애드 혹 네트워크에서의 협력 센싱 기법의 성능 분석

이경선*, 김윤현*, 김진영* 정회원

Cooperative Spectrum Sensing with Ad-Hoc Network for Cognitive Radio

Kyung Sun Lee*, Yoon Hyun Kim*, Jin Young Kim* *RegularMembers*

요 약

이동 Ad hoc 네트워크 (MANET: Mobile Ad-hoc Network)는 기존의 통신 인프라의 구축 여부와 무관하게 무선 단말기간의 통신이 가능한 네트워크이다. Ad hoc 네트워크는 음영지역, 재난지역, 전쟁 시와 같은 통신 인프라가 구축되기 어려운 상황에서 유용하게 사용 될 수 있다. 그러나 음성 및 데이터 서비스 등과 같은 무선 서비스의 제공을 위해 많은 양의 네트워크 용량이 필요하게 되지만 기존의 제한된 주파수 자원에 따른 주파수 부족 상황 및 주파수 자원정책의 규제에 따라 원활한 주파수 사용이 어려운 상황이다. 이에 따라 높은 주파수 활용을 제공하는 무선 인지 시스템이 Ad-hoc네트워크에 적용하여 보다 다양하고 확장된 네트워크 서비스를 제공할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 AWGN 과 Rayleigh 채널 환경에서, 기존의 단일 스펙트럼 센싱 및 협력 스펙트럼 센싱과 비교하여 Ad-hoc 네트워크가 적용된 무선인지 시스템에서의 스펙트럼 센싱의 성능이 향상됨을 모의실험 및 성능 분석을 통하여 나타내었다.

Key Words : Cognitive Radio (CR), Ad- hoc Network, Cooperative Spectrum Sensing, Fusion center

ABSTRACT

Wireless devices can communicate between each other without existing infrastructure in mobile Ad-hod network. Ad hoc networks can be used under difficult conditions, where it is difficult to construct infrastructures, such as shadowing areas, disaster areas, war area, and so on. In order to support to considerable and various wireless services, more spectrum resources are needed. However, efficient utilization of the frequency resource is difficult because of spectrum scarcity and the conventional frequency regulation. Ad-hoc networks employing cognitive radio (CR) system that guarantee high spectrum utilization provide effective way to increase the network capacity. In this paper, we simulate and compare the performance of conventional single and cooperative spectrum sensing with CR system using ad-hoc networks in additive white Gaussian noise (AWGN) and Rayleigh channel model. And we demonstrate performance improvement by analyzing the system performance.

I. 서 론

최근 무선 통신 서비스의 급증으로 스펙트럼의 점유율이 높아지게 되면서 주파수 자원의 부족현상이 나타나고 있다 [1]. 기존의 주파수 사용정책은 각 나라별 주파수 정책에 따라서 법적으로 분배되어 주파수를 할당 받은 면허 사용자가 해당주파수 사용에 관한 독점권을 가지고 있다. 즉, 면허 사용자에게 할당된 주파수는 현재 사용 중이지 않더라고 다른 사용자 (주파수를 할당 받지 못한 비면허 사용자)는 해당 주파수를 사용 할 수 없다. 그러나 연방 통신 위원회 (FCC: Federal Communications Commission)의 조사결과에 따르면 할당된 주파수 자원은 특정 시간 및 특정 주파수대역에만 집중되어 효율적인 주파수 사용이 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 주파수의 비효율적 사용을 완화시키기 위해 주파수 자원의 효율적 사용에 대한 관심이 높아지고 있다 [2-3].

무선 인지 시스템 (Cognitive Radio System)은 J.

*광운대학교 전파공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 (sub3344@gmail.com, yoonhyun@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)
※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (No. 2010-0022629)
접수일자 : 2011년 5월 4일, 수정완료일자 : 2011년 5월 24일, 최종게재확정일자 : 2011년 6월 7일

Mitola에 의하여 제시된 주파수 공유기술로 면허 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수를 비 면허 사용자가 임시적으로 사용하도록 하는 시스템으로서 주변의 상황을 탐색하고 변화된 상황에 시스템을 적절하게 적용하도록 하는 지능적인 차세대 무선 통신 시스템이다 [4].

