

## 인도어 무선통신시스템에서 고정적 인도어기지국 선택을 통한 자가치유 알고리즘

이호원<sup>1</sup> · 이기송<sup>2\*</sup>

### Fixed Indoor-BS Selection Based Self-Healing in Indoor Wireless Communication System

Howon Lee<sup>1</sup> · Kisong Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical, Electronic and Control Engineering & IITC, Hankyong National University, Anseong 456-749, Korea

<sup>2</sup>Smart Things Cognition Research Section, IoT Convergence Research Department, IT Convergence Technology Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon 305-700, Korea

#### 요 약

인도어 기지국(Indoor BS) 결합으로 인해 발생하는 커버리지홀 문제를 해결하기 위하여, 새로운 프레임 구조와 최적화 기법 기반의 실제적인 알고리즘을 제안한다. 우리의 핵심 공헌은 다음과 같다: 1) 갑작스런 IBS 결합 문제 해결을 위한 힐링(healing) 채널을 가지는 새로운 프레임 구조를 제안하고 2) 최적화 문제의 복잡도 감소를 위한 고정적 IBS 선택에 기반한 효과적인 휴리스틱 자원할당 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 평균 셀 용량과 사용자 공평성 관점에서 기존 알고리즘에 비해 제안 방안이 우수함을 증명한다.

#### ABSTRACT

In order to resolve coverage hole problems caused by indoor-BS (IBS) faults, we propose a new frame structure and practical algorithm based on optimization technique. Our main contributions can be described as follows: 1) a frame structure with healing channels for solving abnormal IBS faults; and 2) an efficient heuristic resource allocation algorithm with fixed IBS selection to reduce the complexity for the optimization problem. Through intensive simulations, we evaluate the performance excellency of our proposed algorithm with respect to average cell capacity and user fairness compared with conventional algorithms.

**키워드** : 자가치유, 커버리지홀 문제, 고정적 IBS 선택, 인도어 무선통신시스템

**Key word** : Self-Healing, Coverage Hole Problem, Fixed IBS Selection, Indoor Wireless Communication System

접수일자 : 2014. 04. 03 심사완료일자 : 2014. 05. 06 게재확정일자 : 2014. 05. 20

\* **Corresponding Author** Kisong Lee (E-mail: kslee851105@gmail.com, Tel:+82-42-860-5517)

Electronics and Telecommunications Research Institute, Yuseong-gu, Daejeon 305-700, Republic of Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.7.1540>

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. 서론

네트워크 관리(network management)에는 성능 관리(performance management), 구성 관리(configuration management), 요금 관리(accounting management), 결함 관리(fault management)와 보안 관리(security management)가 있다 [1, 2]. 본 논문에서 우리는 인도어 기지국(indoor base-station, IBS) 결함 문제에 대하여 다룬다. 일반적으로 설치 비용을 줄이기 위하여 IBS들은 커버리지의 많은 부분들이 겹치지 않도록 설계된다. 따라서, IBS 결함이 발생하면 결함이 발생한 셀에 포함되어 있던 사용자들은 서비스 단절 문제가 발생하게 된다. 이에 따라, 해당 사용자들은 IBS 결함이 고쳐질 때까지 기다려야 한다. 이와 같이 IBS 결함 문제는 발생 시 신속하게 해결해야하는 매우 중요한 문제이다.

기존 연구들은 주로 빠르고 정확한 발견(detection), 진단(diagnosis), 그리고 복구(recovery)에 중점을 두고 있다. 하지만, 이 연구들은 결함이 발생한 셀에 포함된 사용자들에게 끊임없이 서비스를 제공하는 것을 목적으로 삼고 있지는 않다. 다시말해서, 기존 연구들은 주로 결함이 발생한 상황으로부터의 빠른 복구에 중점을 두고 있다 [3, 4]. 따라서 고장난 IBS가 복구될 때까지 사용자들은 통신 서비스를 제공받을 수 없게 된다. 즉, 주변에 도움을 줄 수 있는 헬퍼 IBS(helper IBS)가 없다면 복구가 되는 순간까지 고장난 IBS에 속해 있던 사용자들의 연결이 끊어지게 되는 문제가 발생하게 된다. FP7 SOCRATES 프로젝트를 보면, 실제적인 셀 아웃티지 보상(cell outage compensation, COC)에 대해서 명확하게 정의하고 있다 [2, 5]. 하지만, COC는 매크로셀 환경 기반 중앙집중형 방식으로 고안되었기 때문에 인도어 무선통신 환경으로의 직접적인 적용은 어렵다.

