

인지 무선 기반 애드혹 네트워크에서 다중 안테나 기법을 적용한 에너지 검출 기법의 성능

이경선* 정희원, 김운현*, 이명노**, 이종명**, 김진영* 종신회원

Performance of Energy Detection Scheme with Multiple Antenna for Cognitive Radio Based Ad-hoc Networks

Kyung Sun Lee* *RegularMembers*, Yoon Hyun Kim*, Myung Noh Lee**, Jong Myung Rhee**,
Jin Young Kim*** *Lifelong Member*

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 사용될 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 인지 무선 시스템을 ad-hoc네트워크에 적용하여 보다 다양하고 확장된 네트워크 서비스를 제공할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크에서 주로 사용되는 에너지 검출 기법의 성능 향상을 위해, 다중 안테나를 이용한 인지 무선 기반 ad-hoc 네트워크 시스템을 제안하여 신호 검출 성능을 보였다.

Key Words : Cognitive radio, ad-hoc network, energy detection, multiple antenna system, detection probability

ABSTRACT

Wireless devices can communicate between each other without existing infrastructure in mobile Ad-hoc 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, to improve detection performance of the energy detection which is widely used in CR based ad-hoc network, we propose multiple antenna system for CR based ad-hoc networks.

I. 서론

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 사용자

가 해당주파수 사용에 관한 독점권을 가지고 있다. 즉, 면허 사용자에게 할당된 주파수는 현재 사용 중이지 않더라도 다른 사용자 (주파수를 할당 받지 못한 비 면허 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 주파수 대역에만 집중되어 효율적인 주파수 사용이 이루어지지 않

*광운대학교 전자공학과 (kyung2082@hanmail.net), (ultrayh1873@kw.ac.kr), (jinyoung@kw.ac.kr), ** 명지대학교 정보통신공학과 jmr77@mju.ac.kr

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (No. 2011-0025983)

접수일자 : 2011년 9월 5일, 수정완료일자 : 2011년 11월 11일, 최종게재확정일자 : 2011년 12월 2일

고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 주파수의 비효율적 사용을 완화시키기 위해 주파수 자원의 효율적 사용에 대한 관심이 높아지고 있다 [2-3]. 이러한 주파수 사용의 활용을 높이고자, 인지 무선 시스템 (Cognitive Radio System)은 J. 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].

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 인지 무선 시스템에서의 기존의 통신 인프라가 존재하지 않는 비 면허 무선기기들 간의 임시적이며 즉흥적인 통신환경 구축에도 유용하다 [5-6]. 주로 주파수 정책에 따라 주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자는 소 출력 무선통신 기기 및 임시적으로 주파수를 할당 받아 사용하는 기기들로서 이들이 주로 인지 무선 시스템의 서비스를 가장 많이 받을 것으로 예상된다. 하지만, 이러한 소 출력 무선통신 기기들로 ad-hoc 네트워크를 구성한다고 했을 때, 비 면허 사용 기기들이 개별적으로 주변 상황을 인지하고 유휴 주파수를 탐색하는 것은 오 검출 확률이 높아지게 되고 신뢰성측면에서 그 성능이 낮아지게 된다.

따라서, 본 논문에서는 소 출력 비 면허 무선통신 기기에 Ad-hoc 네트워크를 적용하였을 때, 기존 에너지 검출 기법의 성능을 향상시키기 위하여 다중 안테나 기법을 적용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 본 논문에서 제안한 인지무선 기반 다중 안테나 ad-hoc 네트워크의 시스템 모델에 대해 설명한다. 제 III장에서는 본 논문에서 제안한 기법에 대한 모의실험 결과를 보여주고, 마지막으로 본 논문의 결론을 제 IV장에서 언급하였다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 면허 사용자의 신호 특성을 알 수 없다는 가정 하에 스펙트럼 센싱 기법으로 에너지 검출 기법을 적용하여 성능을 분석하였다. 다중 안테나 기법을 적용한 에너지 신호 검출 기법은 다음과 같은 부 사용자에게 수신된 신호는 신호가 존재하지 않을 경우와 존재할 경우의 두 가지로 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_0 : \bar{Y}[k] = \bar{V}[k] \quad (1)$$