주로 주파수 정책에 따라 주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자는 소 출력 무선통신 기기 및 임시적으로 주파수를 할당 받아 사용하는 기기들로서 이들이 주로 무선 인지 시스템의 서비스를 가장 많이 받을 것으로 예상된다. 그러나 비 면허 사용 기기들이 개별적으로 주변 상황을 인지하고 유휴주파수를 탐색하는 것은 오검출 확률이 높아지게 되고 신뢰성측면에서 그 성능이 낮아지게 된다. 그러므로 본 논문에서는 소출력 비 면허 무선통신 기기에 Ad-hoc 네트워크를 적용하여 비 면허 기기 간에 스펙트럼 검출 정보를 상호간에 교환 및 공유 함으로서 스펙트럼 검출의 성능이 향상됨을 기대한다.

Ad-hoc 네트워크는 기존의 구축되는 통신 인프라와 무관하게 이동 노드들 간에 자율적으로 네트워크를 구성하여 네트워크에 자율성과 융통성을 부여한 네트워크이다. 이러한 Ad-hoc 네트워크는 음영지역, 재난지역 및 전쟁과 같은 통신 인프라 구축이 어려울 때 매우 유용하게 사용 될 수 있다. 또한 무선 인지 시스템에서의 기존의 통신 인프라가 존재하지 않는 비 면허 무선기기들 간의 임시적이며 즉흥적인 통신환경 구축에도 유용하다 [5-6].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 Ⅱ장에서는 본 논문에서 제안한 Ad-hoc 무선인지 시스템의 시스템 모델에 대해 설명한다. 제 Ⅲ장에서는 Ad-hoc 무선인지 시스템에서의 스펙트럼 센싱 기법에 대하여 설명하고, 제 Ⅳ장은 본 논문에서 Ad-hoc 무선인지 시스템에서의 스펙트럼 센싱 성능에 대한 모의실험 결과를 제시하였다. 마지막으로 본 논문의 결론을 제 Ⅴ장에서 언급하였다.

Ⅱ. 시스템 모델

본 논문에서는 면허 사용자의 신호 특성을 알 수 없다는 가정 하에 스펙트럼 센싱 기법으로 에너지 검출 기법을 적용하여 성능을 분석한다. 이번 장에서는 협력 스펙트럼 센싱의 시스템 모델에 대해 설명 한다. 협력 스펙트럼 센싱은 다음과 같은 부 사용자에게 수신된 신호는 신호가 존재하지 않을 경우와 존재할 경우의 두 가지로 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_0 : y[k] = v[k] \tag{1}$$

$$H_1 : y[k] = hs[k] + v[k] \tag{2}$$

식 (2)에서 h는 무선 채널을 나타내고, $s[k]$는 면허 사용자의 신호를 나타내며, $v[k]$는 독립적인 부가적인 백색 가우시안 잡음 (AWGN: Additive White Gaussian Noise)으로 평균은 0이고 분산은 σ^2이다. 그리고 H_0 는 면허 사용자가 존재하지 않는 경우이고, H_1은 면허 사용자가 주파수를 사용 중이거나 부사용자의 근접해 있는 경우를 나타낸다.

이번 장에서는 기존의 협력 센싱 시스템과 본 논문에서 제안하는 Ad-hoc 무선인지 시스템의 시스템 모델을 설명한다.