본 논문에서는, IBS 결함이 발생하는 순간에 중점을 두고, 커버리지 홀 문제의 해결을 위한 힐링 채널(healing channel, HC) 기반의 새로운 프레임 구조를 제안한다. 또한, 평균 셀 용량(average cell capacity)과 사용자 공평성(user fairness) 최대화를 위하여 최적화 문제(optimization problem)를 정의한다. 실제 시스템으로의 적용을 위하여, 최적화 문제의 복잡도 감소를 위한 고정적 IBS 선택에 기반한 효과적인 휴리스틱 자원할당 알고리즘을 제안하고, 이를 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

## II. 제안하는 프레임 구조

본 논문에서, IBS는 전방향성 안테나(omni-directional antenna)를 이용하고, 기본적으로 IBS의 가격은 매크로 BS보다 매우 저렴하기 때문에 셀 내에는 1개의 섹터만 존재한다고 가정한다. 또한, 인도어 무선통신시스템이 유연한 대역폭 구조(scalable bandwidth)를 지원한다고 가정한다. 유연한 대역폭 구조는 이미 LTE/LTE-Advanced 시스템에서 그 기능이 지원되고 있다 [6].

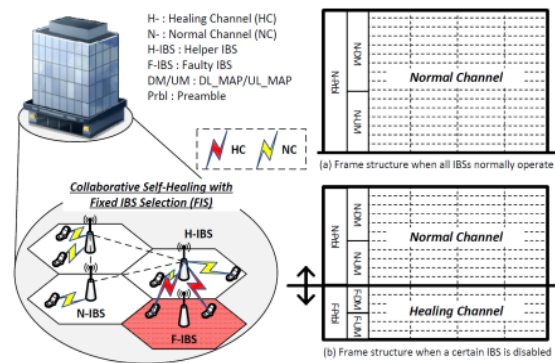


그림 1. 인도어 무선통신시스템을 위한 프레임 구조 제안  
Fig. 1 Proposed frame structure of indoor Wireless Communication Systems

갑작스런 IBS의 결함이 발생하면, 해당 IBS로부터 서비스를 받고 있던 사용자들의 연결 단절 문제가 발생하게 된다. 이 사용자들에게 끊임없는 서비스를 제공하기 위하여, 본 논문에서는 그림 1과 같이 정상 IBS들(normal IBSs)의 상호 협력에 기반한 힐링채널을 제안한다. 만약 IBS 결함 문제가 발생하면, 인도어 중앙 장치(indoor central unit, ICU)는 고장난 IBS들이 메시지를 송수신하거나 자신의 상태를 보고할 수 없기 때문에, SNMP(simple network management protocol)를 이용한 간단한 시그널링(signaling)을 통하여 IBS 결함을 쉽고 빠르게 감지할 수 있다. 제안 방안에서는, ICU가 IBS 결함을 발견하면, ICU는 커버리지 홀 문제 해결을 위하여 사용할 힐링채널의 개수와 헬퍼 IBS를 결정하고 인도어 IBS들에게 알려준다. 고장난 IBS에 속해있던 사용자들은 헬퍼 IBS의 프리앰블이나 파일럿 신호를 찾게 되고, 힐링채널을 통해 연속적인 서비스를 제공받을 수 있게 된다. 하지만 힐링채널이 할당됨에 따라서, 정

상 IBS들은 힐링채널 개수만큼 줄어든 수의 정상채널(normal channel)들을 사용하게 된다.

