

논문 2011-3-9

# 인지통신에서 다수의 중계기를 이용한 증분형 중계 기법의 성능 분석

## Performance Analysis of Incremental relaying Method using Multiple Relays in the Cognitive Radio

최문근\*, 공형윤\*\*

Moon-Geun Choi, Hyung-Yun Kong

**요 약** 네트워크에 속한 중계기들을 이용하여 다이버시티 이득을 얻는 협력 중계기법은 송신단으로부터 전송된 신호와 중계기로부터 전송된 신호를 수신하는 수신단에서는 신호를 수신하는 방법에 따라 고정형 중계기법과 증분형 중계기법으로 나뉜다. 네트워크에 속한 노드들 중 송신단과 수신단이 PU(Primary User)이고, 나머지 노드가 SU(Secondary User)일 경우 송신단이 신호를 전송하지 않는 동안 네트워크에 속한 노드들은 중계기로서 PU인 송신단과 수신단 간의 통신을 도울 수 있다. 그러나 모든 2차 사용자가 중계기로서 통신에 참여하게 되면 수신단에서 수신하는 신호가 증가하여 높은 차수의 다이버시티 이득을 얻을 수 있지만 불필요한 시간슬롯을 소비하게 된다. 따라서 본 논문에서는 네트워크에 속한 SU 중 스펙트럼 홀의 검출에 성공한 노드 중 최상의 채널을 가지는 하나의 SU를 선택하여 선택된 SU만이 수신단으로 신호를 전송하는 협력 중계기법의 성능을 분석한다. 시스템의 성능 분석은 Matlab를 이용하였으며 다양한 중계기법의 성능 분석을 위해 AF, DF, 고정형 중계기법, 증분형 중계기법을 고려하였다.

**Abstract** Cooperative Communication using relays which include network separated into fixed cooperative relaying and incremental cooperative relaying depending on method receiving signal from a source. If some nodes included network is Primary user and source and destination, another is Secondary user as relay, The nodes included network excepting source can help PU transmit signal. In the case of all of SU playing a role as relay, destination can get diversity gain, but useless time slot is consumed for transmitting signal. So in this paper, we analysis cooperative relaying which a node succeeding to sense primary signal send signal to destination. We use matlab simulation tool and consider AF, DF, fixed relaying, incremental relaying

**Key Words :** Cognitive Radio, Cooperative Communication, Fixed Relaying, Incremental Relaying.

### 1. 서 론

최근 들어 무선 통신 기기의 수요가 증가함에 따라 무선 통신을 위한 주파수 대역의 수요 역시 증가하고 있다.

그러나 실제 무선 통신을 위한 주파수 대역은 한정되어 있으므로 특정 주파수 대역을 허가된 사용자에게만 할당하는 기존의 주파수 분배 정책으로는 증가하는 주파수 대역의 수요를 맞추기 어렵다.

그림 1<sup>[1]</sup>은 0~2Ghz까지의 주파수 대역들 중 허가된 사용자에게 할당된 주파수 대역과 특정 주파수 대역의 사용률을 나타낸다. 일부 TV 채널을 제외한 나머지 주파수

\*준회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

\*\*정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부(교신저자)

접수일자 2011.4.4, 수정일자 2011.5.17

계재확정일자 2011.6.10

가 특정 사용자에게 할당되어 비어있는 주파수 대역이 거의 없는 것을 알 수 있다. 그러나 주파수 사용률은 거의 대부분이 25%를 넘지 못하며 5%미만의 사용율을 보이는 대역도 많이 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 주파수를 할당 받지 못한 사용자에게 비어있는 주파수를 개방하여 대역을 할당받지 못한 사용자들 간 통신을 가능하게 하는 인지통신(Cognitive Radio)<sup>[2]</sup>이란 기술이 제안되었다.

