

사용자 서비스 품질 보장을 위한 근접-최적 셀 아웃티지 관리 기법

이기송¹ · 이호원^{2*}

NoCOM: Near-Optimal Cell Outage Management for Guaranteeing User QoS

Kisong Lee¹ · Howon Lee^{2*}

¹Department of Information and Telecommunication Engineering, Kunsan National University, Gunsan, 573-701, Korea

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

요 약

인도어 무선 통신 시스템에서 셀 아웃티지를 효율적으로 관리하기 위하여, 갑작스런 네트워크 결함을 신속하게 해결해야 한다. 본 논문에서는, 사용자들에게 끊임없는 서비스 제공을 위하여 근접-최적 셀 아웃티지 관리 (NoCOM: Near-Optimal Cell Outage Management) 기법을 제안한다. 시스템 용량, 사용자 공평성, 사용자 서비스 품질 보장을 동시에 고려하여, 제안 기법에서는 non-convex 최적화 문제를 기반으로 근접-최적 서브채널과 파워 해를 찾아 이를 사용자에게 반복적으로 할당한다. 시뮬레이션을 통하여 평균 셀 용량, 사용자 공평성, 계산 복잡도 관점에서 제안하는 기법의 우수성을 증명한다.

ABSTRACT

To manage cell outage problem in indoor wireless communication systems, we should resolve the problem of abrupt network failure quickly. In this paper, we propose a near-optimal cell outage management (NoCOM) scheme to support seamless services to users. In consideration of system throughput, user fairness, and the guarantee of QoS simultaneously, the NoCOM scheme finds the solution of subchannel and power allocations using a non-convex optimization technique and allocates radio resources to users iteratively. Through intensive simulations, we verify the outstanding performances of the proposed NoCOM scheme with respect to the average cell capacity, user fairness, and computational complexity.

키워드 : 무선네트워크 신뢰성, 셀 아웃티지 관리, 인도어 무선통신시스템, 사용자 서비스 품질

Key word : Wireless Network Reliability, Cell Outage Management, Indoor Wireless Communication Systems, User QoS

Received 01 March 2015, Revised 26 March 2015, Accepted 06 April 2015

* 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.2015.19.4.794>

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 사용자의 실질적인 서비스 만족도를 충족 시켜주기 위해 필수적으로 필요한 미래 무선통신 시스템의 핵심 요구사항들 중 하나이다[1,2]. 인도어 무선 통신 시스템에서 갑작스럽게 인도어 기지국 (Indoor Base-Station, IBS)에 고장이 발생하게 되면 사용자들은 더 이상 연속적인 서비스를 제공받을 수 없게 된다. 따라서 사용자의 서비스 품질 (Quality of Service, QoS)을 보장해 주기 위해서는 이러한 네트워크 결함 문제를 가능한 한 빠르게 해결하여 사용자들에게 지속적인 서비스를 제공할 수 있어야 한다. FP7 SOCRATES 프로젝트에서는 매크로 셀 네트워크에 적용이 가능한 중앙 집중 방식의 셀 아웃티지 관리 (cell outage management) 기법을 제안하였다. 본 방안에서는 전송 파워 조절, 안테나 틸트(tilt) 조정 등을 통하여 셀 아웃티지 문제를 해결하려 하지만, 시스템의 차이로 인하여 인도어 무선 통신 시스템에서 직접적으로 사용하기는 어렵다[3-5].

