 위한 멀티홉터의 영상전송 시스템은 3G/LTE, WiFi 등 기존망을 이용한 방식이 될 것이다. 그러기 위해선 멀티홉터 주변의 통신망 기지국 파악과 효율적인 통신망을 선택하여 방송 중계를 해야 하며 선택된 통신망에서는 다른 신호와의 간섭이 있어서는 안 된다. 본 논문에서 주변의 통신망과 다른 사용자와의 간섭을 피하기 위해 Spectrum sensing 기술을 제안한다.

Spectrum sensing 기술에는 비협력 검출방식과 협력 검출 방식이 있는데 비협력 검출방식은 다중경로 현상과 음영효과 등의 영향을 받는다[5]. 협력 검출방식은 이러한 문제를 해결한다. 협력 스펙트럼 센싱은 그림 1에서와 같이 1차 사용자 (Primary user), M 명의 비 면허 사용자 (Secondary user 1, Secondary user 2, ..., Secondary user M)와 이들의 검출 결과를 융합하는 융합센터 (Fusion center)로 이루어져 있다. 협력 스펙트럼 센싱은 각 비 면허 사용자가 수신한 신호의 에너지 값을 받아서 면허 사용자의 존재를 판단한다. 이때 i 번째 비 면허 사용자의 에너지 $E_i[k]$ 는 다음과 같다.

$$E_{C_i}[k] = |y_{C_i}[k]|^2, \quad (1)$$

만약 면허 사용자가 존재한다면 식 (1)과 같이 계산된 에너지 값이 임계값 γ_i 와 비교되고, 이렇게 비교 후 나오는 결과 즉, 각 비 면허 사용자의 개별 센싱 결과는 다음과 같이 계산된다.

$$D_{C_i} = H(E_{C_i}[k] - \gamma_{C_i}), \quad (2)$$

식 (2)에서 $H(\cdot)$ 함수는 Heaviside Step Function이다. 즉, $E_{C_i}[k]$ 이 임계값 γ_{C_i} 보다 크거나 같으면 $D_{C_i}[k] = 1$ 이고, $E_{C_i}[k]$ 이 임계값 γ_{C_i} 보다 작으면 $D_{C_i}[k] = 0$ 이다.

이렇게 계산된 개별 센싱 결과는 Fusion Center로 전송되어 결합되고 결합된 결과는 다시 임계값 γ 과 비교되어 최종적으로 면허 사용자의 유, 무를 판단하게 된다[6]. 융합센터에서 계산된 최종 판정 결과는 다음의 식 (3)와 같다.

$$D_C[k] = H\left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M D_{C_i} - \gamma_C\right), \quad (3)$$

융합센터에서는 최종 판정 결과값 $D_C[k] = 1$ 이면 면허 사용자가 존재한다고 판단해서 비 면허 사용자는 해당 스펙트럼을 사용할 수 없고, $D_C[k] = 0$ 이면 면허 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수라고 판단하며 비 면허 사용자가 해당 스펙트럼을 사용할 수 있는 권한을 갖게 된다.

III. Ad-hoc based Spectrum sensing

이번 장에서는 Ad-hoc네트워크 기반의 무선인지 시스템에서 스펙트럼 센싱 방법에 대해 설명하고 비 면허 사용자가 클러스터를 구성할 때 클러스터 헤드를 선정하는 방법에 대해 설명하도록 한다.

1. 클러스터 헤드 선정

클러스터 기반의 네트워크에서는 에너지 효율적인 라우팅을 위해 클러스터의 헤드를 선정하는 방법이 매우 중요하다. 본 논문에서는 비 면허 사용자간의 클러스터를 이룬 네트워크에서 면허 사용자의 신호의 수신율이 가장 좋은 비 면허 사용자를 선정하여 클러스터 헤드로 가정하도록 한다. 즉, 면허 사용자로부터 전송된 수신신호의 신호 대 잡음비 (SNR : Signal to Noise Ratio)를 계산하여 SNR이 가장 높은 비면허 사용자가 클러스터 헤드로서의 역할을 수행한다.