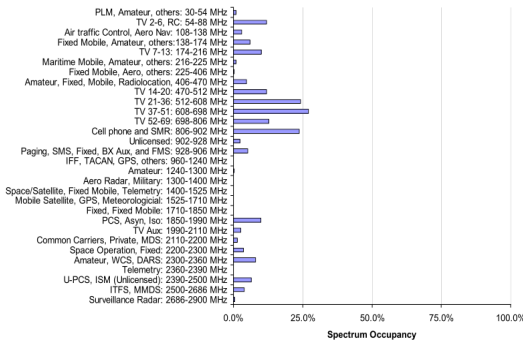


그림 1. 스펙트럼 사용현황  
Fig 1. Spectrum Usage

이와 같이 비어있는 주파수를 개방하여 주파수 사용율을 높이는 인지 통신에서 개방된 주파수를 사용하는 사용자(Secondary User : SU)는 해당 주파수를 이용하는 원 사용자(Primary User : PU)가 나타날 경우 즉시 신호의 전송을 중단하여야 한다. 이는 원 사용자의 신호와 충돌로 인해 원 사용자의 QoS(Quality of Service)가 저하되는 것을 막기 위함이다. 따라서 이러한 충돌을 막기 위해 인지통신에 참여하는 SU는 스펙트럼 검출 기법을 사용하여 PU의 존재 유무를 판단하게 된다.

협력통신<sup>[3]</sup>은 송신단과 수신단 사이에 존재하는 다수의 중계기를 이용해 통신을 함으로서 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 기술이다. 이러한 협력 통신은 짧은 커버리지를 보완할 수 있을 뿐만 아니라 단말기의 전력 소모를 분산시켜 단말기의 가용성을 높여준다. 그림 2는 하나의 단말기가 중계기로 참여한 협력 통신 시스템 모델이다. 첫 번째 시간슬롯에서 송신단(S)은 중계기(R)와 수신단(D)으로 신호를 전송하고 두 번째 시간슬롯에서 중계기는 송신단으로부터 수신한 신호를 증폭 후 전달(AF : Amplify and Forward)이나 복호 후 전달(DF : Decode and Forward)과 같은 프로토콜을 이용하여 수신단으로

신호를 전송하게 된다.

이와 같은 협력 중계기법 중 하나인 고정형 중계기법(Fixed Relaying)은 수신단에서 송신단과 모든 중계기로부터 신호를 수신하는 방식이다. 이에 반해 증분형 중계기법(Incremental Relaying)은 송신단으로부터 수신한 신호의 전력을 특정 임계값과 비교하여 수신한 신호의 전력이 큰 경우 중계기로부터 신호를 수신하지 않는다. 이러한 증분형 중계기법은 송신단으로부터 수신한 신호의 전력에 의해 다음 신호의 수신을 결정하므로 고정형 중계기법에 비해 소모되는 시간슬롯을 줄일 수 있다.

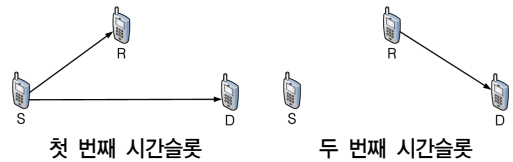


그림 2. 협력 통신 시스템 모델

Fig 2. Cooperative Communication system Model

중계기가 2차 사용자로서 송신단과 수신단간 신호의 전송을 도울 경우 중계기는 스펙트럼 홀을 먼저 검출하여야 한다. 따라서 중계기가 2차 사용자인 인지 통신 네트워크에서는 중계기의 검출 확률을 바탕으로 시스템의 성능을 분석하여야 한다. 또한 다수의 2차 사용자가 중계기로서 송신단과 수신단 간 통신에 참여하는 경우 수신단에서는 중계기의 수만큼 시간슬롯을 필요로 하므로 불필요한 시간슬롯의 소모를 막기 위해 최적의 중계기를 선택하여 선택된 하나의 중계기만이 통신에 참여하게 하여야 한다. 본 논문에서는 2차 사용자가 중계기로서 통신에 참여할 경우 최적의 중계기를 선택하고 불필요한 시간슬롯의 소모를 줄이기 위해 증분형 중계기법을 이용한 협력 인지 네트워크를 제안한다.

## II. 검출 확률을 고려한 협력 중계 기법

### 1. 최적의 중계기 선택 기법

그림 3은 본 논문에서 고려하는 시스템 모델로서 송신단(S) 및 수신단(D)은 1차 사용자이며 중계기(R)는 2차 사용자이다. 따라서 송신단으로부터 수신한 신호를 전송하기 위해 중계기는 스펙트럼 검출 과정을 거쳐야 한다.

