

논문 2011-1-12

## 인지통신에서 검출 확률을 고려한 협력 중계 기법

### Cooperative Communication Method with Detection Probability on the Cognitive Radio

최문근\*, 공형윤\*\*

Moon-Geun Choi, Hyung-Yun Kong

**요 약** 협력 통신에서 중계기는 송신단으로부터 수신한 데이터를 수신단으로 전송함으로써 다이버시티 득을 얻게 해준다. 그러나 송신단과 중계기가 수신단으로 신호를 전송하기 위해서는 자신에게 할당된 주파수가 있어야 한다. 만약 중계기가 2차 사용자이고 할당된 주파수가 없는 경우 중계기는 송신단으로부터 수신한 데이터를 수신단으로 전송하지 못하므로 협력 통신의 장점인 다이버시티 이득을 얻을 수 없다. 따라서 2차 사용자가 중계기로 참여하는 인지통신 네트워크의 성능분석을 위해서는 2차 사용자의 검출확률을 고려하여야 한다. 본 논문에서는 검출확률을 고려한 고정형 중계기법을 제안하고 고정형 중계기법과 동일한 오수신확률을 가지는 증분형 중계기법과 성능을 비교 분석한다. 본 논문에서 실시한 모의실험을 통해 고정형 및 증분형 중계기법의 오수신확률 및 BER성능 그래프를 얻고 인지통신에서 고정형 중계기법의 BER이 증분형 중계기법의 BER보다 우수함을 증명한다.

**Abstract** In the cooperative communication, The relay that transmit signal to destination can achieve diversity gain. But transmitter and relay must have own frequency to transmit signal to destination. If Relay is secondary user and does not have own frequency, relay can't transmit signal to destination. So, To analysis performance of cognitive radio We need to consider detection probability of secondary user. In the paper we propose cooperative communication system considering detection probability. And to compare proposed system and conventional, we also simulate incremental cooperative communication. Through the simulation result, we can know that BER performance of proposed scheme is better than incremental relaying in the cognitive radio.

**Key Words** : Cognitive Radio, Incremental Relaying, Fixed Relaying, Detection Probability, Outage Probability

## 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 주파수가 특정 사용자에게 할당되어 비어있는 주파수 대역이 없는 것을 알 수 있다. 그러나 주파수 사용률은 거의 대부분이 25%를 넘지 못하며 실제 주파수 사용률은 극히 낮은 것을 알 수 있다. 따라서 주파수를 할당 받지 못한 사용자에게 비어있는 주파수 대역을 할당하여 주파수 사용률을 높이고 주파수 대역을 할당받지 못한 사용자들에게 동적으로 주파수 대역을 할당하는 인지통신(Cognitive Radio)<sup>[2]</sup>이란 기술이 제안되었다.

\*준회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

\*\*정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (교신저자)

접수일자: 2010.10.05 수정일자: 2010.12.7

게재확정일자: 2011.2.11

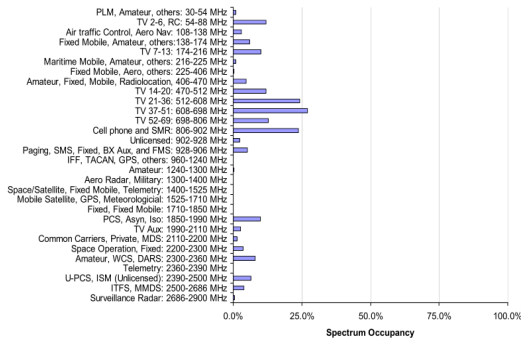


그림 1. 스펙트럼 사용현황  
Fig. 1. Usage of spectrum

인지 통신은 스펙트럼 검출 기법을 통해 2차 사용자가 1차 사용자(Primary User : PU)의 비어있는 스펙트럼을 찾고 동적 스펙트럼 할당을 통해 2차 사용자(Sencondary User : SU)들에게 스펙트럼을 할당하여 이들이 통신을 가능하게 하는 기술이다.

협력통신<sup>[3]</sup>은 송신단과 수신단 사이에 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 기법 및 복호 후 전달 기법을 이용하여 수신단으로 신호를 전송하게 된다.