$$H_1 : \bar{Y}[k] = \bar{H}\bar{S}[k] + \bar{V}[k] \quad (2)$$

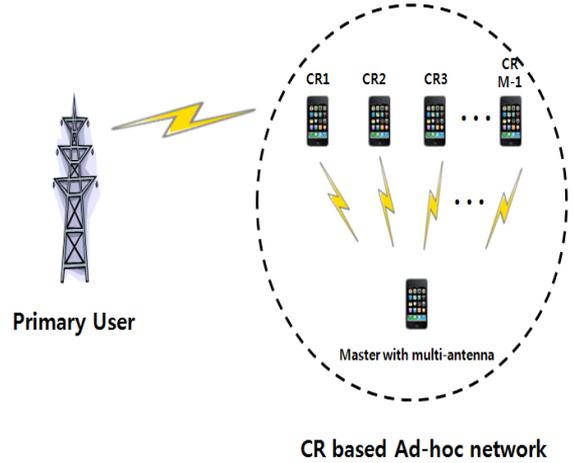


그림 1. 시스템 모델

식 (2)에서 \bar{H} 는 다중 안테나에 의한 무선 채널을 나타내고, 소 출력 비 면허 무선통신 기기가 n개의 다중 안테나를 가지고 있다고 한다면, 다음과 같이 표현 가능하다.

$$\bar{H} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

$\bar{S}[k]$ 는 면허 사용자의 신호를 나타내며, $\bar{V}[k]$ 는 독립적인 부가적인 백색 가우시안 잡음 (AWGN: Additive White Gaussian Noise)으로 평균은 0이고 분산은 σ^2 이다. 그리고 H_0 는 면허 사용자가 존재하지 않는 경우이고, H_1 은 면허 사용자가 주파수를 사용 중이거나 부사용자의 근접해 있는 경우를 나타낸다.

본 논문에서 제안한 다중 안테나 기반 ad-hoc 인지 무선 시스템은 비 면허 사용자가 개별적으로 스펙트럼을 센싱한 결과를 상호간에 정보를 공유할 수 있는 클러스터 (Cluster) 구조의 네트워크라고 가정하였다. Ad-hoc 인지 무선 시스템은 그림 1과 같이 클러스터는 M개의 비 면허 사용자 (CR1, CR2, CR3)로 구성되어 있으며 이들은 각각 면허 사용자의 신호를 수신하여 채널 상태를 판단하고, 클러스터를 구성하는 비 면허 사용자중 한 사용자가 클러스터 헤더 (Cluster Header) 마스터 (Master)의 역할을 맡아서 각 비 면허 사용자로부터 개별 센싱한 결과를 전달받아서 최종적으로 해당 스펙트럼에서 면허 사용자의 채널 사용을 판단한다. 본 논문에서는 클러스터 헤더의 역할을 하는 마스터는 다중의 안테나를 가지고 있다고 가정한다.

i번째 비 면허 사용자의 수신 신호 에너지는 다음과 같다.

