무선 네트워크의 신뢰성 보장을 위한 적응적 자원 관리 기법

이기송¹ · 이호원^{2*}

ARM: Adaptive Resource Management for Wireless Network Reliability

Kisong Lee¹ · Howon Lee^{2*}

¹Smart Things Cognition Research Section, IoT Convergence Research Department, IT Convergence Technology Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon 305-700, Korea

^{2*}Department of Electrical, Electronic and Control Engineering & IITC, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

요 약

인도어 무선 통신 시스템에서 무선 네트워크의 신뢰성 보장을 위하여, 갑작스런 네트워크 결함 문제의 발생을 신속하게 해결해야 한다. 본 논문에서는, 사용자들에게 끊임없는 연결성 제공을 위하여 적응적 자원관리 (ARM: Adaptive Resource Management) 기법을 제안한다. 시스템 용량 및 사용자 공평성을 동시에 고려하여, ARM 기법에서는 적응적으로 힐링 서브채널 세트를 결정하고, non-convex 최적화 문제를 기반으로 서브채널과 파워를 반복적으로 할당한다. 시뮬레이션을 통하여 평균 셀 용량과 사용자 공평성 관점에서 제안하는 기법의 우수성을 증명한다.

ABSTRACT

To provide network reliability in indoor wireless communication systems, we should resolve the problem of unexpected network failure rapidly. In this paper, we propose an adaptive resource management (ARM) scheme to support seamless connectivity to users. In consideration of system throughput and user fairness simultaneously, the ARM scheme adaptively determines the set of healing channels, and performs scheduling and power allocation iteratively based on a constrained non-convex optimization technique. Through intensive simulations, we demonstrate the superior performance results of the proposed ARM scheme in terms of the average cell capacity and user fairness.

키워드 : 무선네트워크 신뢰성, 갑작스런 네트워크 결함 문제, 인도어 무선통신시스템, 적응적 자원관리

Key word : Wireless Network Reliability, Unexpected Network Failure Problem, Indoor Wireless Communication Systems, Adaptive Resource Management

접수일자 : 2014. 07. 09 심사완료일자 : 2014. 07. 30 게재확정일자 : 2014. 08. 14

* **Corresponding Author** Howon Lee (E-mail: hwlee@hknu.ac.kr, Tel:+82-31-670-5198)

Department of Electrical, Electronic and Control Engineering & IITC, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.10.2382>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

무선 네트워크의 신뢰성 보장 (wireless network reliability)은 급증하는 수많은 디바이스들에 대한 지원이 필요한 미래 무선통신 시스템의 핵심 시스템 요구사항들 중 하나이다[1]. 인도어 무선통신 시스템에서 갑작스런 네트워크 결함 문제(unexpected network failure)가 발생하면, 사용자들은 인도어 기지국(Indoor Base-Station, IBS)의 고장으로 인하여 연속적인 서비스를 제공받을 수 없게 된다. 따라서 인도어 통신 시스템은 이러한 결함 문제가 발생하면 즉시 그 문제를 해결하여 사용자들에게 끊임없는 통신을 제공해야 한다.

[2]에서는, 갑작스런 네트워크 결함 문제의 해결을 위해서 간단한 서브채널 및 파워 할당 알고리즘을 제안하였다. 본 방안은 사용자들에게 연속적인 서비스를 제공할 수는 있지만, 서브채널 별로 동일 파워를 할당함으로써 시스템 용량의 심각한 저하 문제를 야기하였다. 또한, FP7의 SOCRATES 프로젝트에서는 중앙 집중형 방식의 셀 아웃티지 관리 (cell outage management) 방안을 제안하였다. 다운링크 파워 조절 (downlink power control), 안테나 틸트 조정 (antenna tilt adjustment) 등을 통하여 셀 아웃티지를 관리하지만, 시스템의 차이로 인하여 인도어 무선 통신 시스템으로의 직접적인 적용은 어렵다[3-5].

본 논문에서는, 갑작스런 IBS 결함 문제의 해결을 위하여 적응적 자원 관리 (ARM: Adaptive Resource Management) 기법을 제안한다. ARM 기법은 크게 적응적 힐링 서브채널 (Healing Channel, HC) 선택과 서브채널 및 파워 할당으로 나뉜다.

(i) 힐링 서브채널은 시스템 용량 (system throughput)과 사용자 공평성 (user fairness)을 고려하여 적응적으로 결정된다.