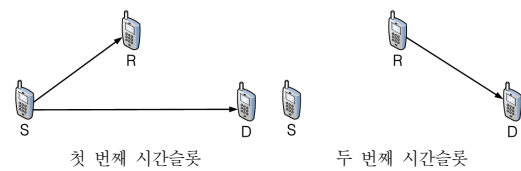


그림 2. 협력 통신 시스템 모델  
Fig. 2. Cooperative communication system model

그림 2에서 보이는 바와 같이 일반적인 협력 통신 기법은 송신단과 중계기 모두 수신단으로 신호를 전송하게 된다. 이는 송신단과 중계기 모두 자신에게 할당된 주파수가 있는 1차 사용자인기 때문이다. 만약 중계기가 2차 사용자이고 비어있는 주파수대역을 찾지 못한다면 수신

단은 송신단이 전송하는 신호만을 수신하게 되어 직접 전송과 같은 성능을 얻게 된다. 따라서 중계기가 2차 사용자로서 통신에 참여하는 인지통신 네트워크에서는 중계기가 스펙트럼 검출에 성공한 경우와 그렇지 못한 경우를 모두 고려하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 중계기가 2차 사용자일 경우 스펙트럼 여부를 고려한 고정형 중계기법(Fixed Relaying)과 증분형 중계기법(Incremental Relaying)을 제안한다.

## II. 검출확률을 고려한 협력 중계 기법

### 1. 고정형 중계 기법

고정형 중계기법의 시스템 모델은 그림 3과 같다. 그림 3에서 송신단에서 수신단까지의 채널을  $h_{sd}$ , 송신단에서 중계기까지의 채널을  $h_{sr}$ , 중계기에서 수신단까지의 채널을  $h_{rd}$ 라고 하며 실선은 데이터 전송을 점선은 다른 1차 사용자의 스펙트럼을 검출하는 과정을 나타낸다.

그림 3에서 송신단은 1차 사용자로서 중계기와 수신단으로 신호를 전송한다. 이 때 단말기(R)가 중계기의 역할을 하기 위해서는 비어있는 스펙트럼을 검출하여야 한다.

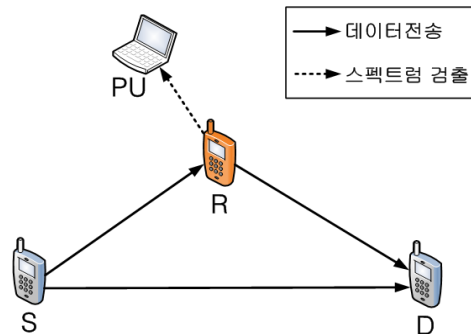


그림 3. 인지통신에서의 협력통신  
Fig. 3. Cooperative communication in the cognitive radio

그러나 단말기(R)가 비어있는 스펙트럼을 검출하지 못할 경우 단말기(R)가 송신단으로부터 수신한 신호를 수신단으로 전송하지 못하므로 그림 4와 같이 직접 전송이 된다.

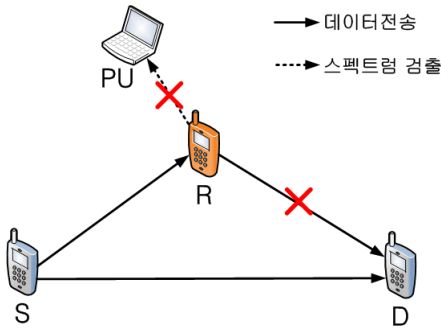


그림 4. 스펙트럼 검출에 실패한 협력통신 시스템  
Fig. 4. Cooperative communication which fail to detect spectrum

그림 3과 그림 4를 통해 알 수 있듯이 중계기가 2차 사용자일 경우 스펙트럼 검출 여부에 따라 수신단에서 수신하는 신호가 달라진다.

그림 4와 같이 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(1)과 같다.

$$I_D = \log_2(1 + SNR|h_{sd}|^2) \quad (1)$$

이에 반해 중계기가 비어있는 스펙트럼을 검출하여 그림 3과 같이 중계기가 송신단으로부터 수신한 신호를 수신단으로 송신한 경우 수신단과 전송노드간의 상호 정보는 식(2)와 같다.

$$I_C = \frac{1}{2} \log_2(1 + SNR(|h_{sd}|^2 + |h_r|^2)) \quad (2)$$

식(2)에서  $h_r = \min(h_{sr}, h_{rd})$ 이다.

