

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.4.45>

IIBC 2014-4-7

# 간섭이 완화된 기회주의적인 중계기 시스템의 성능 분석

## Performance Analysis of Interference-Mitigated Opportunistic Relay System

김태욱\*, 공형윤\*\*

Tae-Wook Kim\*, Hyung-Yun Kong\*\*

**요약** 본 논문에서는 사용자 모바일 장치를 중계기로 사용할 경우 발생할 수 있는 간섭 제약에 대해 정의하였다. 또한, 사용자 모바일 장치에서 발생하는 간섭을 완화하기 위해 장치 선택 및 전력 할당 기법을 적용하였다. 제안된 전송 알고리즘을 적용할 경우 간섭을 완화시킬 수 있다. 또한, 간섭이 약한 채널에 적용할 경우 통신망 과부하 문제를 해결할 수 있다. 따라서 추가적인 중계기 설치 없이 사용자 모바일 장치만으로 네트워크 용량을 증가시킬 수 있다. 마지막으로, 제안한 프로토콜을 레일리 페이딩 환경에서 비트오류율(Bit Error Rate)과 아웃티지 확률(Outage Probability)을 통해 시스템의 성능을 평가한다.

**Abstract** In this paper, we proposed a method using the user mobile device to overcome the interference constraint without building a cooperative communication system. In addition, in order to mitigate interference, we apply the user mobile device selection method, and then exploit power allocation scheme in the user mobile device. The proposed protocol is analyzed in the Rayleigh fading environment, and the performance system is evaluated in terms of the bit error rate and the outage probability. The simulation results showed that when the proposed transmission algorithm is applied, the interference can be mitigated. Further, network overload problems can be solved in the weak channel interference. Therefore, we can increase the network capacity without additional relay.

**Key Words** : Cooperative Communication, Relay Using Scheme, Decode and Forward, Maximum Ratio Combining, Interference Mitigation

### 1. 서론

미국의 연방통신위원회의 2010년 보고서에 따르면, 2014년의 무선 데이터 트래픽이 2012년 대비 약 2배에서 5배 증가할 것으로 예상하였으며<sup>[1]</sup>, 이 기간, 대한민국의 무선 데이터 트래픽은 약 3배 증가하였다<sup>[2]</sup>. 이러한 트래픽의 증가는 기지국의 과부하를 야기하며, 과부하 해소를 위한 중소형 기지국의 추가적인 설치를 야기한다. 그

러나, 중소형 기지국의 설치는 전력 낭비 및 예기치 않은 간섭을 유발할 수 있다. 이러한 이유로, [3]에서는 중계기를 사용한 협력 통신을 제안하였으나 협력 통신은 협력 다이버시티 이득을 목표로 하기 때문에 기지국의 과부하를 해결할 수 없다. 또한, 중계기의 설치에 따른 추가적인 비용을 유발한다.

기지국의 과부하와 추가적인 중계기 설치 문제를 해결하기 위해 [4]에서는 사용자 모바일 장치가 중계기 역

\*준회원, 울산대학교 전기공학부

\*\*정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부(교신저자)  
접수일자 : 2014년 6월 5일, 수정완료 : 2014년 7월 2일  
게재확정일자 : 2014년 8월 8일

Received: 5 June, 2014 / Revised: 2 July, 2014

Accepted: 8 August, 2014

\*\*Corresponding Author: hkong@ulsan.ac.kr

School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Korea

할을 하는 새로운 방안을 제시하였다. 제시된 방안은 임의의 영역 안에 존재하는 두 개의 사용자가 단말기가 가질 수 있는 유휴 상태(Idle State), 무휴 상태(Non-Idle State)에 대해 정의하였으며, 협력 다이버시티 이득에 대한 모의 실험을 진행하였다. 그러나 사용자 모바일 장치를 중계기로 사용할 때 발생할 수 있는 간섭에 대한 문제를 고려하지 않았다.