(ii) ARM 기법은 non-convex 최적화 (optimization)를 기반으로 반복적으로 (iteratively) 서브채널과 파워를 할당한다. 특히, 파워를 할당함에 있어서 IBS는 정상 서브채널 (Normal Channel, NC)에서는 간섭의 크기를 줄임으로써 시스템 용량을 증가시킨다. 동시에 힐링 서브채널에서는 줄어든 정상 서브채널로 인한 용량 감소를 최소화하는 측면에서 IBS의 상호협력을 통해 결함이 발생한 기지국에 속해 있는 사용자들을 지원한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 N개의 서브채널로 구성된 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반의 인도어 시스템에서 특정 IBS의 고장으로 인해 사용자가 서비스를 받지 못하는 상황을 고려한다.

그림 1. 중앙 집중형 SON 기반 인도어 시스템
Fig. 1 Centrallized SON-based Indoor System

그림 1은 제안하는 중앙 집중형 SON(Self-Organizing Network) 기반 인도어 시스템을 보여 준다[6]. 각 IBS에서는 각 서브채널의 채널품질정보 (Channel Quality Information, CQI)를 정확하게 획득할 수 있으며, IBS들은 중앙관리장치 (Operation And Management, OAM)에 연결되어 있어, 이를 통해 상호 협력을 위한 정보를 공유한다. 전체 채널은 정상 서브채널과 힐링 서브채널로 나뉘며, 각 서브채널은 한 사용자에게 의해 서만 사용된다. 보통 인도어 시스템의 사용자는 움직임이 느리므로, 채널의 CQI는 패킷 전송 시간동안 변하지 않는다고 가정한다[7]. 또한, MBS (Macro Base-Station)로부터 오는 간섭은 주로 경로손실 (path loss)에 의해 결정이 되므로 서브채널 별로 페이딩 효과는 고려하지 않고 AWGN (Additive White Gaussian Noise)으로 가정한다. 본 논문에서 사용된 기호 표기법은 다음과 같다:

- M, M_N, M_F 는 각각 전체 IBS들의 집합, 정상 IBS들의 집합, 고장 난 IBS들의 집합. $M \triangleq M_N \cup M_F$.
- N, N_N, N_H 는 각각 전체 서브채널 집합, 정상 서브채널 집합, 힐링 서브채널 집합. $N \triangleq N_N \cup N_H$.

- S, S_m 는 각각 전체 사용자들의 집합, IBS m 안에 속한 사용자들의 집합. $S \triangleq S_1 \cup \dots \cup S_M$.
- $s(m, n)$ 는 IBS m 에 의해 서브채널 n을 할당 받은 사용자.
 $s^{[n]} = (s(1, n), \dots, s(M, n))^T, \vec{s} = (s^{[1]}, \dots, s^{[M]}).$
- $p_m^{[n]}$ 는 IBS m 이 서브채널 n에 할당 하는 파워.
 $p^{[n]} = (p_1^{[n]}, \dots, p_M^{[n]})^T, \vec{p} = (p^{[1]}, \dots, p^{[M]}).$
- $|h_{m,s}^{[n]}|^2, p_{\max}, \sigma^2$ 는 각각 n 번째 서브채널 이득, IBS의 전체 전송 파워, AWGN 파워.

위의 표기법을 이용하여 사용자 s가 서브채널 n을 할당 받아 IBS m으로부터 서비스를 받는 경우의 데이터 전송률은 $r_{m,s}^{[n]} = \log_2(1 + \gamma_{m,s}^{[n]})$ 으로 나타낼 수 있다. 여기서 SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)은 다음과 같이 표현 가능하다.

$$\gamma_{m,s}^{[n]} = \begin{cases} \frac{p_m^{[n]} |h_{m,s}^{[n]}|^2}{\sigma^2 + \sum_{j \in M_N, j \neq m} p_j^{[n]} |h_{j,s}^{[n]}|^2} & \text{for } n \in N_N \\ \frac{\sum_{m \in M_N} p_m^{[n]} |h_{m,s}^{[n]}|^2}{\sigma^2} & \text{for } n \in N_H \end{cases} \quad (1)$$

수식 (1)에서 힐링 서브채널의 경우 다수의 IBS가 고장 난 셀의 사용자를 지원하기 위해 상호 협력을 한다. 그러므로 셀 간 간섭이 없으며, 다수의 IBS로부터 받은 수신 신호는 더해져서 다이버시티 이득을 얻는다[8, 9].