**가. 검출 확률을 고려하지 않은 최적의 중계기 선택**

그림 3에 보이는 바와 같이 송신단과 수신단간 통신을 돕는 중계기는 두 개의 채널을 가진다. 이 두 개의 채널 중 하나는 송신단과 중계기 사이의 채널( $R_{ki}$ )이고 또 다른 하나의 채널은 중계기와 수신단간 채널( $R_{kj}$ )이다. 그러므로 하나의 중계기를 통해 전송할 수 있는 채널 용량은  $R_{ki}$  및  $R_{kj}$ 의 채널 용량을 따른다. 하나의 중계기를 통해 전송 가능한 채널용량은 식 (1)과 같으며  $h(\cdot)$ 는 채널의 용량을 나타낸다.

$$\min(h(R_{ki}), h(R_{kj})) \tag{1}$$

식 (1)을 통해 하나의 중계기가 전송 가능한 채널 용량을 알 수 있다. 따라서 다수의 중계기가 있는 경우 이들이 전송 가능한 채널용량을 알 수 있으면 이들 중계기 중 최적의 중계기를 식 (2)를 통해 찾을 수 있다.

$$\max(\min(h(R_{ki}), h(R_{kj}))) \tag{2}$$

식(2)를 통해 찾은 중계기는 네트워크 상에 속한 중계기들 중 가장 높은 채널 용량을 가진다. 따라서 선택된 중계기를 이용해 신호를 전송하는 경우 최소한의 시간들로부터 높은 이득을 얻을 수 있다.

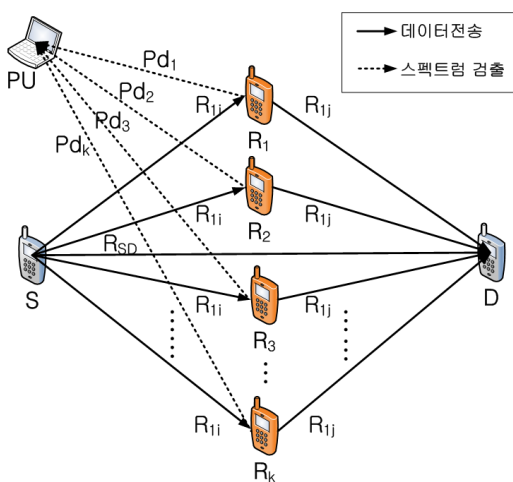


그림 3. 시스템 모델  
Fig 3. System Model

**나. 검출 확률을 고려한 최적의 중계기 선택**

네트워크에 속한 노드가 2차 사용자로서 중계기 역할을 하는 경우 시스템의 성능 분석을 위해서는 각각의 중계기가 전송 가능한 채널 용량과 함께 검출 확률을 고려하여야 한다.

만약 2차 사용자가 중계기 역할을 하는 것이 아닌 자신의 데이터를 다른 2차 사용자에게 전송하는 경우, 본 시스템의 채널용량은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{CRs} = P_d h(R_{SD}) \tag{3}$$

식(3)에서  $P_d$ 는 검출 확률  $R_{SD}$ 는 2차 송신단 및 2차 수신단 사이의 채널이다.

이에 반해 2차 사용자가 중계기 역할을 하는 경우 수신 확률을 구하기 위해서는, 2차 사용자가 1차 송신단으로부터 수신하는 채널 용량 역시 고려하여야 한다. 하나의 2차 사용자가 중계기 역할을 하는 경우 수신 확률은 식(4)과 같다.

$$P_{CRr} = P_d * \min(h(R_{ki}), h(R_{kj})) \tag{4}$$

따라서 검출 확률을 고려한 최적의 중계기( $R_s$ )의 채널 용량은 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_s = \max(P_{d_k} * \min(h(R_{ki}), h(R_{kj}))) \tag{5}$$

**2. 고정형 중계기법**

고정형 중계기법은 수신단에서 별도의 심사과정 없이 송신단과 중계기 모두로부터 신호를 수신하는 중계기법이다. 그러나 본 논문에서는 모든 중계기는 2차 사용자이므로 중계기가 스펙트럼 검출에 실패할 경우를 고려하여야 한다. 중계기가 비어있는 스펙트럼을 검출하지 못해 중계기가 송신단으로부터 수신한 신호를 수신단으로 송신하지 못하는 경우 수신단과 전송노드(송신단 및 중계기)간의 상호 정보(Mutual Information)는 식(6)과 같다.

$$I_D = \log_2(1 + \sum_{k=1}^K SNR_k |R_{SD}|^2) \tag{6}$$

이에 반해 검출 확률을 고려해 최적의 중계기로 선택

된 중계기( $R_S$ )가 송신단으로부터 수신한 신호를 수신단으로 송신할 경우 수신단과 전송노드간의 상호 정보는 식(7)과 같다.