본 논문에서는, 셀 아웃티지 관리를 통해 모든 사용자의 QoS를 보장하는 근접-최적 셀 아웃티지 관리 (NoCOM: Near-Optimal Cell Outage Management) 기법을 제안한다. NoCOM 기법은 non-convex 최적화 (optimization)를 기반으로 서브채널과 파워 할당 근접-최적 해를 찾고 이를 토대로 서브채널과 파워를 사용자에게 반복적으로 (iteratively) 할당한다. 먼저, 서브채널 할당의 경우 사용자의 QoS를 고려하여, QoS를 만족하지 않는 사용자 그룹에게 우선적으로 서브채널을 할당한다. 파워를 할당함에 있어서도 정상 IBS는 다른 셀 안의 사용자에게 미치는 간섭의 크기를 줄임으로써 시스템 용량을 증가시킨다. 동시에 QoS를 만족하지 않는 사용자에게 할당된 서브채널에 대해서는 할당된 파워량을 늘려 해당 사용자의 QoS가 만족될 수 있도록 한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반의 인도어 시스템에서 갑작스런 IBS의 고장으로 인해 해당 IBS에 속한 사용자가 정상적인 서비스를 받지 못하는 상황을 고려한다.

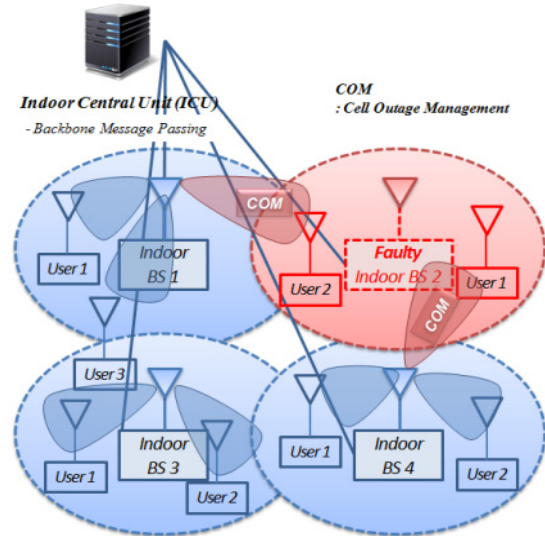


그림 1. 중앙 집중형 인도어 무선통신 시스템
Fig. 1 Centralized indoor wireless communication system

그림 1은 제안하는 중앙 집중형 인도어 무선통신 시스템을 보여준다. 정상 IBS에서는 각 서브채널의 채널 품질정보 (Channel Quality Information, CQI)를 정확하게 획득할 수 있으며, 각 서브채널은 한 사용자에 의해 서만 사용된다. 보통 인도어 환경에서는 사용자의 움직임이 느리므로, 채널의 CQI는 패킷 전송 시간동안 일정하다고 가정한다 [6]. 또한, IBS들은 인도어 중앙관리장치 (Indoor Central Unit, ICU)에 연결되어 있어, 백본망을 통해 간섭 채널 정보를 공유할 수 있다. 매크로 기지국 (Macro Base-Station, MBS)으로부터 오는 간섭은 주로 경로손실 (path loss)에 의해 결정되므로 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, C_s 는 각각 전체 서브채널 집합, 사용자 s에게 할당된 서브채널 집합.
- S, S_m, S_{M_f} 는 각각 전체 사용자들의 집합, 정상 IBS m 안에 속한 사용자들의 집합, 고장 난 IBS들 안에 속한 사용자들의 집합 ($S \triangleq S_1 \cup \dots \cup S_{M_f}, S_{M_f} \subset S$).
- r_{QoS} 는 사용자 QoS 보장을 위한 최소 데이터 전송률.

- $s(m, n)$ 는 IBS m 에 의해 서브채널 n 을 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 n 에 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 번째 서브채널 이득, IBS의 전체 전송 파워, AWGN 파워.