1. 기존의 협력 센싱

협력 스펙트럼 센싱은 그림 1에서와 같이 면허 사용자 (Licensed user)와 M 명의 비 면허 사용자 (CR1, CR2, CR3)와 이들의 검출 결과를 융합하는 융합센터 (Fusion center)로 이루어져있다. 협력 스펙트럼 센싱은 각 비면허 사용자가 수신한 신호의 에너지 값을 통해 면허 사용자의 존재를 판단한다. 이때 i 번째 비 면허 사용자의 에너지 $E_i[k]$는 다음과 같다.

$$E_{C_i}[k] = \left| y_{C_i}[k] \right|^2 \tag{3}$$

만약 면허 사용자가 존재한다면 식 (3)과 같이 계산된 에너지 값이 임계값 γ_i와 비교되고, 이렇게 비교되어 나오는 결과가 각 비면허 사용자의 개별 센싱 결과는 다음과 같이 계산된다.

$$D_{C_i} = H(E_{C_i}[k] - \gamma_{C_i}) \tag{4}$$

식 (4)에서 $H(\bullet)$함수는 Heaviside Step Function이다. 즉, $E_{C_i}[k]$가 임계값 γ_{C_i}보다 크거나 같으면 $D_{C_i}[k] = 1$이고, $E_{C_i}[k]$가 임계값 γ_{C_i}보다 작으면 $D_{C_i}[k] = 0$이다.

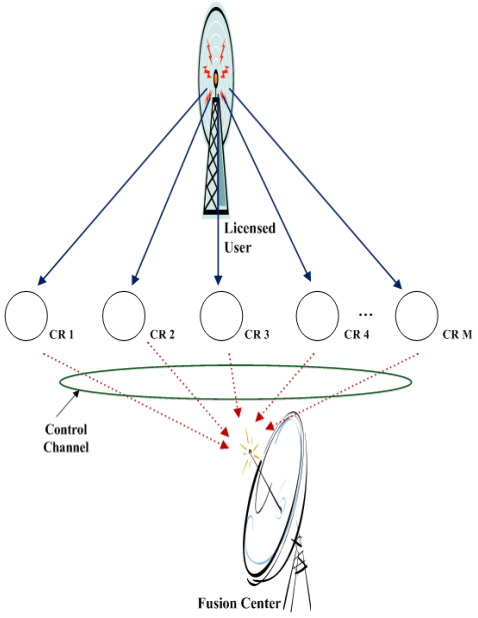

그림 1. 협력 스펙트럼 센싱의 시스템 모델

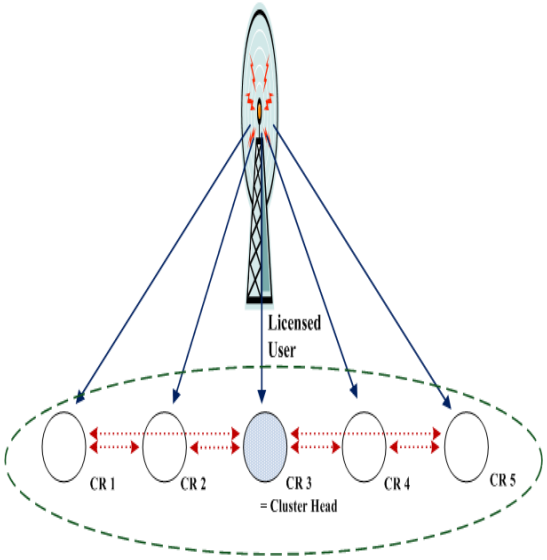

그림 2. Ad-hoc 무선인지 시스템의 시스템 모델

이렇게 계산된 개별 센싱 결과는 융합 센터로 전송되어 결합되고 결합된 결과는 다시 임계값 γ과 비교되어 최종적으로 면허 사용자의 유, 무를 판정하게 된다. 융합센터에서 계산된 최종 판정 결과는 다음의 식 (5)와 같다.

$$D_C[k] = H\left(\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} D_{C_i} - \gamma_{C_i}\right) \qquad (5)$$

융합센터에서는 최종 판정 결과값 $D_C[k]=1$이면 면허 사용자가 존재한다고 판단, 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.