따라서 본 논문에서는 사용자 단말기가 자신의 메시지를 보내는 경우를 세분화한 뒤, 간섭 제약을 적용하며, 사용자 모바일 장치의 선택 및 전력 할당 기법을 통해 간섭을 완화시킬 수 있는 방안을 제시한다. 본 논문의 시나리오에서는  $N$  개의 사용자 모바일 단말기가 존재하는 네트워크를 고려한다. 모든 단말기는 유휴 상태 혹은 무휴 상태를 가질 수 있으며, 송신단과 중계에 참여하는 사용자 모바일 장치는 전송에 대해 동등한 중요성을 가진다고 가정한다. 송신단 및 사용자 단말기의 메시지를 수신 받은 노드에 대한 간섭을 수식으로 구체화한다. 최종적으로, 본 논문에서 제안된 사용자 모바일 장치의 선택 및 전력 할당 기법을 적용하여 간섭이 완화된 아웃티지 확률(Outage Probability)과 비트오류율(Bit Error Rate)을 분석하여 시스템 모델의 성능을 평가한다.

II장에서는 본 논문에서 제안하는 시스템 모델에 대해 소개하며, III장에서는 모의 실험 결과를 통해 시스템의 성능을 평가한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 송신단(Source : S)와 기지국(Base Station: BS) 사이에 존재하는  $N$  개의 사용자 모바일 장치(User Mobile Device : UMD)에 대해 그림 1과 같이 배치되었을 때, 비트오류율(Bit Error Rate) 및 아웃티지 확률(Outage Probability)을 통해 시스템의 성능을 평가한다.

그림 1의 시스템 모델에서 S는 송신단으로서 전송을 원하는 사용자, BS는 기지국을 의미한다.  $UMD_i$ 는 송신단 S와 동등한 중요성을 가지는 사용자 모바일 장치이며 유휴상태일 때 중계기로 사용된다. 또한,  $h_{S,UMD_i}$ ,  $h_{UMD_i,BS}$ ,  $h_{S,BS}$ , ( $i = 2, \dots, N$ ) 각 값은 채널 정보(Channel Information)을 의미한다. 송신단 S의 메시지를  $x_1$ , 사용자 모바일 장치( $UMD$ )의 메시지를  $x_i$ , ( $i = 2, \dots, N$ ) 이라 한다.

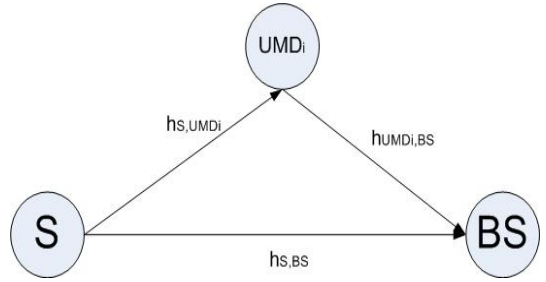


그림 1. 시스템 모델  
Fig. 1. System Model

실제 네트워크 환경과의 유사도를 위해 간섭 요인으로 작용하는 노드를 추가하였다. 준비 단계에서 송신단은 사용자 모바일 장치로 채널 상태 정보(CSI : Channel State Information) 및 사용자 모바일 장치의 상태를 요구하는 메시지를 보낸다. 사용자 모바일 장치는 송신단으로 채널 상태 정보(CSI) 및 사용자 모바일 장치의 정보를 전송하며, 준비단계가 완료되면 송신단 S에서 전송을 시작한다.

### 1. 간섭 및 간섭 완화 방안

시스템에 표현된 사용자 모바일 장치가  $N$  개이며, 간섭 노드로 존재하는 사용자 모바일 장치가  $UMD_i$ 이라고 가정할 때, 본 논문에서는 간섭을 최소화하기 위해 다음과 같은 순서를 따른다. 먼저 채널 상태 정보를 이용하여 두 개의 사용자 모바일 장치를 선택한다. 선택 과정은 다음과 같은 수식을 따른다.

$$\max \left( \min \left( \frac{|h_{S,UMD_i}|^2 P_S}{N_0}, \frac{|h_{UMD_i,BS}|^2 P_{UMD_i}}{N_0} \right) \right) \quad (1)$$

$$, (i = 2, \dots, N)$$

식 (1)을 통해 가장 우수한 사용자 모바일 장치를 선택하며, 가장 우수한 값과 유사한 하나의 사용자 모바일 장치를 추가로 선택한다. 채널 상태가 우수한 경우 간섭 노드로 작용하는  $UMD_i$ 의 영향을 최소화할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 선택된 사용자 모바일 장치가 간섭의 영향으로 인해 복호에 실패할 경우, 선택된 사용자 모바일 장치는 NAK(Negative Acknowledgment : 단순한 응답 토큰) 메시지를 송신단 S에 전송한다. 송신단 S는 전송 전력을 증가시켜 새로운 사용자 모바일 장치를 검색한 뒤, 재전송 과정을 수행한다.