위의 표기법을 이용하여 IBS m 이 서브채널 n 을 사용자 s 에게 할당하여 서비스를 지원하는 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.

$$\gamma_{m,s}^{[n]} = \frac{p_m^{[n]} |h_{m,s}^{[n]}|^2}{\sigma^2 + \sum_{j \in M_{Nj} \neq m} p_j^{[n]} |h_{j,s}^{[n]}|^2} = \frac{p_m^{[n]} |h_{m,s}^{[n]}|^2}{\sigma^2 + I_{m,s}^{[n]}}. \quad (1)$$

수식 (1)에서 $I_{m,s}^{[n]}$ 는 IBS m 에 의해 서브채널 n 으로 서비스를 받는 사용자 s 가 받는 동일 서브채널을 사용하는 다른 IBS들로부터 오는 간섭의 합이다. 또한, 한 사용자는 여러 개의 서브채널을 할당받아 서비스를 받을 수 있으므로, IBS m 에 의해 서비스를 받는 사용자 s 의 총 전송률은 $R_{m,s} = \sum_{n \in C_s} r_{m,s}^{[n]}$ 으로 표현될 수 있다.

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

$$\begin{aligned} & \max_{s, p > 0} \sum_{m \in M_N} \sum_{s \in S} R_{m,s} \\ \text{subject to } & R_{m,s} \geq r_{QoS} \text{ for } m \in M_N, s \in S. \\ & \sum_{n \in N} p_m^{[n]} \leq p_{\max} \text{ for } m \in M_N. \end{aligned} \quad (2)$$

최적화 문제 (2)에서 첫번째 제약 조건은 모든 사용자의 QoS를 보장해 주기 위한 것이며, 두번째 제약 조건은 데이터 전송에 사용할 수 있는 파워는 허용된 최대값보다 작아야 함을 나타낸다. 하지만 최적화 문제 (2)는 non-convex 문제이므로 최적 해를 찾기가 어렵다. 그러므로 근접-최적의 해를 찾기 위해 반복 알고리즘에 기반한 셀 아웃티지 관리 기법을 제안한다.

III. 근접-최적 셀 아웃티지 관리 기법

근접-최적 셀 아웃티지 관리 기법은 다음과 같이 서브채널 할당과 파워 할당의 두 단계로 이루어져 있다.

3.1. 서브채널 할당

갑작스럽게 네트워크의 결함이 발생한 경우 고장 난 IBS는 ICU의 신호에 응답을 할 수 없으므로, ICU는 이를 감지하고 특정 셀이 고장 난 상황임을 정상 IBS들에게 알린다. 또한, 고장 난 IBS에 속한 사용자들은 주변의 정상 IBS들의 프리앰블이나 파일럿 신호를 감지하고, 주변의 정상 IBS들에게 자신의 현재 데이터 전송률과 채널 정보 등을 알려준다. 이러한 정보를 기반으로 정상 IBS들은 자신이 원래 서비스를 지원하던 정상 사용자뿐 아니라 고장 난 셀 안의 사용자를 포함한 사용자 그룹 중에서 r_{QoS} 이하의 데이터 전송률을 갖는 아웃티지 발생 사용자 그룹을 업데이트 한다. 그러므로 정상 IBS들은 아웃티지 발생 사용자 그룹을 기반으로, 이들에게 우선적으로 서브채널을 할당한다. 먼저, 정상 IBS는 아웃티지 발생 사용자 그룹에서 가장 좋은 데이터 전송률을 달성할 수 있는 최적의 사용자에게 각 서브채널을 할당을 한다. 고장난 셀 안의 사용자는 복수 개의 정상 IBS들에 대하여 최적의 사용자로 선택 될 수가 있는데, 이 경우 선택된 고장 난 셀 안의 사용자는 해당 서브채널에 대하여 정상 IBS들로부터 오는 신호의 세기를 측정하여 가장 큰 신호를 보내는 정상 IBS를 선택하여, 그 정상 IBS부터 서비스를 받는다. 만약 모든 사용자들이 QoS를 만족하여 아웃티지 발생 사용자 그룹이 비게 되는 경우에는, 전체 사용자 그룹 중에 가장 좋은 데이터 전송률을 달성할 수 있는 최적의 사용자에게 서브채널을 할당한다. 이와 같은 과정을 통해서 정상 IBS는 사용자의 QoS는 만족시키면서 동시에 시스템 용량을 최대화하도록 서브채널을 할당할 수 있다.