### III. 시스템 모델 및 고정적 IBS 선택 기반 휴리스틱 자원할당 알고리즘

#### 3.1. 시스템 모델

본 시스템 모델에서, 채널품질정보(channel quality information, CQI)는 각 사용자로부터 기지국으로 전달된다. 기지국들은 이 정보를 기반으로 사용자에게 할당할 서브채널의 수와 파워의 양을 결정하게 된다. 서브채널과 할당할 파워의 양이 결정되면 기지국은 무선채널을 통해 사용자에게 데이터를 송신한다. 본 논문에서는 기지국이 사용자들의 채널정보를 정확하게 알 수 있다고 가정한다. 또한 MAC 프레임 기간 동안 CQI 정보가 변하지 않는다고 가정한다. 본 논문에서 사용된 기호 표기법(notation)은 다음과 같다:

- $K, K_N, K_H, K_F$ 는 각각 전체 IBS들의 집합, 정상 IBS들의 집합, 헬퍼 IBS들의 집합, 고장 IBS들의 집합을 나타냄.  
 $K \triangleq K_N \cup K_H \cup K_F$ .  $K = \{1, 2, 3, \dots, K\}$ ,  
 $K_N = \{1, 2, 3, \dots, K_N\}$ ,  $K_H = \{1, 2, 3, \dots, K_H\}$ ,  
 $K_F = \{1, 2, 3, \dots, K_F\}$ .
- $M_i$ 는 IBS  $i$ 에 속한 사용자들의 집합을 나타냄.  
 $M_i = \{1, 2, 3, \dots, M_i\}$ .
- $N, N_N, N_F$ 는 각각 전체 서브채널 집합, 정상채널 집합, 힐링채널 집합을 나타냄.  
 $N \triangleq N_N \cup N_F$ ,  $N = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ ,  
 $N_N = \{1, 2, 3, \dots, N_N\}$ ,  $N_F = \{1, 2, 3, \dots, N_F\}$ .
- $\alpha$ 는 힐링채널의 개수를 나타냄.
- $p_{ij}^n, |h_{ij}^n|^2, \rho_{ij}^n$ 는 각각  $n$ 번째 서브채널에 할당된 파워,  $n$ 번째 서브채널 이득, 사용자  $j$ 에 대한 IBS  $i$ 의  $n$ 번째 서브채널 사용 유무를 나타냄.
- $p_{lim}, B, N_0$ 는 각각 IBS의 전체 전송 파워, 전체 시스템 대역폭, 부가 백색 가우스 노이즈 스펙트럼 밀도(additive white Gaussian noise (AWGN) spectral density)를 나타냄.

만약 특정 IBS의 결함이 발생하고, 주변 기지국들이 해당 사용자들을 도와주지 않는다면, 결함이 발생한 IBS에 속해 있던 사용자들은 패킷 송수신을 할 수 없게 된다. 하지만, 인도어 무선통신시스템에 본 논문에서 제안하는 방안을 적용하면, 결함이 발생한 기지국에 속해 있던 사용자들도 힐링채널을 이용하여 선택된 헬퍼 IBS를 통해 연속적인 서비스를 제공받을 수 있게 된다. 본 논문에서 정상 IBS와 헬퍼 IBS에 속한 사용자  $n$ 의 데이터전송률  $R_{ij}$ 는 다음과 같이 정의한다:

$$R_{ij} = \sum_{n \in N_N} \frac{B}{N} \rho_{ij}^n \times \log_2 \left( 1 + \frac{p_{ij}^n |h_{ij}^n|^2}{\sum_{\substack{k \in K_N \cup K_H \\ k \neq i}} p_{kj}^n |h_{kj}^n|^2 + N_0 \frac{B}{N}} \right)$$

when  $j \in M_i, i \in K_N \cup K_H$ , 또한 고장 IBS에 속한 사용자의 데이터전송률  $R_{ij}$ 는 다음과 같이 정의한다:

$$R_{ij} = \sum_{n \in N_F} \frac{B}{N} \rho_{ij}^n \times \log_2 \left( 1 + \frac{p_{ij}^n |h_{ij}^n|^2}{N_0 \frac{B}{N}} \right)$$

when  $j \in M_i, l \in K_F, i \in K_H$ . 이 경우에 스펙트럼효율 최대화를 위한 최적화문제는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\begin{aligned} & \max_{p_{ij}^n, \rho_{ij}^n} \sum_{i \in K_N \cup K_H} \sum_{j \in M_i} \sum_{n \in N_N} \\ & \frac{B}{N} \rho_{ij}^n \times \log_2 \left( 1 + \frac{p_{ij}^n |h_{ij}^n|^2}{\sum_{\substack{k \in K_N \cup K_H \\ k \neq i}} p_{kj}^n |h_{kj}^n|^2 + N_0 \frac{B}{N}} \right) \\ & + \sum_{i \in K_H} \sum_{l \in K_F} \sum_{j \in M_i} \sum_{n \in N_N} \frac{B}{N} \rho_{ij}^n \times \log_2 \left( 1 + \frac{p_{ij}^n |h_{ij}^n|^2}{N_0 \frac{B}{N}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

subject to  $\sum_{j \in M_n} \sum_{n \in N_N} p_{ij}^n \leq p_{lim}$  for  $i \in K_N$

$$\sum_{j \in M_n} \sum_{n \in N_N} p_{ij}^n + \sum_{j \in M_n} \sum_{n \in N_F} p_{ij}^n \leq p_{lim} \quad \text{for } i \in K_H, l \in K_F$$

$$p_{ij}^n \geq 0, \rho_{ij}^n = \{0, 1\} \text{ for } \forall i, j, n$$

$$\sum_j \rho_{ij}^n = 1 \text{ for } i \in K_N \cup K_H, n \in N_N$$

$$\sum_{i \in K_F} \sum_{j \in M_i} \sum_{n \in N_N} \rho_{ij}^n \geq \alpha \text{ for } i \in K_H$$

$$R_{ij} \geq r_{req} \text{ for } i \in K_N \cup K_H, j \in K_N \cup K_H \cup K_F$$

최적화 문제 (1)에서, 각각의 서브채널에 할당되는 파워는 0보다 크거나 같으며, 모든 서브채널에 할당된 파워의 합은  $p_{lim}$  을 초과할 수 없다. 또한, 각각의 서브채널은 한 명의 사용자에게만 할당될 수 있다. 특히, 5번째 제한조건은 힐링채널을 위하여 최소  $\alpha$  개의 서브채널이 확보된다는 것을 나타낸다. 마지막으로, 6번째 제한조건은 정상 IBS와 헬퍼 IBS가 자신의 사용자들의 공평성 보장을 위하여 최소  $r_{req}$  만큼의 데이터전송율을 보장해 주어야 된다는 것을 의미한다. 최적화 문제 (1)은  $p_{ij}^n$  와  $\rho_{ij}^n$  를 비롯한 몇 개의 비선형 제한조건에 따라 혼합이진 정수계획법 문제(mixed binary integer programming problem)가 된다. 하나의 서브채널이 한 명의 사용자에게 할당된다는 제한조건을 완화(relaxation)함으로써 목적함수(objective function)를 보다 풀기 쉬운 문제로 변형할 수 있다 [7]. 이에 따라, 목적함수와 4번째 제한조건이 다음과 같이 변형된다:

$$\begin{aligned} \max_{p_{ij}^n, \rho_{ij}^n} & \sum_{i \in K_N \cup K_H} \sum_{k \in M_i} \sum_{n \in N_N} \\ & \left\{ \frac{B}{N} \rho_{ij}^n \times \log_2 \left( 1 + \frac{p_{ij}^n |h_{ij}^n|^2}{\sum_{\substack{k \in K_N \cup K_H \\ k \neq i}} \rho_{kj}^n p_{kj}^n |h_{kj}^n|^2 + \rho_{ij}^n N_0} \frac{B}{N}} \right) \right\} \\ & + \sum_{i \in K_H} \sum_{l \in K_F} \sum_{j \in M_l} \sum_{n \in N_F} \left\{ \frac{B}{N} \rho_{ij}^n \times \log_2 \left( 1 + \frac{p_{ij}^n |h_{ij}^n|^2}{\rho_{ij}^n N_0} \frac{B}{N} \right) \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