$$I_F = \frac{1}{2} \log_2 (1 + SNR(|R_{SD}|^2 + |R_S|^2)) \quad (7)$$

따라서 인지통신에서 최적의 중계기를 이용한 고정형 중계기법의 오 수신확률은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{FR\_out} = \Pr(I_F < \gamma_{th})\Pr(n = k) \quad (8)$$

식 (8)에서  $\gamma_{th}$ 는 수신단에서 미리 결정된 임계값이며  $n$ 은 스펙트럼 검출에 성공한 중계기를 나타낸다.

### 3. 증분형 중계기법

증분형 중계기법은 협력 중계기법 중의 하나로서 수신단으로 송신되는 신호를 적절히 제어함으로써 불필요하게 소모되는 시간슬롯을 줄일 수 있는 기법이다.

증분형 중계기법의 첫 번째 시간슬롯에서 수신단은 송신단으로부터 수신한 신호의 상호정보를 바탕으로 중계기로부터 신호를 수신할지를 판단하게 된다. 만약 수신단이 송신단으로부터 수신한 신호의 상호 정보가 임계점 이상일 경우 수신단은 중계기로부터 신호를 수신하지 않고 다음 신호를 전송받게 된다. 그러나 송신단으로부터 수신한 신호가 임계점 이하일 경우 수신단은 중계기의 신호를 수신하고 송신단과 중계기로부터 수신한 신호를 합성하고 데이터를 복호해낸다.

네트워크 내의 송신단, 중계기, 수신단이 각각 하나이며 1차 사용자인 경우 증분형 중계기법의 오 수신 확률은 식(9)<sup>[4]</sup>와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{INC\_out} = \Pr(I_D < \gamma_{th})\Pr(I_{INC} < \gamma_{th}) \quad (9)$$

식 (9)에서  $I_{INC} = \max(I_D | I_D < \gamma_{th}, I_R)$ 이며  $I_R$ 은 중계기와 수신단 간 채널 용량이다.

중계기가 2차 사용자인 증분형 중계기법에서  $I_D < \gamma_{th}$  일 경우 수신단은 중계기로 신호의 전송을 요청한다. 그러나 중계기가 스펙트럼을 검출하지 못할 경

우 중계기가 신호를 전송하지 못하게 된다. 따라서 중계기의 검출 확률 및 최적의 중계기를 고려한 증분형 중계기법의 오 수신 확률은 식(10)과 같다.

$$P_{INC\_out} = \Pr(I_D < \gamma_{th})^* \Pr(R_{INC} < \gamma_{th} | n = k)\Pr(n = k) \quad (10)$$

식 (10)에서  $R_{INC} = I_D + R_S$ 이다.

### III. 성능 분석

본 논문에서 고려하는 시스템은 레일리 페이딩 채널을 고려하였으며 송신단이 모든 채널 정보를 알 수 있다고 가정한다. 또한 모든 노드들은 4QAM 변조 기법을 이용하여 신호를 전송하며 송신단 및 중계기가 전송하는 신호의 SNR은 동일하다.

그림 4는 중계기가 5개이며  $\gamma_{th}=2$ 일 때 검출 확률을 0.1~0.9까지 변화시켰을 경우 AF를 이용하는 고정형 중계기법 및 증분형 중계기법의 오 수신 확률을 나타내고 있다.

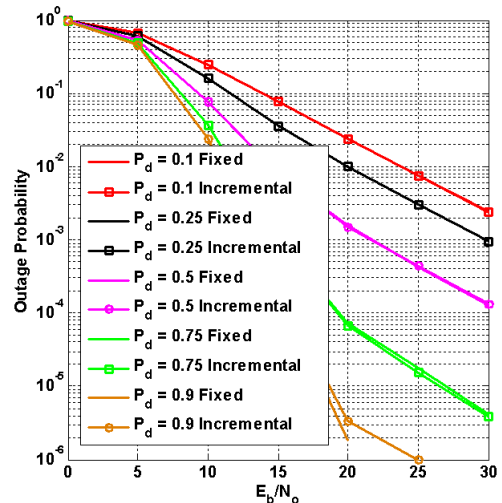


그림 4. 검출 확률에 따른 오 수신 확률  
Fig 4. Outage probability following detection probability