3.2. 파워 할당

각각의 정상 IBS는 서브채널이 할당 된 사용자 세트 \vec{s}^* 에 대하여 서브채널 별로 파워 할당을 수행한다. 근접-최적의 파워 할당량을 구하기 위해서는 다음과 같은 Lagrangian 함수를 고려하여야 한다.

$$\Lambda(\vec{s}, \vec{p}, \vec{\lambda}, \vec{\mu}) = \sum_{m \in M_N} \sum_{s \in S} R_{m,s} + \sum_{m \in M_N} \sum_{s \in S} \mu_{m,s} (R_{m,s} - r_{QoS}) + \sum_{m \in M_N} \lambda_m (p_{\max} - \sum_{n \in N} p_m^{[n]}). \quad (3)$$

여기서 $\vec{\lambda}$ 와 $\vec{\mu}$ 는 음수가 아닌 Lagrangian 계수의 집합이다. Lagrangian 함수 (3)을 $p_m^{[n]}$ 에 대해서 미분을 하여 구한 KKT (Karush-Kuhn-Tucker) 조건으로부터 다음과 같은 근접-최적의 파워 할당을 구할 수 있다.

$$p_m^{[n]} = \left\{ \frac{1 + \mu_{m,s(m,n)}}{\lambda_m \ln 2 + t_m^{[n]}} - \frac{\sigma^2 + I_{m,s(m,n)}^{[n]}}{|h_{m,s(m,n)}^{[n]}|^2} \right\}^+. \quad (4)$$

수식 (4)에서 $[x]^+ = \max(0, x)$ 이며, $t_m^{[n]}$ 은 정상 IBS m이 서브채널 n에 파워를 할당함으로써 해당 서브채널을 통해 다른 셀의 사용자들에게 미치는 간섭의 정도를 나타낸 것으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$t_m^{[n]} = \sum_{\substack{j \in M \\ j \neq m}} \frac{|h_{m,s(j,n)}^{[n]}|^2 \gamma_{j,s(j,n)}^{[n]}}{\sigma^2 + \sum_{l \in M_N} p_l^{[n]} |h_{l,s(j,n)}^{[n]}|^2}. \quad (5)$$

또한, $\vec{t} = (t^{[1]}, \dots, t^{[M]})$, $t^{[n]} = (t_1^{[n]}, \dots, t_M^{[n]})^T$ 로 정의될 수 있다. 수식 (4)에서 우변의 두 번째 항은 SINR의 역수이다. 서브채널에 할당되는 파워의 양은 이 항에 반비례하게 되므로, 정상 IBS m은 서브채널의 SINR이 높을수록 더 많은 양의 파워를 할당한다. 이와 동시에 정상 IBS m은 $t_m^{[n]}$ 항에서 자신이 다른 셀의 사용자에게 미치는 간섭을 고려한다. 정상 IBS m이 다른 셀에 간섭을 많이 미치는 경우 $t_m^{[n]}$ 의 값을 높여 해당 서브채널에 할당되는 파워를 줄임으로써, 간섭을 줄일 수 있다. 이를 통해 본인 셀의 용량은 줄어들 수 있지만, 간섭이 줄어들어서 다른 셀의 용량이 늘어나 결과적으로 시스템 용량이 커지게 된다. 또한, $\mu_{m,s(m,n)}$ 은 사용자의 QoS와 관련된 항이다. 만약 서브채널 n을 할당받은 사용자의 데이터 전송률이 r_{QoS} 보다 낮은 경우에는 $\mu_{m,s(m,n)}$ 의 크기를 늘려 해당 서브채널에 더 많은 파워를 할당한다. 이를 통해 사용자의 전송률을 r_{QoS} 에 맞출 수 있다.