$$E_{AD}[k] = |\bar{Y}_{AD}[k]|^2 \quad (4)$$

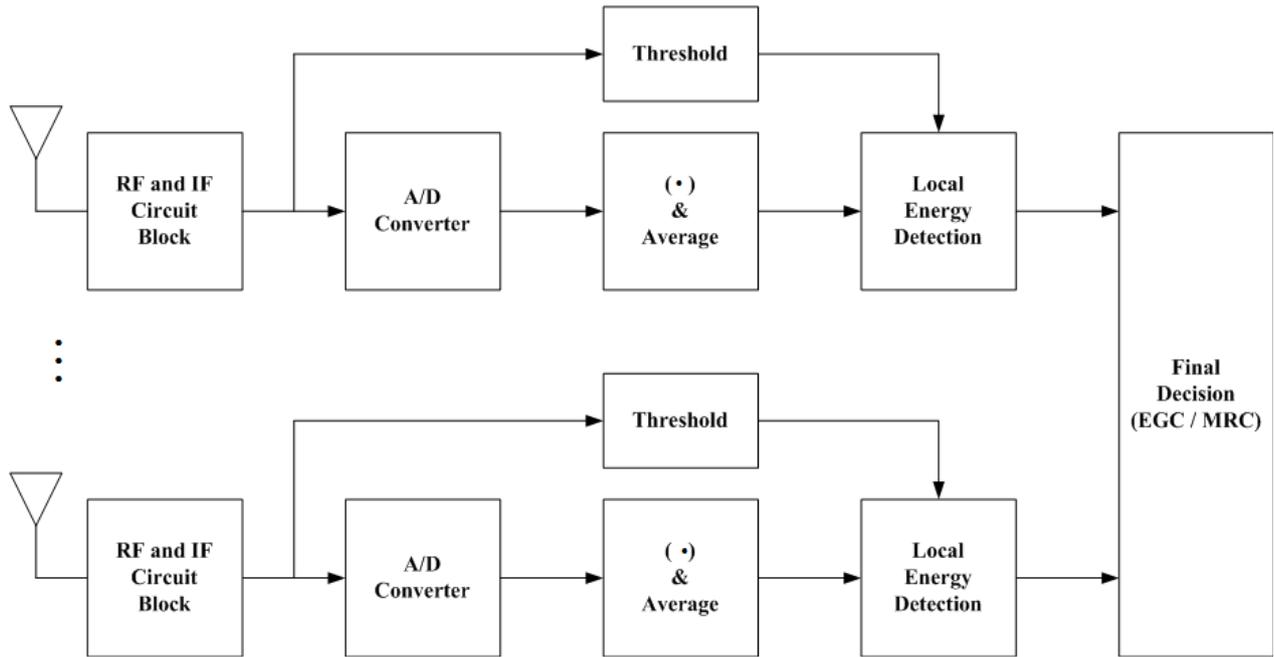


그림 2. 제안한 시스템의 블록 다이어그램

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.

$$D_{AD}[k] = H(E_{AD}[k] - \gamma_{AD}) \quad (5)$$

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

이번 장에서는 Ad-hoc네트워크 기반의 인지 무선 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 비 면허 사용자가 개별적으로 스펙

트럼 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 AND 방식 및 OR방식에 비하여 합리적이며 신뢰성 있는 판정 방식이다.

III. 모의 실험 및 결과

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 Ad-hoc 인지 무선 시스템의 성능을 모의실험 결과를 통하여 알아본다. 본 논문에서의 실험은 표 1의 파라미터를 따른다.

표 1. 모의 실험 파라미터

Parameters	Value
Channel model	Multipath / AWGN
Number of antenna	2 / 4
FA probability	5%
Modulation scheme	BPSK
Combining method	EGC / MRC

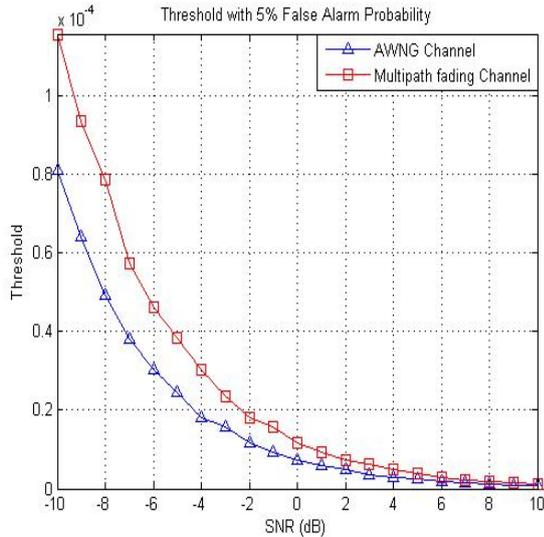


그림 3. 채널에 따른 FA 확률 그래프

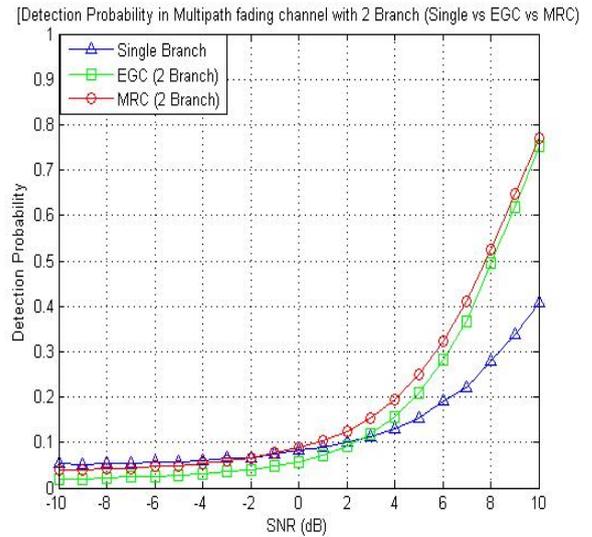


그림 5. 2개의 안테나를 갖는 시스템의 신호 검출 성능 (Multipath channel)