식(1)과 식(2)를 비교해보면 중계기의 스펙트럼 검출 유무에 따라 상호 정보가 달라지는 것을 알 수 있다. 이는 인지통신에서 협력 중계기법이 2차 사용자의 검출확률(Detection Probability)에 영향을 받기 때문이다. 따라서 고정형 중계기법에서 검출 확률을 고려한 상호 정보는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_F = \frac{1}{2} \log_2(1 + SNR(|h_{sd}|^2 + P_d|h_r|^2)) \quad (3)$$

식(3)에서  $P_d$ 는 중계기의 검출 확률을 나타낸다. 일반적인 오수신확률(Outage Probability)은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{out} = (\gamma < \gamma_{th}) \quad (4)$$

식(4)에서  $\gamma$ 는 노드에 수신되는 신호의 상호정보이고  $\gamma_{th}$ 는 신호를 수신한 노드가 신호를 성공적으로 복호화할 수 있다고 판단하는 최소한의 상호정보이다. 따라서 고정형 중계기법에서 검출확률을 고려한 오수신 확률은 식(5)와 같다.

$$P_{FR\_out} = \Pr(I_F < \gamma_{th})\Pr(R = k) \quad (5)$$

식(5)에서  $\gamma_{th}$ 는 임계값,  $k$ 는 검출에 성공한 노드이다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 단 하나의 중계기만을 포함하므로 식(4)의  $\Pr(R = k)$ 는  $P_d$ 가 된다.

## 2. 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.

송신단이 수신단으로 송신한 신호의 상호 정보가 임계값 이하일 경우 중계기가 수신단으로 송신하는 신호의 상호정보는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{INC} = \max(I_D | I_D < \gamma_{th}, I_R) \quad (6)$$

식(6)에서  $I_R = \frac{1}{2} \log_2(1 + SNR(|\min(h_{sd}, h_{rd})|^2))$ 이다. 따라서 검출확률을 고려하지 않은 증분형 중계기법의 오수신확률은 식(7)<sup>[4]</sup>과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{INC\_out} = \Pr(I_D < \gamma_{th})\Pr(I_{INC} < \gamma_{th}) \quad (7)$$

중계기가 2차 사용자인 증분형 중계기법에서  $I_D < \gamma_{th}$  일 경우 수신단은 중계기로 신호의 전송을 요청한다. 그러나 중계기가 스펙트럼을 검출하지 못한 경우 중계기가 신호를 전송하지 못하게 된다. 따라서 중계기의 검출 확률을 고려한 오수신확률은 식(8)과 같다.

$$P_{INC\_out} = \Pr(I_D < \gamma_{th}) * \Pr(I_{INC\_Ri} < \gamma_{th} | R = k)\Pr(R = k) \quad (8)$$

식(8)에서  $I_{INC\_Pd} = \max(I_D | I_D < \gamma_{th}, I_R P_d)$ 이다.

### III. 성능 분석

본 논문에서 제안하는 시스템의 성능 분석을 위해 모든 노드들 간의 채널은 레일리 페이딩(Rayleigh fading)을 겪는 것으로 가정한다. 또한 송신단은 QPSK 기법을 이용하여 신호를 변조하고 전송한다. 그림 5는 검출 확률을 고려한 고정형 중계기법의 오수신확률이다. 이와 함께 그림 7은 검출확률을 고려한 증분형 중계기법의 오수신확률이다.  $P_d$ 가 0인 경우는 중계기가 스펙트럼을 검출하지 못해 신호를 수신단으로 전송하지 못하는 경우이다. 이와 함께  $P_d$ 가 1인 경우는 중계기가 비어있는 스펙트럼을 검출하여 신호를 수신단으로 전송할 수 있는 경우이다. 따라서  $P_d$ 가 0과 1일 경우의 그래프를 비교해보면  $P_d$ 가 1일 경우  $P_d$ 가 0일 때 반해 다이버시티 이득을 얻는 것을 알 수 있다.