subject to  $\rho_{ij}^n \in (0, 1]$  for  $i \in K_N \cup K_H, \forall j, n$   
(the other constraints are the same.)

하지만, 인접셀 간섭으로 인하여 최적화 문제 (1)과 (2)는 모두 콘벡스 최적화 문제가 아니므로, 위의 형태로는 최적화 해를 바로 구하기가 어렵다. [8]에서 비록 인접셀 간섭을 최적화 문제에서 고려하였지만, 마찬가지로 최적해가 아니며 저자들은 또한 애드혹 네트워크(ad hoc network) 환경을 고려하였다. 따라서, 본 논문에서는 실제 시스템에 적용될 수 있는 간단하고 효과적인 휴리스틱 알고리즘을 제안하고자 한다.

### 3.2. 고정적 IBS 선택 기반 휴리스틱 자원할당 알고리즘

실제적인 해를 얻기 위하여, 본 논문에서는 고정적 IBS 선택 기반 휴리스틱 서브채널/파워 할당 알고리즘

(equal power allocation algorithm with fixed IBS selection, EPA-FIS) 을 제안한다. 구체적인 EPA-FIS 알고리즘은 알고리즘 1에 정리되어 있다. 본 알고리즘에서,  $R_{ij}^n$  는  $n$  번째 서브채널을 사용하는 각 사용자의 데이터전송율을 나타내며,  $R_{ij}^{avg}$  는 평균 데이터전송율을 나타낸다. 또한,  $p_{HC}$  와  $p_{NC}$  는 각각의 힐링채널과 정상채널에 할당된 파워를 나타낸다. 먼저, ICU는 힐링채널의 개수를 결정하고 힐링채널과 정상채널을 위해 사용될 서브채널을 선택한다. 그 후, 헬퍼 IBS는 힐링채널에 할당될 파워의 양을 계산한다:  $p_{HC} = \frac{p_{lim}}{N}$ . 각각의 힐링채널은 조건  $j^* = \arg \max_{j \in M_i, l \in K_F} R_{ij}^n$  를 만족하는 사용자  $j^*$  에게 할당된다. 또한, 평균 데이터 전송율이  $r_{req}$  보다 작은 사용자가 우선적으로 선택된다. 정상채널의 경우에 할당되는 파워는 다음과 같이 계산된다:

$$p_{NC,i} = p_{ij}^n = \frac{p_{lim}}{N - \alpha} \text{ when } i \in K_N, j \in M_i, n \in N_N, \text{ and}$$

$$p_{NC,i} = p_{ij}^n = \frac{p_{lim} - \alpha \times p_{HC}}{N - \alpha} \text{ when}$$

$i \in K_H, j \in M_i, n \in N_N$ . 정상채널에 대한 할당 파워가 결정되면 정상 IBS와 헬퍼 IBS는 각각 자신의 사용자에게 대한 데이터전송율을 계산하고, 조건  $j^* = \arg \max_{j \in M_i} R_{ij}^n$  를 만족하는 최적의 사용자  $j^*$  에게 해당 서브채널을 할당하게 된다.