$$\begin{aligned} \gamma_{UMD_2} < \gamma_{th} &\Rightarrow \sqrt{P_S + \Delta P_S} \\ \gamma_{UMD_3} \geq \gamma_{th} &\Rightarrow \sqrt{P_S} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)는 앞서 언급한 사용자 모바일 장치에서 수신한 신호의 전달 혹은 재탐색을 판단하는 기준이 된다. 위 식에서  $\gamma_{UMD_2}, \gamma_{UMD_3}$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \gamma_{UMD_2} &= \frac{|h_{S,UMD_2}|^2 P_S}{|h_{UMD_1,UMD_2}|^2 P_{UMD_1} + N_0} \\ \gamma_{UMD_3} &= \frac{|h_{S,UMD_3}|^2 P_S}{|h_{UMD_1,UMD_3}|^2 P_{UMD_1} + N_0} \end{aligned} \quad (3)$$

$\gamma_{UMD_2}, \gamma_{UMD_3}$ 는 사용자 모바일 장치<sub>2,3</sub>(UMD<sub>2,3</sub>)에 수신된 메시지의 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio)이며,  $\gamma_{th}$ 는 간섭에 대한 임계 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio)이다. 또한 간섭으로 인한 아웃티지 확률(Outage Probability)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{out}^{UMD_2} &= P_{\gamma}(\gamma_{UMD_2} < \gamma_{th}) \\ &= \int_0^{\gamma_{th}} f_{\gamma_{UMD_2}}(\gamma_{UMD_2}) d\gamma_{UMD_2} = F_{\gamma_{UMD_2}}(\gamma_{th}) \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)의  $\gamma_{UMD_2}$ 에 대한 아웃티지 확률과 동일한 과정으로  $\gamma_{UMD_3}$ 의 아웃티지 확률을 구할 수 있다.  $f_{\gamma_{UMD_2}}(\gamma_{UMD_2})$ 는 확률 밀도 함수(Probability Density Function)이다.

$$\begin{aligned} P_{out}^{UMD_2} \\ = 1 - \frac{P_{S,UMD_2}}{P_{S,UMD_2} + \gamma_{th} P_{UMD_1,UMD_2}} \exp\left(-\frac{\gamma_{th} N_0}{P_{S,UMD_2}}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)의  $\gamma_{UMD_2}, \gamma_{UMD_3}$ 는 확률 분포 함수(Probability Distribution Function)이며 [5]를 통해 얻을 수 있다.

따라서, 식 (2)와 같은 비교를 통해 신호의 전달 및 재탐색을 수행할 수 있으며, 이를 통해 간섭에 강건한 사용자 모바일 장치를 선택할 수 있다.

## 2. 시스템 모델의 동작

시간 슬롯에 따른 시스템 모델의 동작을 그림 2에 표현하였다. UMD<sub>1</sub>는 앞서 설명한 간섭 노드이다. 이 노드의 전송은 전체 시간 슬롯에 걸쳐 진행되며, 가장 우수한 사용자 모바일 장치로 선택된 UMD<sub>2</sub>, UMD<sub>3</sub>에 대해 간섭 요인으로 작용한다. 이때, 수신단 BS는 다중 안테나를 가지는 기지국으로서 간섭에 영향을 받지 않는다.