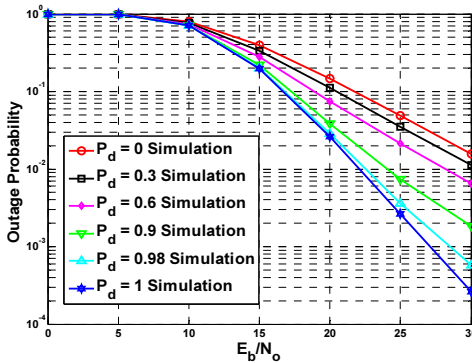


그림 5. 검출확률을 고려한 고정형 중계기법의 오수신확률 ( $\gamma_{th} = 8$ )

Fig. 5. Outage probability of fixed relaying that consider detection probability( $\gamma_{th} = 8$ )

그림 5와 7을 통해 고정형 중계기법과 증분형 중계기법 모두 검출확률이 높을수록 오수신확률이 낮은 것을 알 수 있다. 이는 검출확률이 높을수록 중계기가 수신단으로 신호를 전송할 수 있는 확률이 높아지기 때문이다. 또한 검출 확률을 고려한 고정형 중계기법과 증분형 중계기법의 오수신확률이 동일함을 알 수 있다. 이는 일반적으로 검출확률을 고려하지 않았을 경우 두 중계기법이

동일한 오수신확률을 가지며 그림 5와 7의 경우 기존의 고정형, 증분형 협력 중계기법에 검출확률만을 고려한 것이기 때문에 검출확률을 고려했을 경우 역시 두 중계기법의 오수신확률이 동일한 것을 알 수 있다.

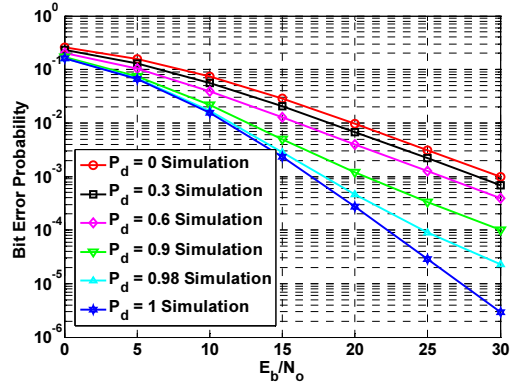


그림 6. 검출 확률을 고려한 고정형 중계기법의 BER ( $\gamma_{th} = 8$ )

Fig. 6. BER of fixed relaying that consider detection probability( $\gamma_{th} = 8$ )

그림 6과 8은 검출 확률을 고려한 고정형 중계기법과 증분형 중계기법의 BER 성능을 나타낸 그래프이다. 그림 6과 8을 비교해볼 때 검출확률이 낮은 경우 고정형과 증분형의 BER 성능이 비슷함을 알 수 있다. 하지만 검출 확률이 높을 경우 고정형 중계기법의 BER 성능이 높음을 알 수 있다.

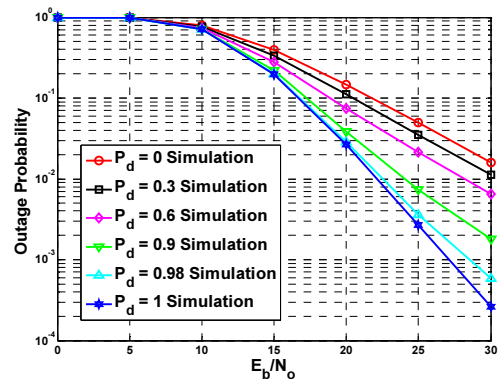


그림 7. 검출확률을 고려한 증분형 중계기법의 오수신확률 ( $\gamma_{th} = 8$ )

Fig. 7. Outage probability of incremental relaying that consider detection probability( $\gamma_{th} = 8$ )

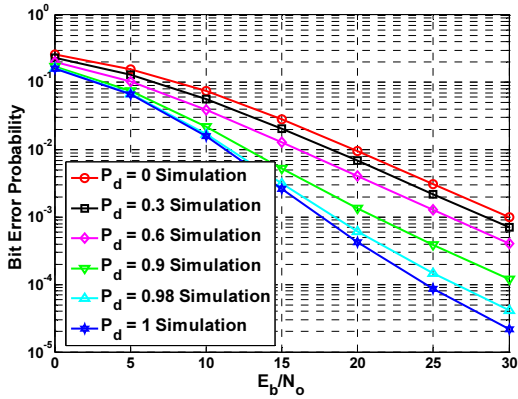


그림 8. 검출확률을 고려한 증분형 중계기법의 BER 확률 ( $\gamma_{th} = 8$ )

Fig. 8. BER of incremental relaying that consider detection probability( $\gamma_{th} = 8$ )

이는 고정형 중계기법의 경우 수신단에서 수신하는 송신단의 신호에 관계없이 중계기로부터 신호를 수신하는데 반해 증분형 중계기법은 수신단에서 수신하는 송신단의 신호 SNR에 따라 선택적으로 중계기의 신호를 수신하기 때문이다. 이러한 이유로 인해 검출 확률이 높은 경우 고정형 중계기법이 증분형 중계기법보다 높은 BER 성능을 얻는 것을 알 수 있다.