알고리즘 1. 제안하는 EPA-FIS 알고리즘  
Algorithm. 1 Proposed EPA-FIS Algorithm

#### • Initialization

- 01: Set  $N_N = \{1, 2, \dots, N - \alpha\}, N_F = \{N - \alpha + 1, \dots, N\}$
- 02: Set  $K_N = K - K_F$
- 03: Set  $p_{HC} = \frac{p_{lim}}{N}$  for all  $N_F$  //power allocation for HCs

#### • HC: Subchannel allocation

- 04: for  $i \in K_H$
- 05:   for  $n \in N_F$

```

06: Calculate  $R_{ij}^n$  for all  $j \in M_i, l \in K_F$ 
07:  $j^* = \arg \max_{j \in M_i, l \in K_F} R_{ij}^n$ 
    given that  $R_{ij}^n < r_{req}$ 
08: if  $j^* = NULL$ 
09:    $j^* = \arg \max_{j \in M_i, l \in K_F} R_{ij}^n$ 
10: end if
11: Allocate subchannel  $n$  to user  $j^*$ 
12: end for
13: end for

• NC: Power and Subchannel allocation

14: Set  $p_{NC,i} = p_{ij}^n = \frac{p_{lim}}{N - \alpha}$ 
    for all  $j \in M_i, i \in K_N, n \in N_N$ 
15: Set  $p_{NC,i} = p_{ij}^n = \frac{p_{lim} - \alpha \times p_{HC}}{N - \alpha}$ 
    for all  $j \in M_i, i \in K_H, n \in N_N$ 

16: for  $i \in K_N$  //subchannel allocation for NCs
17:   for  $n \in N_N$ 
18:     Calculate  $R_{ij}^n$  for all  $j \in M_i$ 
19:      $j^* = \arg \max_{j \in M_i} R_{ij}^n$  given that  $R_{ij}^{avg} < r_{req}$ 
20:     if  $j^* = NULL$ 
21:        $j^* = \arg \max_{j \in M_i} R_{ij}^n$ 
22:     end if
23:     Allocate subchannel  $n$  to user  $j^*$ 
24:   end for
25: end for
    
```

#### IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 빌딩 안에 20m의 반지름을 갖는 4개의 인도어 셀(K=4)을 가정하였다. 또한, 시뮬레이션에 사용된 각 파라미터들은  $K_F = 1$ ,  $p_{lim} = 20mW$ ,  $N = 32$ ,  $B = 10MHz$ ,  $f = 2.3GHz$ ,  $N_0 = -174dBm/Hz$ 로 하였다. Path loss 모델은 IEEE 802.16m 시스템에서 제안된 인도어 small office 모델을 사용하였으며,  $PL(dB) = 43.8 + 36.8 \cdot \log_{10}(\text{거리}[m]) + 20 \cdot \log_{10}(f[GHz] / 5.0)$  이다[9]. 무선 채널은 Rayleigh 페이딩에 기반한 주파수 선택적 채널을 가정하였다.

또한, 각각의 서브채널은 오직 한명의 사용자에게 의해 사용되며, 다음에 정의된 4가지 알고리즘들에 대하여 시뮬레이션을 통한 성능을 비교하였다.

- MMW-EPA-FIS : 본 논문에서 제안한 방안으로써, MMW (Modified Max-Weight) 스케줄링에 기반하여 사용자 별로 최저 데이터전송율 요구량을 보장한다.
- MMW-EPA-NH (Non-Healing) : MMW 스케줄링을 이용하며 정상 인도어 기지국은 자가 치유를 위한 어떠한 지원도 하지 않는다. 사용자 별로 최저 데이터전송율 요구량을 보장한다.
- MW-EPA-FIS : MW 스케줄링에 기반하여 채널 환경이 가장 좋은 사용자에게 채널을 할당한다.
- MW-EPA-NH : MW 스케줄링을 이용하며 정상 인도어 기지국은 자가치유를 위한 어떠한 지원도 하지 않는다.