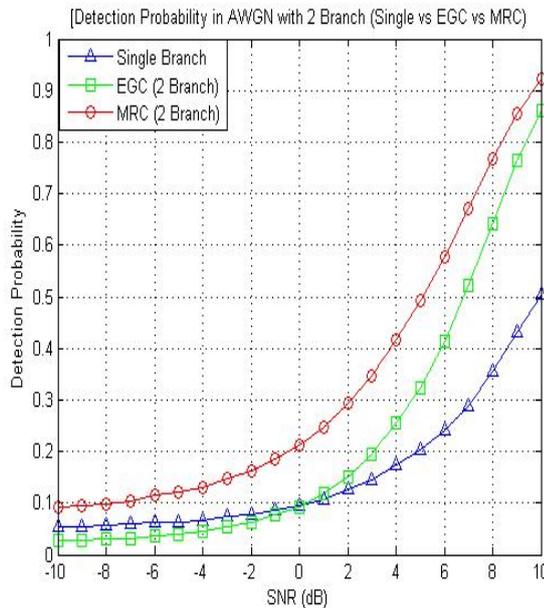


그림 4. 2개의 안테나를 갖는 시스템의 신호 검출 성능 (AWGN channel)

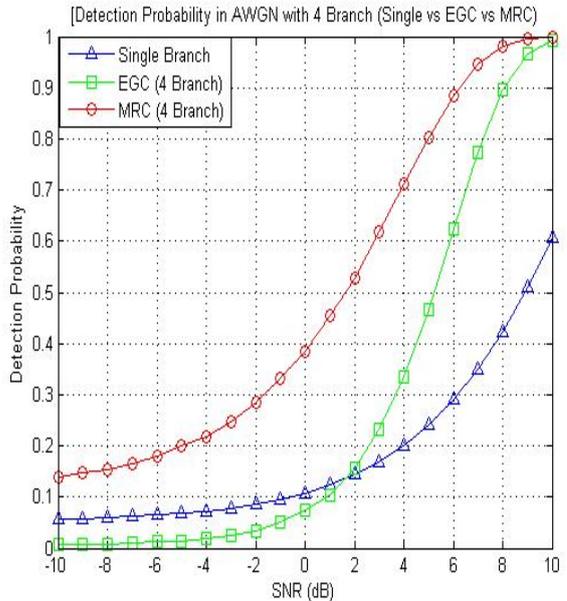


그림 6. 4개의 안테나를 갖는 시스템의 신호 검출 성능 (AWGN channel)

그림 3은 multipath channel 과 AWGN 채널일경우의 각각에 대한 FA 확률을 보여준다. 그림 2의 블록다이어그램에서 local energy sensing 블록은 그림 3의 threshold를 바탕으로 주 사용자의 신호를 검출하는 기준으로 삼는다. 그림 3에서 보이듯이, AWGN에 비해 채널상태가 좋지 않은 multipath channel의 FA 확률이 높은 것을 알 수 있다. 이는 같은 조건, 즉 같은 SNR에서는 multipath channel이 AWGN channel에 비해 신호 검출 성능이 낮음을 알 수 있게 한다.

그림 4는 2개의 안테나를 갖는 제안된 시스템의 AWGN channel에서의 신호검출 성능을 보여준다. 그림 4에서 세모 표시는 단일 안테나를 갖는 시스템의 신호 검출 성능이며, 네모와 동그라미 표시는 각각 EGC와 MRC를 final decision 방법으로 사용하였을 경우의 신호 검출 성능이다.

그림 5는 multipath channel에서 2개의 안테나를 갖는 시스템에서의 신호 검출 성능을 보여준다. 그림 4와 같이 신호 검출 성능은 MRC, EGC, 단일 안테나 순서로 나타나지만, AWGN channel에 비해 신호 검출 성능이 낮아짐을 알 수 있다.