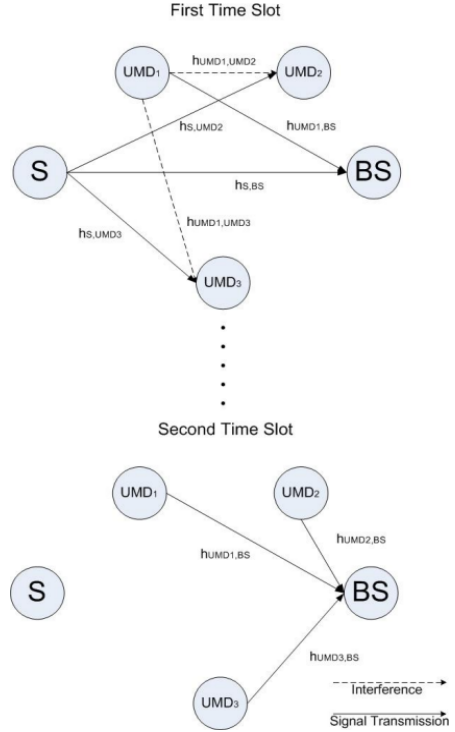


그림 2. 시스템 모델의 동작  
 Fig. 2. Operation of System Model

첫 번째 시간 슬롯에서 송신단 S는 선택된 사용자 모바일 장치(UMD<sub>2</sub>)와 수신단 BS로 자신의 신호를 전송한다. 각 노드는 다음과 같은 메시지를 수신한다.

$$\begin{aligned} y_{BS} &= \sqrt{P_S} h_{S,BS} x_1 + n_0 \\ y_{S,UMD_2} &= \sqrt{P_S} h_{S,UMD_2} x_1 + \sqrt{P_{UMD_1}} h_{UMD_1,UMD_2} x_2 + n_0 \\ y_{S,UMD_3} &= \sqrt{P_S} h_{S,UMD_3} x_1 + \sqrt{P_{UMD_1}} h_{UMD_1,UMD_3} x_2 + n_0 \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서  $P_S$ 는 송신단 S의 전송 전력,  $h_{S,BS}$ ,  $h_{UMD_1,UMD_2}$ ,  $h_{UMD_1,UMD_3}$ ,  $h_{S,UMD_2}$ ,  $h_{S,UMD_3}$ 은 채널 상태 정보,

$x_1$ 는 송신단 S의 메시지,  $x_2$ 는 사용자 모바일 장치  $1(UMD_1)$ 의 메시지,  $n_0$ 는 잡음을 뜻한다. 각 노드에서는 복호후 전송(Decode and Forward) 프로토콜을 사용하며, 복호에 성공했을 경우 수신단 BS로 복호된 메시지를 전달한다. 이때, 실제 네트워크 환경과의 유사도를 위해 선택된 두 노드 중 사용자 모바일 장치 $3(UMD_3)$ 에서 수신된 신호  $x_1$ 을 복호하는 과정에서 자신의 메시지  $x_3$ 을 전송하길 원한다고 가정한다. 이 경우, 자신의 메시지  $x_3$ 과 복호된 신호  $\hat{x}_1$ 에 대해 배타적 논리합(XOR) 연산을 적용하여  $x_4 = x_1 \oplus x_3$ 를 기지국 BS로 전송하며, 수신된 신호는 다음과 같다.

$$y_{BS} = \begin{cases} \sqrt{P_{UMD_1}} h_{UMD_1,BS} x_2 + n_0 \\ \sqrt{P_{UMD_2}} h_{UMD_2,BS} x_1 + n_0 \\ \sqrt{P_{UMD_3}} h_{UMD_3,BS} x_4 + n_0 \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)과 같은 경우, 앞서 언급했듯이 다중 안테나를 가진 수신단이기 때문에 간섭을 고려하지 않는다. 수신단 BS에서는 직접 전송으로 전송된  $x_1$ 과 사용자 모바일 장치 $2(UMD_2)$ 의 신호  $x_1$ 을 최대비 결합(Maximum Ratio) 기법을 적용하여 복호한다. 또한, 사용자 모바일 장치 $3(UMD_3)$ 의 신호  $x_3$ 의 경우, 복호된  $x_1$ 과 배타적 논리합 연산을 통해 복호한다.

### III. 모의 실험

본 장에서는 시스템 모델의 성능 평가를 위해 모의 실험을 진행하였다. 모의 실험에서 이용되는 파라미터는 아래 표 1에 간략히 나타내었다.