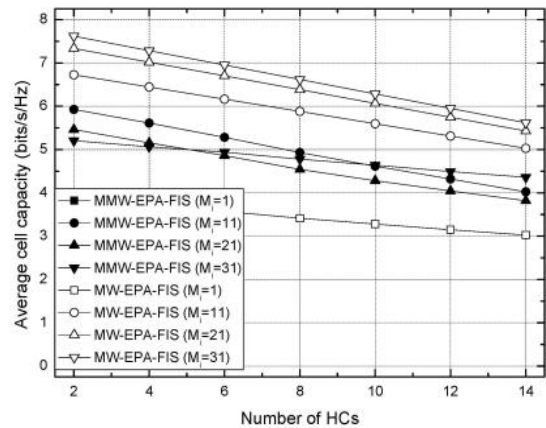


그림 2. 평균 셀 용량 vs. 힐링채널의 개수  
Fig. 2 Average cell capacity vs. Number of HCs

그림 2는 힐링채널 개수에 대한 평균 셀 용량을 보여 준다. 제안방안의 경우 고장 난 셀 안의 사용자에게 안정적인 서비스를 지원해주기 위해서는 셀 간 간섭을 일으키지 않는 것이 중요하다. 이를 위해 고장 난 셀의 사용자를 지원해 주는 헬퍼 IBS를 제외한 다른 IBS는 힐링채널을 사용하지 않는다. 하지만, 정상 IBS는 힐링채널의 개수만큼 사용할 수 있는 채널의 수가 감소하게 된다. 결과적으로 힐링채널의 수가 늘어날수록 시스템

전체적으로 사용가능한 서브채널의 개수는 줄어들게 되어 평균 셀 용량이 감소한다. MW 기반의 알고리즘의 경우에는 다중 사용자 다이버시티로 인해 사용자의 수가 늘어날수록 평균 셀 용량도 늘어남을 볼 수 있다. 하지만 MMW 기반의 알고리즘의 경우에는 채널 환경이 좋은 사용자에게 채널을 우선적으로 할당하지 않고, 최저 데이터전송율 요구량을 만족시키지 못하는 사용자부터 우선적으로 채널을 할당해준다. 그러므로 다중 사용자 다이버시티 효과가 명확히 나타나지 않는다.

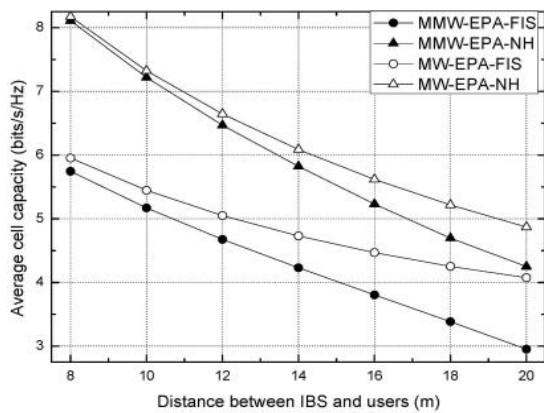


그림 3. 평균 셀 용량 vs. IBS와 사용자 간 거리  
Fig. 3 Average cell capacity vs. distance between IBS and users

그림 3은 IBS와 사용자 간의 거리에 대한 평균 셀 용량을 보여준다. 거리가 늘어날수록 셀 간 간섭이 심해지기 때문에 평균 셀 용량이 줄어드는 것을 볼 수 있다. NH 기반의 알고리즘의 경우 자기치유를 하지 않는 대신 데이터전송율을 최대화하기 위한 자원 할당을 하므로 제안 방안보다 높은 평균 셀 용량을 보인다. 하지만 사용자가 셀 가장자리로 이동할수록 제안 방안의 경우 고장 난 셀 안의 사용자를 잘 지원해 줄 수 있으므로 기존 방안에 비해 평균 셀 용량 개선 정도가 크다.

그림 4는 IBS와 사용자 간의 거리에 대한 사용자 공평성의 결과를 보여준다. MMW 기반의 알고리즘의 경우 MW 기반의 알고리즘에 비해 더 많은 사용자를 지원해 줄 수 있으므로 사용자 공평성 값이 더 크다. 또한, 거리가 늘어날수록 기존 방안의 경우 사용자 공평성 값이 떨어진다. 하지만 제안 방안의 경우 사용자가 셀 가장자리에 위치할수록 고장 난 셀의 사용자와 헬퍼 IBS

와의 채널 환경이 좋아지므로 자기치유를 받을 확률이 늘어난다. 그러므로 제안 방안은 거리가 늘어날수록 더 높은 사용자 공평성을 가지게 된다.