할당된 파워 \vec{p} 를 기준으로, Lagrangian 계수는 양분 (bisection) 기법 혹은 기울기 (gradient) 알고리즘을 통해

업데이트 될 수 있다. 양분 기법은 Lagrangian 계수가 존재하는 구간을 반으로 나눈 후 실제 Lagrangian 계수가 존재하는 영역을 반복적으로 선택한다. 선택된 구간에서 KKT 조건이 만족하는지를 판별하고 KKT 조건이 만족하는 경우의 값을 Lagrangian 계수로 사용한다. 반면, 기울기 알고리즘에서는 다음과 같은 함수를 통해 매 주기마다 Lagrangian 계수가 업데이트되며, 현재 주기의 Lagrangian 계수와 이전 주기의 Lagrangian 계수의 차이가 일정 값 이하인 경우 업데이트를 멈춘다.

$$\begin{aligned} \mu_{m,s}(i) &= [\mu_{m,s}(i-1) - a_1(R_{m,s} - r_{QoS})] \\ \lambda_m(i) &= [\lambda_m(i-1) - a_2(p_{\max} - \sum_{n \in N} p_m^{[n]})]. \end{aligned} \quad (6)$$

제안하는 근접-최적 셀 아웃티지 관리 기법의 동작은 그림 2의 순서도에 정리되어 있다. 먼저, 정상 IBS는 $\vec{s}, \vec{p}, \vec{\lambda}, \vec{\mu}$ 를 초기화 한 후, 제안한 기법에 따라 서브 채널을 사용자에게 할당한다. 그 후 각 서브 채널마다 파워를 할당하고 Lagrangian 계수를 업데이트 한다. 서브 채널을 할당 받은 사용자에게 사용자 데이터 전송률이 r_{QoS} 를 만족하면 현 타임 슬롯에서의 자원 할당을 종료한다. 그 후 다시 모든 사용자에게 대해서 r_{QoS} 만족 여부를 확인한 후, r_{QoS} 를 만족하지 않는 사용자가 있으면 제안한 자원 할당 기법을 반복한다. 모든 사용자가 r_{QoS} 를 만족하는 경우 알고리즘은 종료한다.

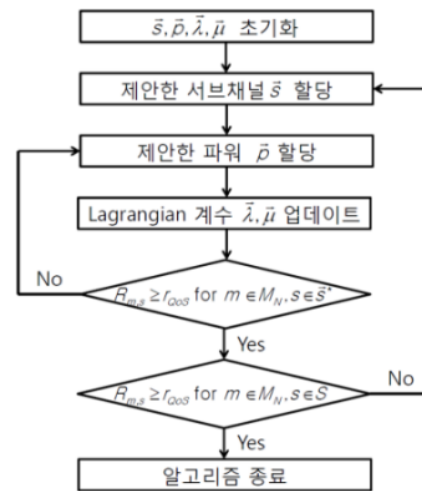


그림 2. 근접-최적 셀 아웃티지 관리 기법 동작 순서도
Fig. 2 Flow chart of operation procedure for NoCOM

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 빌딩 안에 10m의 반지름을 갖는 4개의 인도어 셀(M=4)을 가정하였다. 또한, 매트랩(MATLAB) 시뮬레이션에 사용된 각 파라미터들은 MF=1, N=32, B=10MHz, f=2.3GHz, N0=-174dBm/Hz, rQoS=0.1bits/s/Hz로 하였다. IBS와 MBS가 사용하는 전체 파워는 각각 15dBm과 43dBm이다. 경로손실 모델은 매크로 셀의 경우는 수정된 Okumura-Hata 모델 [7]을, 인도어 셀의 경우는 수정된 COST-231 다중벽 모델 [8]이 각각 사용되었다. 무선 채널은 레일리 페이딩에 기반한 주파수 플랫 채널을 가정하였으며, 각각의 서브채널은 오직 한명의 사용자에게 의해 사용된다. 제안 방안의 성능 평가를 위해서는 평균 셀 용량과 제인의 공평성 지표(Jain's fairness index)가 사용되었다[9]. 시뮬레이션을 통해 다음에 정의된 3가지 방안들에 대하여 성능을 비교하였다.