표 1. 모의 실험 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Fading	Rayleigh fading
Path loss exponent	3
Modulation	BPSK
$\gamma_{th}$	5dB
SNR	0 ~ 20 dB
Relay's protocol	Decode and Forward
Combining scheme	Maximum Ratio

표 1의 모의 실험 파라미터에서 페이딩 환경은 일반적인 레일리 페이딩을 고려하였으며, 경로 손실 지수는 실외 환경을 고려해 3으로 지정하였다<sup>[6]</sup>. BPSK 모듈레이션을 적용하였고, 수신 임계값인  $\gamma_{th}$ 는 [7]을 참고하여 5dB로 지정하였다. 또한, 송신단과 수신단 사이의 거리를 정규화하여 1로 표현하였으며, 송신단과 사용자 모바일 장치 $1(UMD_1)$ 와의 거리는 사용자 모바일 장치 선택 기법에 의해 각각 0.6 0.7로 선택되었다. 간섭 노드로 작용하는 사용자 모바일 장치 $1(UMD_1)$ 는 0.5로 지정하였다.

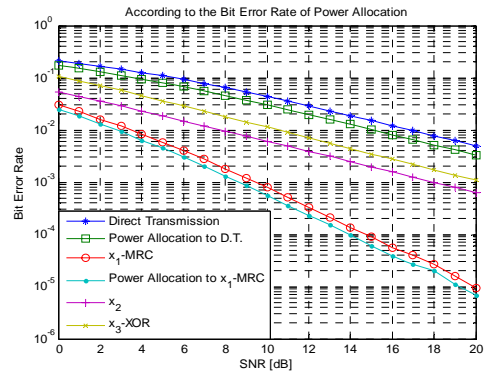


그림 3. 시스템 모델에 대한 비트오류율(Bit Error Rate)  
Fig. 3. Bit Error Rate about System Model

그림 3은 본 논문에서 제시된 시스템 모델에 대한 비트오류율을 수치화하여 성능을 비교하였다. 비트오류율 그래프에서 그래프 'Direct Transmission'은 다른 그래프의 비교대상이 된다. 먼저, 그래프 'x<sub>1</sub>-MRC'의 경우 직접 전송을 통해 받은  $x_1$ 과 사용자 모바일 장치 $2(UMD_2)$ 를 통해 받은  $\hat{x}_1$ 을 최대비 결합을 통해 복호한 결과이며, 협력 다이버시티 이득을 얻을 수 있으므로, 직접 전송에 비해 10dB에서 약 55배의 성능이 좋아졌음을 확인할 수 있다. 사용자 모바일 장치 $1(UMD_1)$ 의 신호  $x_1$ 는 수신단 BS와의 거리가 0.5이기 때문에 그래프 'Direct Transmission'보다 우수한 결과를 얻을 수 있다. 또한, 사용자 모바일 장치 $3(UMD_3)$ 의 신호  $x_3$ 는  $x_3 = x_1 \oplus x_4$ 를 통해 복호하게 되는데, 이 신호는 복호된  $x_1$ 에 의존한다. 따라서, 신호  $x_1$ 이 우수하게 복호되었으므로, 직접 전송을 통해 얻을 수 있는  $x_3$ 보다 우수함을 예상할 수 있다. 전력 할당을 통해 사용자 모바일 장치 $2,3(UMD_{2,3})$ 에서 간섭이 완화된 경우, 수신단 BS와의 직접 통신에도 영향을

미치므로 그래프 'Power Allocation to D.T.'의 성능이 약간 우수해진 것을 확인 할 수 있으며, 또한, 그래프 'Power Allocation to  $x_1$ -MRC' 마찬가지다. 위의 비트오류율(Bit Error Rate) 그래프를 통해서 전력 할당을 적용할 경우, 전체적으로 성능이 우수해지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 송신단에서는 협력 다이버시티를 이득을 얻을 수 있으므로, 일반적인 협력 통신에서 중계기를 사용하는 기법과 비교하여 성능이 유사함을 알 수 있다.

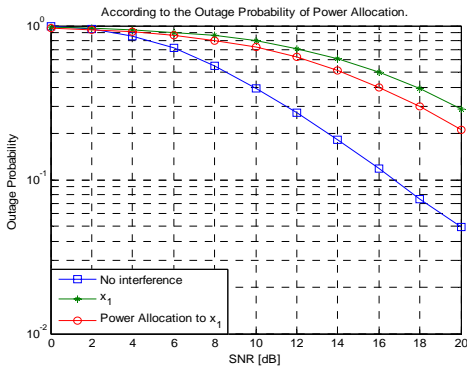


그림 4. 시스템 모델에 대한 아웃지 확률(Outage Probability)