위의 수식에 기반하여 시스템의 데이터 전송률을 최대화 하는 최적화 문제를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \max_{\vec{p}} \quad & \sum_{m \in M_N} \sum_{n \in N} r_{m,s}^{[n]} \\ \text{subject to} \quad & \sum_{n \in N} p_m^{[n]} \leq p_{\max} \text{ for } m \in M_N. \end{aligned} \quad (2)$$

최적화 문제 (2)는 non-convex 문제이므로 최적의 해를 찾기가 어렵다. 그러므로 차선의 해를 찾기 위해 반복 알고리즘에 기반한 적응적 자원 관리 기법을 제안한다.

III. 적응적 자원 관리 기법

적응적 자원 관리 기법은 다음과 같이 힐링 서브채널 선택과 자원 할당의 두 단계로 이루어져 있다.

3.1. 힐링 서브채널 선택

먼저, OAM은 $\vec{p} = p_{\max}/N, N_N = \{1, 2, \dots, N\}, N_H = \emptyset$ 로 파워와 서브채널 세트를 초기화한다. 각각의 IBS는 조건 (3)을 만족하는 최적의 사용자에게 서브채널 n을 할당한다.

$$s(m, n) = \arg \max_{s \in S_m} [r_{m,s}^{[n]}] \text{ for } n \in N_N, m \in M_N. \quad (3)$$

OAM은 (4)를 계산하여 시스템 용량 증가에 최소로 기여하는 가장 안 좋은 서브채널을 찾는다.

$$e_n = \frac{U_{s(m,n),n} - U_{s(m,-n),-n}}{U_{s(m,n),n}} \text{ for } n \in N_N. \quad (4)$$

여기서 $U_{s(m,n),n}$ 은 IBS m이 서브채널 n을 사용자 s(m,n)에게 할당 할 경우의 시스템 용량이며, $U_{s(m,-n),-n}$ 은 서브채널 n이 아무 사용자에게도 할당되지 않은 경우의 시스템 용량이다. 그러면, OAM은 (5)를 통해 가장 안 좋은 서브채널 $\dot{n}$ 을 정할 수 있다.

$$\dot{n} = \arg \min_{n \in N_N} (e_n). \quad (5)$$

다음으로 IBS들은 고장 난 셀 안의 사용자들 중에서 조건 (6)을 만족하는 가장 큰 다이버시티 이득을 얻는 최선의 사용자에게 서브채널 $\dot{n}$ 을 할당한다.

$$s(m, \dot{n}) = \arg \max_{s \in S_m, \forall \dot{m} \in M_F} [r_{m,s}^{[\dot{n}]}] \text{ for } m \in M_N. \quad (6)$$

OAM은 서브채널 $\dot{n}$ 을 힐링 서브채널 세트로 할당하는 것이 전체 시스템 용량 관점에서 이득이 있는지 없는지 (7)을 통해 체크 한다.

$$d_{\dot{n}} = \frac{U_{s(m,\dot{n}),\dot{n}} - U_{s(m,n),n}}{U_{s(m,n),n}}. \quad (7)$$

여기서 $U_{s(m,\hat{n}),\hat{n}}$ 은 서브채널 $\hat{n}$ 을 고장 난 셀의 사용자 $s(m,\hat{n})$ 에게 할당할 경우의 시스템 용량이다. 만약 $d_n \geq 0$ 인 경우, 서브채널 $\hat{n}$ 은 힐링 서브채널 세트에 할당된다. 모든 서브채널에 대해 이 과정을 수행하여 힐링 서브채널 세트를 결정한다.

3.2. 자원 할당

정해진 힐링 서브채널 세트 N_H 에 대하여, IBS는 각각 (3)과 (6)에 따라 정상 서브채널은 자신의 사용자에게, 힐링 서브채널은 고장 난 셀의 가장 최선의 사용자에게 할당한다.