2. Ad-hoc 협력 센싱

Ad-hoc 무선인지 시스템은 비 면허 사용자가 개별적으로 스펙트럼을 센싱한 결과를 상호간에 정보를 공유할 수 있는 클러스터 (Clusster) 구조의 네트워크라고 가정한다. Ad-hoc 무선인지 시스템은 그림 2와 같이 클러스터는 M개의 비면허 사용자 (CR1, CR2, CR3)로 구성되어 있으며 이들은 각각 면허 사용자의 신호를 수신하여 채널 상태를 판단하고, 클러스터를 구성하는 비면허 사용자중 한 사용자가 클러스터 헤더 (Cluster Header) 마스터 (Master)의 역할을 맡아서 각 비면허 사용자로부터 개별 센싱한 결과를 전달받아서 최종적으로 해당 스펙트럼에서 면허 사용자의 채널 사용을 판단한다.

i번째 비면허 사용자의 수신 신호 에너지는 다음과 같다.

$$E_{AD}[k] = |Y_{AD}[k]|^2 \qquad (6)$$

각 안테나의 에너지 신호는 미리 정해진 임계값 γ_{AD}과 비교되고 면허 사용자가 스펙트럼 상에 존재하는지 여부를 결정한다. 각 부 사용자의 개별 센싱 결과는 다음과 같다.

$$D_{AD}[k] = H(E_{AD}[k] - \gamma_{AD}) \qquad (7)$$

이렇게 결정된 개별 센싱 결과 $D_{AD}[k]=1$는 마스터가 각각 취합하여 최종적으로 면허 사용자의 스펙트럼 점유여부를 판단한다.

Ⅲ. Ad-hoc 무선인지 시스템의 스펙트럼 센싱

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 비면허 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 존재여부를 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 γ은 $\gamma = M/2$로 설정한다. 즉, 개별 검출결과의 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. 모의 실험 및 결과

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 Ad-hoc 무선인지

시스템의 성능을 모의실험 결과를 통하여 알아본다. 본 논문에서의 실험은 표 1의 파라미터를 따른다.

표 1. 모의 실험 파라미터

Parameters	Value
Channel model	Rayleigh
Noise model	AWGN
Decision rule	Majority decision
Modulation scheme	BPSK
Combining method	EGC

기존에 제안된 무선인지 시스템에서 비 면허 사용자간의 스펙트럼 센싱 결과를 공유하며 면허 사용자의 검출 확률을 높이기 위한 협력 스펙트럼 센싱을 본 논문에서 제안한 시스템과 성능을 비교하도록 한다. 본 논문에서 제안된 Ad-hoc 무선인지 시스템의 경우 소출력 기기와 즉흥적 및 임시적인 네트워크에서 더욱 효과적인데 기존에 협력 스펙트럼 센싱에 비하여 에너지 효율 및 기존의 구축된 인프라가 없어도 비 면허 사용자간에 일시적인 클러스터 구조의 라우팅을 통하여 상호간에 정보를 공유한다.

1. 협력 센싱과 ad-hoc 무선인지 시스템에서의 스펙트럼 센싱의 성능 비교

그림 3의 결과는 신호 대 잡음비 (SNR : Signal to Noise Ratio)에 따른 Ad-hoc 무선인지 시스템과 기존의 협력 스펙트럼 센싱 시스템에서의 스펙트럼 센셍 성능을 비교하였다. 채널 환경은 Rayleigh 채널로 모델링 하였다. 그림 3에서 보이듯이, 빨간 그래프는 기존 협력센싱의 검출 확률을 나타내고, 파란색 그래프는 본 논문에서 제안한 융합센터를 이용한 ad-hoc 기반 센싱 알고리즘의 검출 확률이다. 페이딩이 심한 Rayleigh 채널의 특성 때문에, 기존 협력 센싱의 검출확률이 매우 낮음을 알 수 있으며, 본 논문에서 제안한 기법이 기존 협력센싱 알고리즘에 비해 뛰어난 검출 확률을 보임을 알 수 있다.