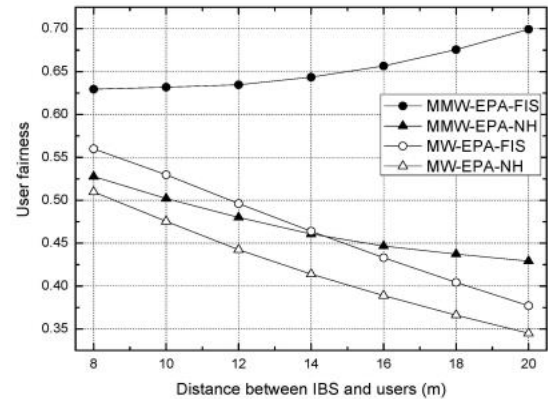


그림 4. 사용자 공평성 vs. IBS와 사용자 간 거리  
Fig. 4 User fairness vs. distance between IBS and users

## V. 결론

본 논문에서 사용자의 서비스 만족도를 높이기 위하여 IBS 결함이 발생하는 환경에서 이를 해결하기 위한 방안을 제안하였다. 기존의 자기치유 방안은 높은 구현 복잡도와 중앙집중적 동작을 요구한다는 문제점으로 인해 실제 시스템에 적용하기가 어려웠다. 이 한계점을 극복하기 위하여 우리는 자기치유를 위한 힐링채널 기반 새로운 프레임 구조와 EPA-FIS 알고리즘을 제안 하였다. 제안 알고리즘은 실제 시스템에서 실시간으로 구현 가능할 만큼 간단하며 효율적이다. 시뮬레이션을 통하여 제안 방안이 기존 방안 대비 평균 셀 용량 뿐만 아니라 사용자 공평성도 크게 향상시킬 수 있음을 보였다.

### 감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임(No. 2014R1A1A1008705)

## REFERENCES

- [1] D.-H. Lee et al, "Wireless broadband services and network management system in KT," *Int. Journal of Network Management*, vol.16, no.6, pp.429-442, Nov. 2006.
- [2] FP7. SOCRATES project. Available: <http://www.fp7-socrates.eu>, 2010/.
- [3] C. Wang and M. Schwartz, "Fault detection with multiple observers," *IEEE/ACM Tran. on Networking*, vol.1, no.1, pp.48-55, Feb. 1993.
- [4] T. Yamamura et al, "TMN-based customer network management for ATM networks," *IEEE Com. Mag.*, vol.35, no.10, pp.46-52, Oct. 1997.
- [5] M. Amirijoo et al, "Cell outage compensation in LTE networks: algorithms and performance assessment," *IEEE VTC*, pp. 1-5, May 2011.
- [6] D. Bai et al, "LTE-advanced modem design: challenges and perspectives," *IEEE Com. Mag.*, vol.50, no.2, pp. 178-186, Feb. 2012.
- [7] Z. Shen et al, "Adaptive resource allocation in multiuser OFDM systems with proportional fairness," *IEEE Trans. on Wireless Com.*, vol.4, no.6, pp.2726-2737, Nov. 2005.
- [8] J. Huang et al., "Distributed interference compensation for wireless networks," *IEEE JSAC*, vol.24, no.5, pp.1074-1084, May 2006.
- [9] IEEE 802.16m-08/004r2, "IEEE 802.16m evaluation methodology document (EMD)," *IEEE 802.16 BWA Working Group*, Jul. 2008.



**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



**이기송(Kisong Lee)**

2009년 KAIST 전기및전자공학과 석사  
2013년 KAIST 전기및전자공학과 박사  
2013년 ~ 현재 ETRI 융합기술연구소 연구원  
※관심분야 : Cognitive Radio, Femtocell Networks, Self-Organizing Networks 등