2. 스펙트럼 센싱의 판정방식

클러스터 헤드는 각 비면허 사용자가 개별적으로 스펙트럼 센싱한 결과를 취합하여 최종적으로 면허사용자의 존재 여부를 가리는 최종 결정자로서의 역할을 수행한다. 이때 최종적으로 면허 사용자의 유, 무를 판정하기 위해 본 논문에서는 최종 판정의 신뢰성을 높이기 위해 Majority 판정 방식을 제안한다. 기존의 제안된 판정 방식인 AND 방식과 OR방식은 너무 엄격하거나 조악한 판단을 내린다. 이에 따라 검출 확률은 지나치게 낮거나 높게 나타나게 된다. Majority 판정 방식은 개별 검출결과 값의 과반수의 결과를 최종 판정에 반영하여 면허 사용자의 존재를 판단하고 임계값 γ 은 $\gamma = M/2$ 로 설정한다. 즉, 개별 검출결과 값의 과반수가 $D_i[k] = 1$ 로 나타나면 $D[k] = 1$ 로 판단하고, 개별 검출 결과의 과반수가 $D_i[k] = 0$ 으로 판단하면 최종 판정 결과는 $D[k] = 0$ 로 결정 된다. 이와 같은 판정방식은 AND방식 및 OR방식에 비하여 합리적이며 신뢰성 있는 판정 방식이다.

IV. 시스템 모델

본 논문에서는 인지 무선 기반 애드 혹 네트워크에서 빔포밍 기술을 이용하여 스펙트럼 센싱의 detection probability를 높이고자 한다.

안테나는 적용되는 곳에 따라서 두 가지 다른 기능으로 이용된다. 통신에서의 안테나는 원하지 않는 방향으로의 방사 방향을 방지하면서 희망하는 신호 방향에서 최대 이득을 가지는 단일 채널을 제공한다. 레이더에서는 안테나의 기능은 외부의 이미지를 제공하는 것이고 그 성능은 이미지의 질을 위해 결정적인 요소가 된다. 정보의 양이 많아지고 점점 복잡해짐에 따라 안테나의 성능 향상에 대한 요구는 더욱 증가하고 있는 추세이다. 이러한 상황에서 새로운 기술인 빔포밍은 안테나의 성능을 향상시키기 위한 뛰어난 기법이라 할 수 있다. 빔포밍이란 안테나에서 방사된 에너지가 공간에서 특정한 방향으로 따라 집중 되는 장치를 말한다. 빔포밍의 목적은 원하는 방향으로부터 신호를 수신하거나 원하는 방향으로 신호를 전달하는 것이다[7-8].

인지 무선 시스템을 기반으로 하는 ad-hoc 네트워크에서 각 단말들의 움직임에 의한 도플러효과, 건물 등에 의한 채도영 및 페이딩 현상에 의해 1차 사용자의 신호 검출 성능이 열화 되는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하여 인지 무선 시스템 기반 ad-hoc 네트워크에서도 신호들의 detection probability를 향상시키기 위하여 2차 사용자의 ad-hoc 단말들에게 보다 높은 1차 사용자의 전송 파워를 실어 주기 위한 빔포밍 기법을 이용하였다.

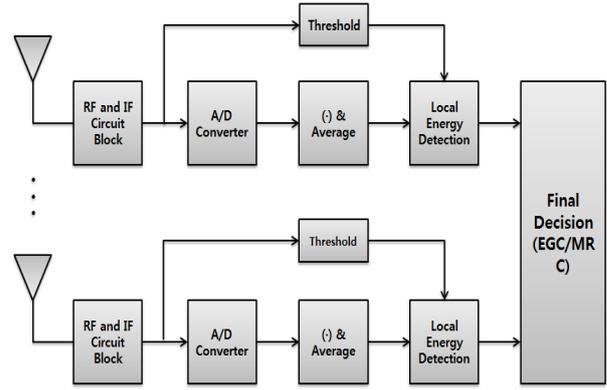


그림 2. 제안된 모델의 블록 다이어그램.

그림 2는 본 논문에서 제안한 시스템 블록 다이어그램을 나타낸 것이고, 그림 2는 빔포밍 기법을 이용한 시스템 모델을 도식화 하였다.