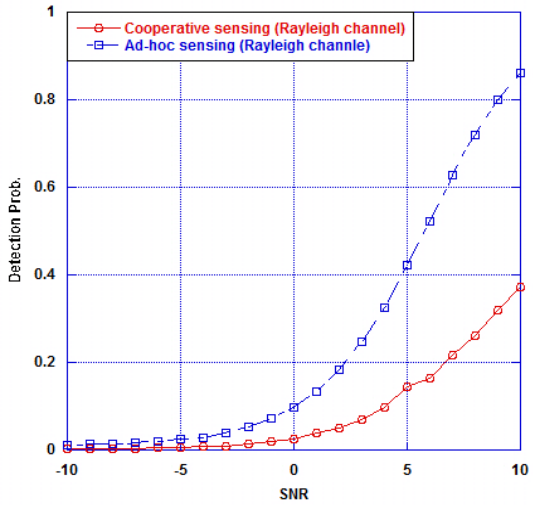

그림 3. Rayleigh channel에서의 검출 성능 비교

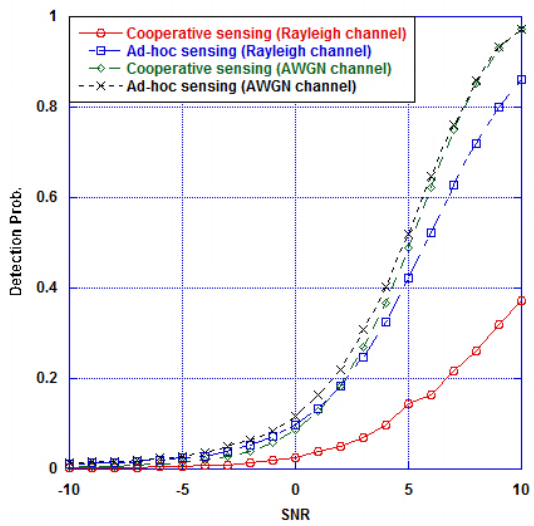

그림 4. AWGN과 Rayleigh channel에서의 검출 성능 비교

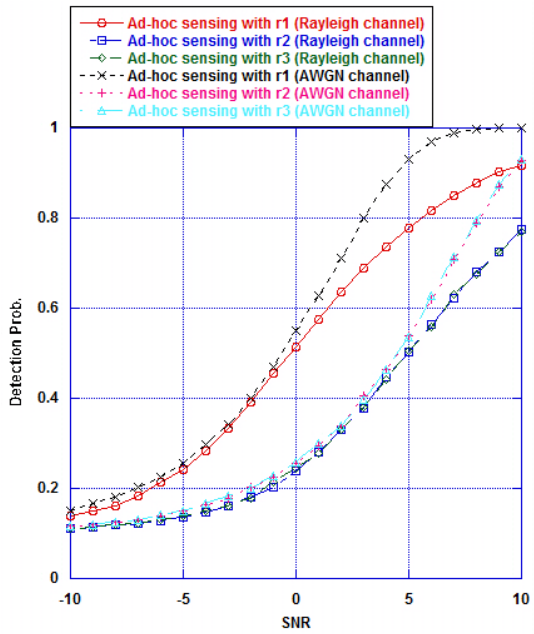

그림 5. AWGN과 Rayleigh channel에서의 거리에 따른 ad-hoc 기반 센싱 알고리즘의 검출 성능 비교

그림 4는 기존 협력센싱 기법과 ad-hoc 기반 센싱 기법의 검출 성능을 AWGN과 Rayleigh 채널 환경에서 각각 비교한 그래프이다. 그림4에서 보면, Rayleigh 채널에서의 본 논문에서 제안한 ad-hoc 기반 센싱 알고리즘의 성능이 AWGN에서의 검출 성능과 크게 차이가 나지 않는 것을 볼 수 있으며, 이는 페이딩이 심한 채널 환경에서도 높은 검출 확률을 보이는 것을 보여주는 실험 결과라 할 수 있다.