마지막으로, IBS는 서브채널이 할당 된 사용자 세트 $\vec{s}^*$ 에 대하여 서브채널 별 파워 할당을 수행한다. 최적의 파워 할당량을 구하기 위해서는 다음과 같은 Lagrangian 함수를 고려하여야 한다.

$$\Lambda(\vec{s}^*, \vec{p}, \vec{\lambda}) = \sum_{m \in M_N} \sum_{n \in N} r_{m,s(m,n)}^{[n]} + \sum_{m \in M_N} \lambda_m (p_{\max} - \sum_{n \in N} p_m^{[n]}). \quad (8)$$

여기서 $\vec{\lambda}$ 는 음수가 아닌 Lagrangian 계수의 집합이다. 또한, 듀얼 문제는 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$\min_{\vec{\lambda} \geq 0} \max_{\vec{p} \geq 0} \Lambda(\vec{s}^*, \vec{p}, \vec{\lambda}). \quad (9)$$

듀얼 문제에 따라, $\Lambda(\vec{s}^*, \vec{p}, \vec{\lambda})$ 를 최대화 하는 $\vec{p}$ 와 $\Lambda(\vec{s}^*, \vec{p}, \vec{\lambda})$ 를 최소화 하는 $\vec{\lambda}$ 를 반복적으로 찾을 수 있다. Lagrangian 함수 (8)을 $p_m^{[n]}$ 에 대해서 미분을 하여 구한 KKT (Karush-Kuhn-Tucker) 조건으로부터 다음과 같은 최적의 파워 할당을 구할 수 있다.

$$p_m^{[n]} = \left\{ \frac{1}{\lambda_m \ln 2 + t_m^{[n]}} - \frac{\sigma^2 + \sum_{\substack{j \in M_N \\ j \neq m}} p_j^{[n]} |h_{j,s(m,n)}^{[n]}|^2}{|h_{m,s(m,n)}^{[n]}|^2} \right\}^+. \quad (10)$$

수식 (10)에서 $[x]^+ = \max(0, x)$ 이며, $t_m^{[n]}$ 은 IBS m이 서브채널 n에 파워를 할당함으로써 다른 셀의 사용

자들에게 미치는 간섭의 정도를 나타낸 것으로 다음과 같이 표현된다.

$$t_m^{[n]} = \begin{cases} \sum_{\substack{j \in M \\ j \neq m}} \frac{|h_{m,s(j,n)}^{[n]}|^2 \gamma_{j,s(j,n)}^{[n]}}{\sigma^2 + \sum_{l \in M_N} p_l^{[n]} |h_{l,s(j,n)}^{[n]}|^2} & \text{for } n \in N_N, \\ 0 & \text{for } n \in N_H. \end{cases} \quad (11)$$

또한, $\vec{t} = (t^{[1]}, \dots, t^{[M]})$, $t^{[n]} = (t_1^{[n]}, \dots, t_M^{[n]})^T$ 로 정의 될 수 있다. 정상 서브채널과 힐링 서브채널의 파워 할당 수식은 비슷한 형태를 가지지만 그 의미는 상당히 다르다. 먼저, 정상 서브채널의 경우 수식 (10)의 $\sum_{j \in M_N, j \neq m} p_j^{[n]} |h_{j,s(m,n)}^{[n]}|^2$ 는 다른 IBS들로부터 오는 간섭으로 해석이 된다.

즉, IBS m은 정상 서브채널의 SINR이 높을수록 더 많은 양의 파워를 할당한다. 또한, 정상 서브채널의 경우 IBS m은 $t_m^{[n]}$ 에서 다른 셀에 미치는 간섭을 고려한다. IBS m이 다른 셀에 간섭을 많이 미치는 경우 $t_m^{[n]}$ 의 값을 높여 해당 서브채널에 할당되는 파워를 줄임으로써, 간섭을 줄일 수 있다. 정상 서브채널에서의 파워 할당은 MWIF (Modified Iterative Water-Filling) 파워 할당과 비슷한 형태를 갖는다[10]. 반면, 힐링 서브채널에 대해서는 IBS 간의 상호 협력에 의해 셀 간 간섭이 없으므로 $t_m^{[n]}$ 은 0이 된다. 또한, 힐링 서브채널의 경우 수식 (10)의 $\sum_{j \in M_N, j \neq m} p_j^{[n]} |h_{j,s(m,n)}^{[n]}|^2$ 는 다른 IBS들로부터 오

는 간섭이 아닌 고장 난 셀의 사용자를 지원하기 위한 다른 IBS들의 상호 협력 정도를 나타낸다. 즉, 다른 IBS들이 이미 충분히 큰 양의 파워를 할당하여 고장 난 셀의 사용자를 지원하고 있다면, IBS m은 해당 채널에 할당하는 파워를 줄인다. 이를 통해 정상 셀 안의 사용자의 서비스 열화는 최소화 하면서, 안정적으로 고장 난 셀의 사용자를 지원할 수 있다. 할당된 파워 $\vec{p}$ 를 기준으로, Lagrangian 계수는 다음과 같은 gradient 알고리즘을 통해 업데이트 된다.

$$\lambda_m(i) = \left[\lambda_m(i-1) - a_1 \left(p_{\max} - \sum_{n \in N} p_m^{[n]} \right) \right]. \quad (12)$$

ARM 기법의 동작은 알고리즘 1에 정리되어 있다.