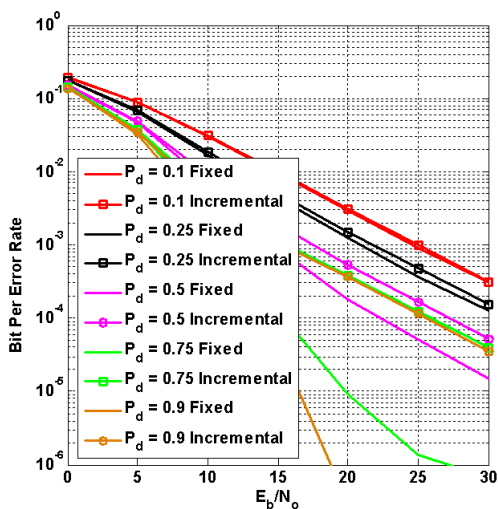


그림 5. 검출 확률에 따른 BER 성능  
Fig 5. Outage probability following BER

그림 5는 중계기가 5개이며  $\gamma_{th}=2$ 일 때 검출 확률을 0.1~0.9까지 변화시켰을 경우 AF를 이용하는 고정형 중계 기법 및 증분형 중계기법의 BER을 나타내고 있다.

그림 4, 5에서 검출 확률이 증가할수록 고정형 중계기 법과 증분형 중계기법의 오 수신 확률 및 BER이 대체적 으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 검출 확률이 증가 할수록 중계기에서 수신단으로 신호를 전송할 수 있는 확률이 증가하기 때문이다. 그러나 BER 성능을 나타내 고 있는 그림 5에서 증분형 중계기법의 경우 검출 확률의 증가에 따른 BER의 감소폭이 고정형 중계기법의 감소폭 보다 현저히 작으며 다이버시티 이득을 얻지 못함을 알 수 있다. 이는 1차 사용자의 SNR 값이 임계값보다 큰 경 우, 수신단은 중계기로부터 신호를 수신하지 않고 송신 단으로부터 다음 신호를 전송받기 때문에 다이버시티로 인한 이득을 받지 못하고 단순히 검출 확률 증가에 따른 이득만을 얻기 때문이다.

그림 6은 검출 확률이 0.6이고  $\gamma_{th}=2$ 일 때 중계기의 수를 변화시켰을 경우 AF 및 DF를 사용하는 증분형 중 계기법의 오 수신 확률을 나타내고 있다. 아래 그림에서 보이는 바와 같이 중계기의 수가 증가할수록 오 수신확 률이 감소하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 고정형 중계 기법에서 AF는 신호의 SNR이 높은 구간에서, DF는 신 호의 SNR이 낮은 구간에서 우수한 성능을 보인다. 증분 형 중계기법의 오 수신 확률을 분석한 그림 6에서 역시 중계기의 수가 작을 경우 그 차이는 미비하지만 중계기

의 수가 많을 경우 신호의 SNR에 따른 AF와 DF의 성능 차이를 확인할 수 있다.

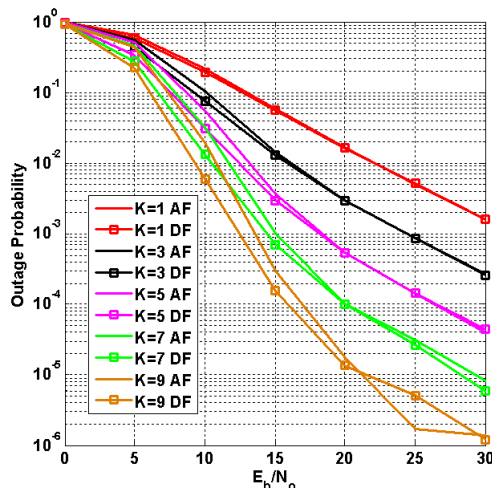


그림 6. 중계기의 수에 따른 오 수신 확률  
Fig 6. Outage probability following number of relay

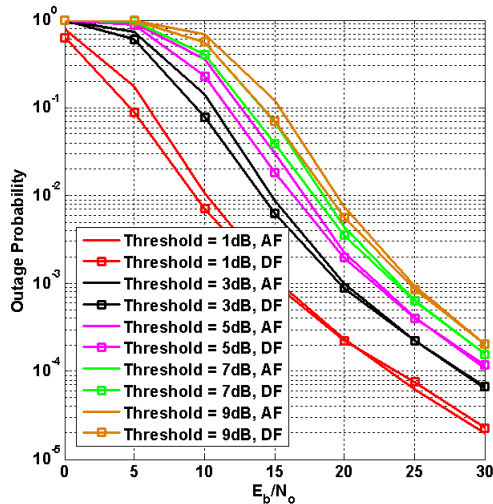


그림 7.  $\gamma_{th}$ 에 따른 AF 및 DF의 오 수신 확률  
Fig .7 outage probability of  $\gamma_{th}$