2. 거리에 따른 ad-hoc 기반 센싱 성능

Ad-hoc 무선인지 시스템의 스펙트럼 센싱 성능을 평가하기 위해 비면허 사용자 각각의 단일 센싱 결과와 성능을 비교하였다. 각 비면허 사용자와 면허사용자의 거리는 거리가 모두 다르며, 각 채널 또한 독립적이라고 가정

한다. 면허사용자와 비면허 사용자사이의 거리는 세가지경우로 가정하여 각각의 거리를 r_1, r_2, r_3로 가정하였고 이들 사이의 관계는 $r_1 > r_2 > r_3$로 가정하여 모의 실험을 진행하였다. 그림 5는 거리에 따른 단일 센싱 결과를 AWGN 채널과 Rayleigh 채널 모델에서 각각 비교한 실험 결과이다. 그림 5의 단일 센싱결과는 면허 사용자와 비면허 사용자 사이의 거리가 가까울 때 가장 높게 나타난다. 즉, 거리가 멀수록 단일 센싱의 결과는 성능이 저하됨을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 주파수 부족 및 소출력 무선통신 기기의 통신 인프라 구축 없이 스펙트럼을 사용하게 하기 위한 Ad-hoc 무선인지 시스템을 제안하였다. 모의 실험 결과를 통하여 기존에 비면허 사용자간에 스펙트럼 센싱정보를 공유하던 협력 센싱과의 성능 비교에서도 Ad-hoc 무선인지 시스템에 클러스터 라우팅을 적용한 스펙트럼 센싱이 성능면에서 높게 나왔음을 알 수 있었다. 본 논문에서는 AWGN 채널 뿐만 아니라 페이딩이 심한 Rayleigh 채널에서, 기존 협력센싱 기법과 ad-hoc 기반의 센싱 알고리즘의 성능을 비교하였다. 실험결과에 따르면, 본 논문에서 제안한 알고리즘이 Rayleigh 채널에서도 좋은 검출 성능을 보임을 알 수 있었다. 또한 면허사용자와의 거리에 따른 스펙트럼 센싱 성능의 모의 실험 결과는 향후 Ad-hoc 무선인지 시스템에서 클러스터 헤드의 선정 및 노드간의 적절한 라우팅을 하는 것이 스펙트럼 센싱의 성능을 높이기 위해 연구 되어야 할 부분임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] J. Y. Kim, Cognitive Radio Systems, Gyobo Publishers, Seoul, Korea, 2008.

[3] FCC, “Spectrum Policy Task Force,” Rep. ET Docket no. 02-135, Nov. 2002.

[3] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. Vuran, and S. Mohant, “Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey,” Computer Networks, vol. 50, no. 13, pp. 2127-2159, May. 2006.

[4] J. Mitola III and G. Q. Maguire Jr., “Cognitive radio: making software radios more personal,” IEEE Personal Commun., vol. 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.

[5] Charles E. Perkins, Ad Hoc Networking, Addison-Wesley, 2001.

[6] C.K. Toh, Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocolsand Systems, Prentice Hall PTR, 2002.

저 자

이 경 선(Kyung Sun Lee)

2011년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업

2011년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> 디지털 통신, 협력통신, Cognitive Radio

김 윤 현(Yoon Hyun Kim)

2006년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업

2008년 2월 : 광운대학교 전파공학과 석사 졸업

2008년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

<관심분야> 디지털 통신, 협력통신, 가시광 통신, Cognitive Radio

김 진 영(Jin Young Kim) 정회원

1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사

2000년 : 미국 Princeton University Associate

2001년 : SK 텔레콤 네트웍 연구소 책임연구원

2009년~2010년 2월 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist

2001년~현재 : 광운대학교 전파공학과 교수

<관심분야> 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화