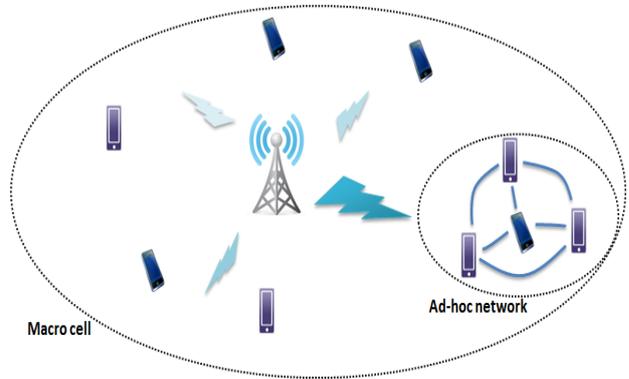


그림 3. 빔포밍 기법을 이용한 시스템 모델.

그림 3을 보듯이 애드 혹 네트워크 안에 밀집해 있는 CR 단말기들은 다른 macro cell에 있는 단말기들과는 달리 1차 사용자의 신호 검출이 약하므로, 애드 혹 네트워크에 빔포밍을 쏘 줌으로써 스펙트럼 센싱 확률을 높일 수 있다.

V. 성능 분석

이 장에서는 본 논문의 성능 분석을 나타내었다.본 논문에서는 ad-hoc 네트워크 내의 cluster-header가 각 ad-hoc 기기들의 위치 정보를 GPS를 통해 미리 알고 있다고 가정한다. 따라서, 빔포밍에 의한 가중치를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$W_B = [w_1, w_2, \dots, w_M]^T, \quad (4)$$

여기서 []^T는 matrix transpose를 의미한다. 식 (4)을 이용하면 빔포밍에 의한 1차 사용자의 전송 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y(t) = W_B \cdot s(t), \quad (5)$$

여기서 $s(t)$ 는 1차 사용자의 송신 신호이다.

1차 사용자의 신호를 검출하기 위해서, 1차 사용자의 신호가 존재하는 상태를 H_1 , 존재하지 않는 상태를 H_0 라 한다. 2차 사용자인 ad-hoc 네트워크 내에 M명의 사용자가 존재한다고 하면, 1차 사용자의 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \begin{cases} W_B [h_1 s_1(t) h_2 s_2(t) \cdots h_M s_M(t)] & H_1 \\ n(t) & H_0 \end{cases}, \quad (6)$$

여기서 h_M 은 각 channel 상수를 의미하고, $n(t)$ 는 $N(0, 2N_0W)$ 의 분포를 갖는 백색잡음 (AWGN, Additive white Gaussian noise)이다.

H_1 의 상황에서, Y 가 non-central chi-squared 분포를 갖는 수신신호 $r(t)$ 의 랜덤 변수라고 했을 때, 1차 사용자의 신호 검출 확률 P_D 는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$P_D = P[Y > \eta | H_1] = Q_x(\sqrt{2SNR_C}, \sqrt{\eta}), \quad (7)$$

식 (7) SNR_C 는 빔포밍이 적용된 ad-hoc 네트워크에서의 평균 SNR (Signal-to-noise ratio)을 의미하며 x 는 수신 신호의 주기와 대역폭의 곱이다. 또한 η 는 오검출 경보(FA, False alarm)에 따른 임계치 값이다. $Q(\cdot)$ 는 generalized Maccum Q-function으로 다음과 같이 표현된다.

$$Q_m(a, b) = \int_b^\infty \frac{x^m}{a^{m-1}} e^{-\frac{x^2+a^2}{2}} I_{m-1}(ax) dx, \quad (8)$$

여기서 I_{m-1} 은 $(m-1)$ 차 modified 베셀 함수이다.

VI. 시뮬레이션 결과

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크에서의 빔포밍 기법을 이용한 센싱 성능을 모의 실험 결과를 통하여 알아본다. 본 논문에서의 실험은 표 1의 파라미터를 따른다.