Fig. 4. Outage Probability about System Model

그림 4는 간섭이 없는 환경과 간섭이 적용된 환경에서 계산된 아웃지 확률(Outage Probability)을 수치화한 그래프이다. 이때, 사용자 모바일 장치<sub>2,3</sub>(UMD<sub>2,3</sub>)노드에서 수신된  $x_1$ 을 이용하여 수치화하였다. 그래프 'No interference'의 경우, 16dB에서 약  $10^{-1}$ 의 아웃지 확률을 가지고 있다. 그러나, 간섭이 포함될 경우, 채널이 우수한 노드를 사용했음에도 불구하고 16dB에서 약  $0.5 \times 10^0$ 의 수치를 가진다. 이러한 이유는 간섭에 취약한 단일 안테나를 가지는 사용자 모바일 장치이기 때문이다. 추가적인 해결 방안으로 전력 할당 기법을 적용하였다. 이를 통해,  $0.4 \times 10^0$  수준으로 성능이 개선된 것을 확인할 수 있으나, 우수한 결과를 얻지 못했다. 이와 같은 이유는 본 논문에서 송신단 S와 사용자 모바일 장치를 동등한 중요성을 가지는 노드라 가정하였고, 단일 안테나를 가지는 사용자 모바일 장치이기 때문에 발생한 결과이다. 이러한 문제점을 여러 간섭 완화 기법을 적용하여 연구 중에 있다. 그러나, 통신망 과부하라는 관점에서 살펴본다면, 기지국의 통신망의 과부하를 해결할 수 있

을 뿐만 아니라, 통신망 전체의 전송 용량을 증가시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 협력 통신을 실제 무선 환경에 적용할 수 있도록 중계기 대신 사용자 모바일 장치를 사용하는 방안을 제안하였으며, 사용자 모바일 장치가 가질 수 있는 간섭을 완화하고자 사용자 모바일 장치 선택 및 전력 할당 기법을 적용하였다. N 개의 사용자 모바일 장치 중 가장 우수한 채널 상태 정보를 가지는 사용자 모바일 장치 두 개를 선택하여 전송을 할 경우, 직접 전송에 비하여 성능 향상이 이루어진 것을 확인할 수 있다. 제안된 전송 알고리즘을 일반적인 네트워크 환경에 적용할 경우 간섭의 해소를 위한 추가적인 연구가 필요하나, 간섭이 약한 채널에 적용할 경우 통신망 과부하 문제를 해결할 수 있다. 또한, 추가적인 중계기 설치 없이 사용자 모바일 장치만으로 네트워크 용량을 증가시킬 수 있다.

#### References

- [1] FCC, National Broadband Plan, 2010.
- [2] Ministry of Science, ICT and Future Planning, Wireless Data Traffic Statistics, Aug 1 2014.
- [3] Aria Nostatinia, Todd E. Hunter, "Cooperative communication in wireless network", IEEE Communication Magazine, vol 42, pp 74~80, Oct 2004.
- [4] Tae Wook Kim, Hyung Yun Kong, "Performance Analysis of Cooperative Diversity on the Usage of Opportunistic Relay", The Institute of Internet Broadcasting and Communication, Vol 14, No 3, pp 7~12, Jun 2014.
- [5] Hyunkee Min, Woohyun Seo, Jemin Lee, Sungsoo Park, and Daesik Hong, "Reliability Improvement Using Receive Mode Selection in the Device-to-Device Uplink Period Underlying Cellular Networks," Trans. Wirel. Commun, Vol 10, No 2, pp. 413~418, 2011

- [6] L. Carisio and A. J. M. Soares, "Simplified Characterization of the Urban Propagation Environment for Path Loss Calculation," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol 58, No 1, Jan 2010.
- [7] So-Young Lee, Jin-Young Kim, "Optimal Soft Decision for Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems", The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol 22, No 4, pp 423~429, April 2011.

### 저자 소개

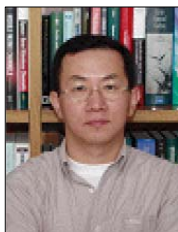
#### 김 태 욱(학생 회원)



- 2007년 2월 ~ 2014년 2월 : 울산대학교 전기공학부 학사
- 2014년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 석사

<주관심분야> : 인지 기술, 협력 통신

#### 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

<주관심분야> : 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서네트워크