그림 7은 검출 확률이 0.6이고  $K=5$ 일 때의 증분형 중계 기법의 AF 및 DF의 오 수신 확률을 나타낸 그래프 이다. 그림 7에서 보이는 바와 같이  $\gamma_{th}$ 가 증가할수록 오 수신 확률이 증가하는 것을 알 수 있는데 이는 오 수신 현상이 발생되었다고 판단하는 기준인  $\gamma_{th}$ 가 증가하였 기 때문이다. 또한 그림 7에서 역시 약 20dB 이하의 SNR

에서는 AF 기법이 그 이상일 경우에는 DF 기법의 성능이 우수함을 보여주고 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 2차 사용자가 1차 사용자의 중계기로서 1차 송, 수신단간 신호의 전송을 돕는 협력 인지 시스템의 성능향상을 위해 검출 확률을 고려한 최적의 중계기 선택 기법을 제안하였다. 또한 시스템의 성능 분석을 위해 AF 및 DF, 고정형 중계기법 및 증분형 중계기법에 서의 BER 및 오 수신 확률을 모의 실험하였다. 모의실험 결과 증분형 중계기법과 고정형 중계기법 간 오 수신 확률은 큰 차이를 보이지 않았지만 BER에선 큰 차이를 보임을 알 수 있었다. 또한 AF 및 DF를 이용한 증분형 중계기법의 모의실험에선 고정형 중계기법에서 알려진 바와 같이 낮은 SNR에선 DF 기법이, 높은 SNR에서는 AF 기법의 성능이 더 우수함을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

[1] Mark A. McHenry, "NSF Spectrum Occupancy Measurements Project Summary", No.

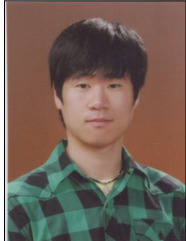
FY2004-013, Aug. 2005.

[2] Simon Haykin, "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications", IEEE Journal on selected areas in Communications, Vol. 23, No. 2, pp.201-220, Feb. 2005.  
 [3] Aria Nosratinia, Todd E. Hunter, Ahmadreza Hedayat, "Cooperative Communication in Wirelss Networks", IEEE Communications Magazime, Vol.41, Issue.10, pp.74-80, Oct. 2004.  
 [4] Vo Nguyen Quoc Bao, Hyung Yun Kong, "Performance Analysis of Incremental Selection Decode-and-Forward Relaying over Rayleigh Fading Channels", IEEE Communications Workshops, 2009. ICC Workshops 2009, pp.1-5, Dresen, Germany, Jun, 2009  
 [5] Moon Geun Choi, Hyung Yun Kong, "Cooperative Communication Method with Detection Probability on the Cognitive Radio", IWIT Journal Vol.11 No.1 pp.75~80  
 [6] Amir Ghasemi, Elvino S.Sousa, " Collaborative Spectrum Sensing for Opportunistic Access in Fading Environments", IEEE Dyspan 2005 pp.131-136, Baltimore, USA, Nov. 2005

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2010-0004865)

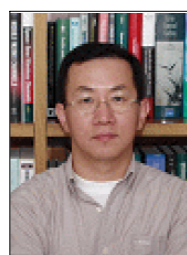
#### 저자 소개

##### 최 문 근(준회원)



- 2010년 2월 울산대학교 전기전자 제어공학 (공학사)
- 2010년 3월~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사 학위 과정  
 <주 관심 분야> 인지통신, 협력 스펙트럼 검출

##### 공 형 윤(정회원)



- 1989년 2월 : New York Institute of Technology(미국) 전자공학과 학사
- 1991년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 석사
- 1996년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자 공학과 박사
- 1996년~1996년 : LG전자 PCS팀장
- 1996년~1998년 : LG 전자 회장실 전략 사업단

- 1998년~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수  
 <주 관심 분야> 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서네트워크