표 1. 모의실험을 위해 적용된 파라미터

Parameters	Value
Channel model	Rayleigh / AWGN
Decision rule	Majority decision
FA probability	5%,10%
Modulation scheme	BPSK
Combining method	EGC / MRC
Beamforming factor	1.3

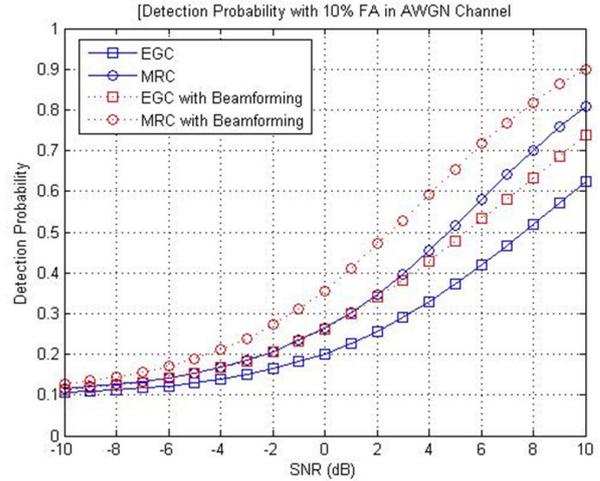


그림 4. FA 10%일 때 AWGN channel에서의 검출 성능 비교.

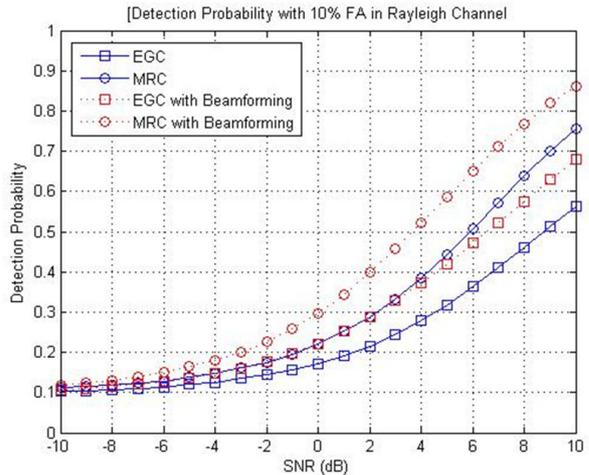


그림 5. FA 10%일 때 Rayleigh channel에서의 검출 성능 비교.

그림 5, 6은 FA가 10%일때 AWGN channel과 Rayleigh channel에서의 EGC와 MRC를 이용한 것과 본 논문에서 제안한 빔포밍 기법을 이용하여 실험한 detection probability의 값들을 비교한 그래프이다. 그림 5,6 모두 각각 combining 방법을 EGC를 했을 때 보다는 MRC를 했을 때의 신호 검출 확률이 높게 나온 것을 알 수 있었고, 일반 EGC, MRC에 빔포밍을 기법을 추가한 빨간색 선들은 일반 EGC, MRC를 이용한 검은색 선들의 그래프 보다 SNR 대비 detection probability가 월등히 높음을 나타내었다.

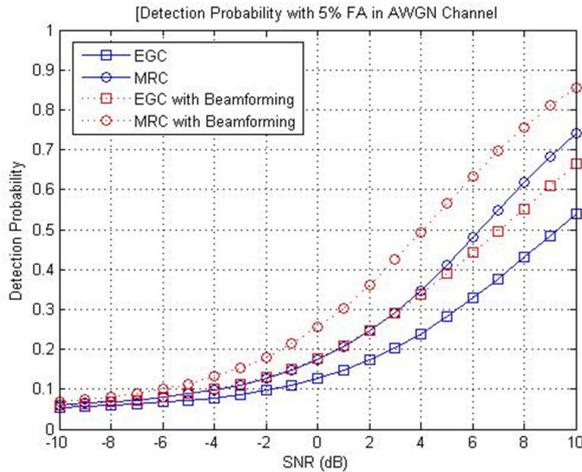


그림 6. FA 5%일 때 AWGN channel에서의 검출 성능 비교.