알고리즘 1. 제안하는 ARM 기법
Algorithm. 1 Proposed ARM Scheme

• **Initialization**
01: Set $\vec{p} = p_{\max}/N$, $N_N = \{1, 2, \dots, N\}$, $N_H = \emptyset$

• **Healing channel selection**
02: **for** $n \in N$
03: Find $s_n^{[n]}$ for normal users according to (3)
04: Calculate e_n according to (4)
05: Determine the subchannel $\dot{n}$ from (5)
06: Find $s_n^{[n]}$ for faulty users according to (6)
07: Calculate d_n according to (7)
08: **if** $d_n > 0$
09: $N_N = N_N \setminus \dot{n}$ and $N_H = N_H \cup \dot{n}$
10: **end if**
11: **end for**

• **Resource allocation**
12: Find $\vec{s}$ according to (3) and (6)
13: Calculate $\vec{t}$ according to (11)
14: **repeat**
15: **repeat**
16: **repeat**
17: Find $\vec{p}$ according to (10)
18: Update $\vec{\lambda}$ according to (12)
19: **until** $\vec{p}$ converges
20: Update $\vec{s}$ according to (3) and (6)
21: **until** $\vec{s}$ converges
22: Update $\vec{t}$ according to (11)
23: **until** $\vec{t}$ converges

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 빌딩 안에 10m의 반지름을 갖는 4개의 인도어 셀($M=4$)을 가정하였다. 또한, MATLAB 시뮬레이션에 사용된 각 파라미터들은 $M_F = 1$, $p_{\max} = 20\text{mW}$, $N = 32$, $B = 10\text{MHz}$, $f = 2.3\text{GHz}$, $N_0 = -174\text{dBm/Hz}$ 로 하였다. IBS와 MBS가 사용하는 파워는 각각 15dBm과 43dBm이다. Path loss 모델은 매크로 셀의 경우는 a modified Okumura-Hata model [11] 을, 인

도어 셀의 경우는 a modified COST-231 multiwall model [12] 이 각각 사용되었다. 무선 채널은 Rayleigh 페이딩에 기반한 주파수 선택적 채널을 가정하였으며, 각각의 서브채널은 오직 한명의 사용자에게 의해 사용된다. 제안 방안의 성능 평가를 위해서는 평균 셀 용량과 modified Jain's fairness index [2]가 사용되었다. 시뮬레이션을 통해 다음에 정의된 5가지 방안들에 대하여 성능을 비교하였다.

- ARM : 본 논문에서 제안한 기법.
- MIWF-SH (Self-Healing) : IBS는 MIWF 알고리즘을 이용하여 정상 셀 및 고장 난 셀의 사용자를 지원한다.
- MIWF-NH (Non-Healing) : IBS는 MIWF 알고리즘을 이용하여 고장 난 셀의 사용자를 제외한 정상 셀의 사용자만을 지원한다.
- EPA(Equal Power Allocation)-SH : IBS는 EPA 알고리즘을 이용하여 정상 셀 및 고장 난 셀의 사용자를 지원한다.
- EPA-NH : IBS는 EPA 알고리즘을 이용하여 고장 난 셀의 사용자를 제외한 정상 셀의 사용자만을 지원한다.

그림 2. 평균 셀 용량 vs. 힐링 서브채널 수
Fig. 2 Average cell capacity vs. Number of HCs

그림 2는 힐링 서브채널 수에 대한 평균 셀 용량을 보여준다. EPA-SH와 MIWF-SH 알고리즘의 경우 힐링 서브채널의 수가 늘어날수록 정상 셀에서 사용할 수 있는 정상 서브채널의 수가 줄어들게 되므로, 평균 셀 용량이 선형적으로 감소한다. 하지만 ARM 기법의 경우,

힐링 서브채널에서 다수의 IBS의 상호 협력에 의해 다이버시티 이득을 얻으므로 정상 서브채널의 감소를 어느 정도 보상한다. 그에 따라, 평균 셀 용량의 감소 정도가 기존 방안에 비해 작다.