그림 6과 그림 7은 각각 AWGN 과 multipath channel 에서 4개의 안테나를 갖는 시스템의 신호 검출 성능을 보여준다. 4개의 안테나를 갖는 시스템의 신호 검출 성능 또한 MRC, EGC, 단일 안테나 순서로 나타나며, 그림 4, 5와 비교하였을 때 2개의 안테나를 갖는 시스템보다 4개의 안테나를 갖는 시스템의 신호 검출 성능이 우수함을 보였다.

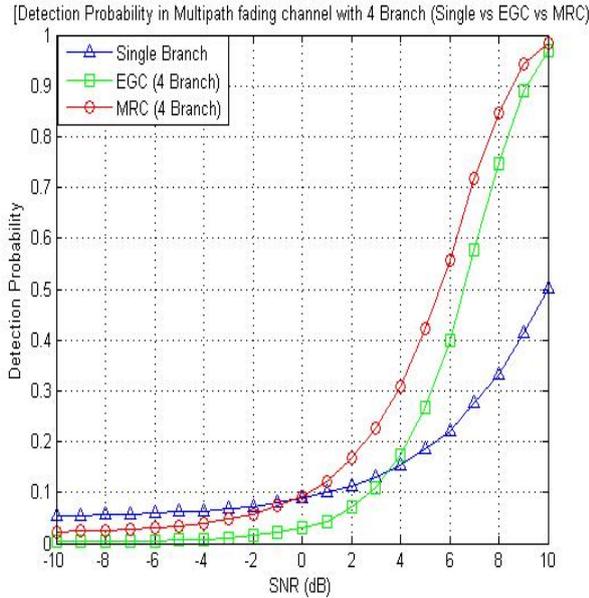


그림 7. 4개의 안테나를 갖는 시스템의 신호 검출 성능 (Multipath channel)

V. 결 론

기존 에너지 검출 기법은 단순히 수신 신호의 에너지만을 가지고 신호 검출을 수행하는 방법으로 다른 기법에 비해 신호 검출 성능이 낮다. 하지만 구조상의 단순함을 이점으로 인지무선 기반 ad-hoc 네트워크에서 많이 사용된다. 본 논문에서는 주파수 부족 및 소출력 무선통신 기기의 통신 인프라 구축 없이 스펙트럼을 사용하게 하기 위한 다중 안테나를 갖는 인지무선 기반 ad-hoc 네트워크에서 신호 검출 성능을 향상시키기 위한 방법을 제안하였다. 모의 실험 결과를 통하여 기존 에너지 검출 기법에 비해 본 논문에서 제안한 기법의 신호 검출 성능이 뛰어난 것을 보였다. 향후 인지무선 기반 ad-hoc 시스템에서 클러스터 헤드의 선정 및 노드간의 적절한 라우팅을 하는 것이 스펙트럼 센싱의 성능을 높이기 위해 연구 되어야 할 부분이다.

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: Protocols and Systems, Prentice Hall PTR, 2002.

저 자

이 경 선(Kyung Sun Lee) 정회원



2011년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
 2011년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> 디지털 통신, 협력통신, Cognitive Radio

김 윤 현(Yoon Hyun Kim)



2006년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
 2008년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사 졸업
 2008년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 박사과정

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

이 명 노(Myung-noh Lee)



1980년 2월 : 육군사관학교 전자공학과 졸업
 1998년 2월 : 한양대학교 정보통신과 석사
 2009년 3월~현재 : 명지대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> NCW, 군통신, 통신 네트워크

이 종 명(Jong-myung Rhee)



1976년 2월 : 서울대학교 전자 공학과 졸업
 1978년 2월 : 서울대학교 전자공학과 석사
 1987년 12월 : 미 North Carolina State University 공학 박사

2006년 9월~현재 : 명지대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> 군통신, 통신 네트워크, 고장복구, 그린 IT

김 진 영(Jin Young Kim)

중신회원



1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과
공학박사

2000년 : 미국 Princeton University
Associate

2001년 : SK 텔레콤 네트워크 연구소
책임연구원

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

2001년~현재 : 광운대학교 전파공학과 교수

<관심분야> 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화