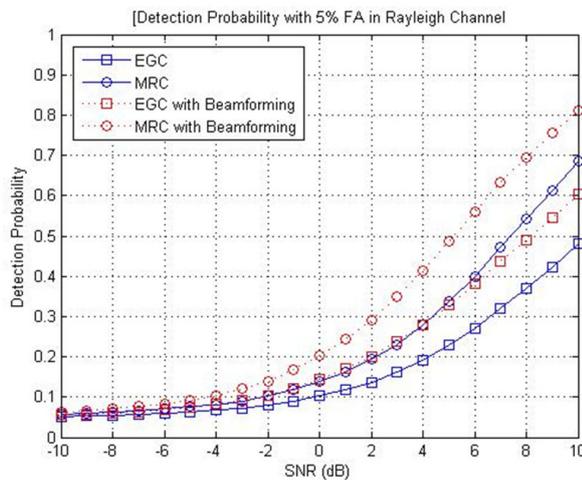


그림 7. FA 5%일 때 Rayleigh channel에서의 검출 성능 비교.

그림 7, 8은 FA가 5%일때 AWGN channel과 Rayleigh channel에서의 combining 방법을 각각 다르게 해서 빔포밍 기법을 이용한 것과 아닌 것을 비교한 그래프이다. FA가 10%일때의 그림 5,6과 비교했을 때 detection probability의 성능은 낮음을 보인다. 하지만, 본 논문에서 제안한 빔포밍 기법을 사용한 빨간색 선 그래프가 일반 combining 방법을 이용한 검은색 선 그래프보다 detection probability의 검출 성능이 우수함을 보였다.

VII. 결론

본 논문에서는 멀티컴퓨터를 이용한 다양한 영상 촬영 기술이 개발되면서 요구되는 기술들에 대해 설명하였다. 멀티컴퓨터의 주파수 사용허가와 원활한 촬영을 위해 필요한 에너지 획득기술이 요구되는데 이때 필요한 기술이 Spectrum sensing이다. 우리는 Spectrum sensing의 성능을 향상시키기 위해 우선 Ad-hoc network망을 기반으로 한 Spectrum sensing

을 설명하였고 그 단점을 보완하였다. Ad-hoc 네트워크 특성상 각 단말들의 움직임에 의한 도플러 효과, 건물들에 의한 쉐도잉 및 페이딩 현상에 의해 1차 사용자의 신호 검출 성능이 열화되는 단점을 갖고 있어서, 이 단점을 해결하고 신호 검출 성능을 향상시키기 위한 빔포밍 방법을 제안하였다. 모의실험 결과를 통하여 제안한 기법의 성능이 뛰어난 것을 보였다. 앞으로 멀티컴퓨터를 이용한 촬영기술 연구가 계속 될 것이므로 이것을 위한 다양한 기술 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] J. Y. Kim, Cognitive Radio Communication, Inter Vision, 2008.
- [2] Charles E. Perkins, Ad Hoc Networking, Addison-Wesley, 2001.
- [3] C.K. Toh, Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems, Prentice Hall PTR, 2002.
- [4] S. Sedghi, M. Khademi, and N. Cvejić, "Analysis of channel capacity of spread spectrum audio watermarking system," in Proc. of Intelligent Signal Processing and Communications, pp. 175-178, Dec. 2006.
- [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, no. 13, pp. 2127 - 2159, 2006.
- [6] D. Cabric, S. Mishra, R. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," in: Proc. of Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers, vol. 1, pp. 772 - 776, 2004.
- [7] R. Mudumbai, D. R. Bown III, U. Madhoo, and H. V. Poor, "Distributed Transmit Beamforming: Challenges and Recent Progress.," IEEE Comm. Mag., vol. 47, issue 2, pp. 102-110, Feb. 2009.
- [8] C. Ward, P. Hargrave, and J. McWhirter, "A Novel Algorithm and Architecture for Adaptive Digital Beamforming," IEEE Trans. AP-S, vol. AP-34, Mar. 1986.

저자

정 국 현(Kuk Hyun Jung)



- 2013년 8월 : 광운대학교 전파공학과 졸업
- 2013년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신

이 선 의(Sun Yui Lee)



- 2013년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업
- 2013년 2월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신, 양자통신

박 지 호(Ji Ho Park)



- 2014년 2월 : 광운대학교 전자융합 공학과 졸업
- 2014년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> : 위치공학, 재난통신, 협력통신

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신.