그림 3. 사용자 공평성 vs 힐링 서브채널 수
Fig. 3 Fairness vs. Number of HCs

그림 3은 전체 사용자 수에 대한 사용자 공평성을 보여준다. 힐링 서브채널의 수가 늘어날수록 고장 난 셀의 사용자가 서비스를 안정적으로 받을 수 있으므로, 사용자 공평성이 향상된다. 하지만 힐링 서브채널의 수가 일정 수 이상으로 늘어나게 되면 오히려 정상 셀의 사용자가 안정적인 서비스를 받을 수 없게 되므로 사용자 공평성은 떨어지게 된다. ARM 기법에서 결정된 힐링 서브채널의 수는 5.24개이다. 이 포인트에서 평균 셀 용량의 감소는 미미한 반면 사용자 공평성은 상당히 향상되었음을 알 수 있다.

V. 결 론

미래 무선통신시스템에서의 핵심 시스템 요구사항 중 하나인 무선 네트워크의 신뢰성 보장을 위해서 본 논문에서는 적응적 자원관리 기법을 제안하였다. 제안 기법에서는 갑작스런 IBS결함 문제의 해결을 위해 적응적으로 힐링 서브채널을 할당하고, non-convex 최적화를 기반으로 서브채널/파워를 반복적으로 할당한다. 수학적 분석과 시뮬레이션을 통하여 제안 기법은 시스템 용량과 사용자 공평성 측면에서 기존 방안 대비 우

월할 성능을 가짐을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터 (GRRCC) 사업의 일환으로 수행하였음. [(GRRCC한 경2012-B02), 지능적 물류검사에 적합한 비전검 사 알고리즘 및 유무선 통합 제어시스템 개발]

REFERENCES

- [1] A. Osseiran, et al., "Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 5, pp. 26-35, May 2014.
- [2] H. Lee, K. Lee, and D. Cho, "Resource allocation considering fault management in indoor mobile-WiMAX system," in *Proc. IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 1492-1496, Sep. 2009.
- [3] Thomas Kurner, et al., "Final report on self-organisation and its implications in wireless access networks," *FP7 SOCRATES*, pp. 1-135, Jan. 2010.
- [4] M. Amirijoo, et al., "Effectiveness of cell outage compensation in LTE networks," in *Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, pp. 642-647, Jan. 2011.
- [5] M. Amirijoo, et al., "Cell outage compensation in LTE networks: algorithms and performance assessment," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1-5, May 2011.
- [6] Self-organizing networks (SON); concepts and requirements, 3GPP TS 32.500, Version 8.0.0. Dec. 2008.
- [7] V. Chandrasekhar and J. Andrews, "Femtocell networks: a survey," *IEEE Communications magazine*, vol. 46, no. 9, pp. 59-67, Sep. 2008.
- [8] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks," *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 49, no. 10, pp. 2415-2425, Oct. 2003.

- [9] Dongwoo Lee, Young Seok Jung, and Jae Hong Lee, "Amplify-and-forward cooperative transmission with multiple relays using phase feedback," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1-5, Sep. 2006.
- [10] W. Yu, "Multiuser water-filling in the presence of crosstalk," in *Proc. Information Theory and Application Workshop*, pp. 414-420, Jan. 2007.
- [11] 3GPP, "Physical layer aspects of UTRA high speed downlink packet access," Mar. 2001.
- [12] E. Damosso, Ed., "Digital mobile radio towards future generation systems," Cost 231 Final Report, 1999.

이기승(Kison Lee)

2009년 KAIST 전기및전자공학과 석사
2013년 KAIST 전기및전자공학과 박사
2013년~현재 ETRI 융합기술연구소 연구원

※ 관심분야 : Cognitive Radio, Femtocell Networks, Self-Organizing Networks 등

이호원(Howon Lee)

2009년 KAIST 전기및전자공학과 박사
2009년 ~ 2010년 KAIST IT융합연구소 선임연구원
2010년 ~ 2012년 KAIST IT융합연구소 팀장/연구조교수
2012년 ~ 현재 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수
2012년 ~ 현재 KAIST IT융합연구소 겸직교수

※ 관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, D2D 통신, 최적 CSMA, 지식융합기술 등