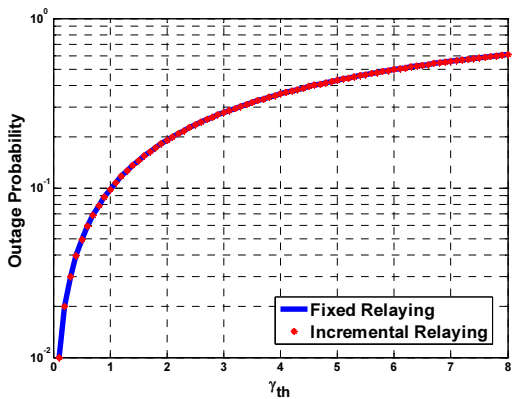


그림 9.  $\gamma_{th}$ 에 따른 고정형 증분형 중계기법의 오수신확률 ( $E_b/N_0 = 10dB, P_d = 0.8$ )

Fig. 9. Outage probability of fixed relaying that depend on  $\gamma_{th}$ ( $E_b/N_0 = 10dB, P_d = 0.8$ )

그림 9는 송신단에 전송하는 신호의 SNR이 10dB로 고정되고  $P_d = 0.8$ 일 경우,  $\gamma_{th}$ 에 따른 고정형, 증분형

중계기법의 오수신확률이다. 그림 9를 통해  $\gamma_{th}$ 가 높을수록 오수신확률이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는  $\gamma_{th}$ 가 수신단에서 요구하는 QoS(Quality of Service)로서 QoS가 높을수록 낮은 SNR을 가지는 신호는 오수신된 것으로 판단하기 때문이다.

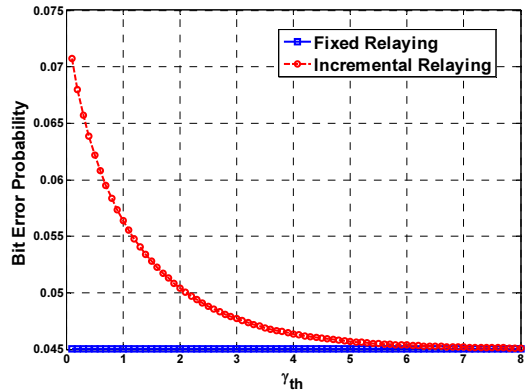


그림 10.  $\gamma_{th}$ 에 따른 고정형 및 증분형 중계기법의 BER ( $E_b/N_0 = 10dB, P_d = 0.8$ )

Fig. 10. BER of fixed and incremental relaying that depend on  $\gamma_{th}$ ( $E_b/N_0 = 10dB, P_d = 0.8$ )

그림 10 역시 송신단에서 전송하는 신호의 SNR이 10dB이고  $P_d$ 가 0.8일 경우  $\gamma_{th}$ 에 따른 고정형 중계기법과 증분형 중계기법의 BER 그래프이다. 고정형 중계기법의 경우 오수신확률이 고정되는데 반해 증분형 중계기법은  $\gamma_{th}$ 가 높을수록 BER 성능이 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 수신단이 요구하는 QoS를 높임으로서 높은 SNR을 가지는 신호만을 선택적으로 수신하기 때문이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 인지통신에서의 고정형 중계기법을 제안하고 성능을 분석하였다. 또한 본 논문을 통해 제안하는 시스템의 성능 비교를 위해 동일한 오수신확률을 가지는 증분형 중계기법의 오수신확률 및 BER의 성능을 분석하였다. 모의 실험을 통해 분석한 결과 인지통신에서 두 중계기법의 오수신확률 또한 동일한 것을 알 수 있었다. 이에 반해 검출 확률을 고려한 경우 중계기가 높은

검출 확률을 가질 때 고정형 중계기법의 성능이 증분형 중계기법보다 더 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있었다. 고정형 중계기법의 경우 증분형 중계기법과는 다르게 송신단의 신호에 관계없이 중계기로부터 신호를 수신하기 때문이다.

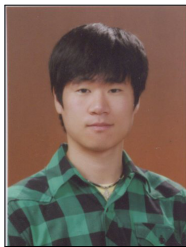
### 참 고 문 헌

- [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

※ 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