- 제안 방안 (NoCOM) : 본 논문에서 제안한 기법.
- 최적 방안 (Optimal) : 정상 IBS들은 완전탐색(exhaustive search)을 통해 가능한 모든 경우의 수를 고려하여 고장 난 셀의 사용자를 지원함.
- 기존 방안 (Conventional) : 정상 IBS는 제안하는 자원할당 기법을 통해 정상 셀의 사용자만을 이기적으로 지원함.

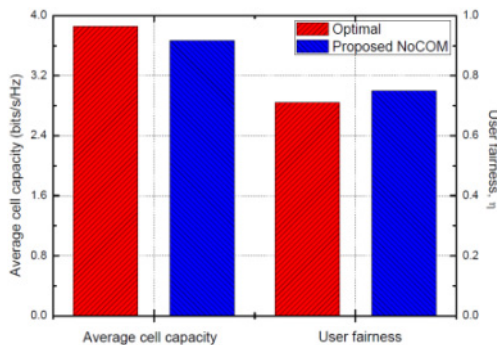


그림 3. NoCOM과 최적 방안 사이의 성능 비교
Fig. 3 Performance comparison between NoCOM and optimal scheme

그림 3은 제안 방안인 NoCOM과 최적 방안 사이의 성능 비교를 보여준다. 최적 방안을 구하기 위한 계산

복잡도는 M_N, N, S 에 대하여 기하급수적으로 늘어나므로 기존 환경에서는 해를 찾을 수가 없다. 그러므로 $M = 3, M_F = 1, N = 4, S_m = 2$ 인 간단한 환경에서 성능을 분석하였다. 최적 방안의 경우 시스템 용량 최대화라는 목적을 더 잘 수행하므로 제안 방안에 비해 더 높은 시스템 용량을 달성하지만, 그 차이는 10% 미만으로 크지 않다. 또한, 최적 방안의 경우 채널 환경이 좋은 사용자에게 자원을 집중적으로 할당하는 경향이 있어 사용자 사이의 데이터 전송률의 차이가 커지게 되고, 그로 인해 사용자 공평성은 제안 방안에 비해 떨어짐을 알 수 있다. 즉, 최적 방안의 경우 $O(I_r(S^{NM}I_p(MN\log_2 N)))$ 의 굉장히 큰 계산 복잡도를 갖지만 제안 방안의 계산 복잡도는 $O(I_r(SN+I_p(MN\log_2 N)))$ 으로써 상당량의 복잡도를 줄이면서 성능은 최적의 값에 근접함을 알 수 있다.

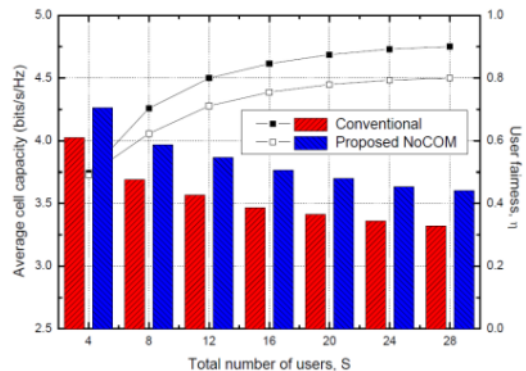


그림 4. 평균 셀 용량과 사용자 공평성 vs. 사용자 수
Fig. 4 Average cell capacity and user fairness vs. total number of users

그림 4는 전체 사용자 수에 대한 평균 셀 용량과 사용자 공평성을 보여준다. 제안 방안과 기존 방안 모두 사용자의 수가 늘어날수록 다중 사용자 다이버시티로 인해 평균 셀 용량이 늘어남을 확인할 수 있다. 반면, 사용자 사이의 데이터 전송률 차이는 심해져 사용자 공평성은 감소하게 된다. 기본적으로 고장 난 셀 사용자를 지원하지 않고 정상 셀의 사용자만을 이기적으로 지원하는 것이 시스템 용량 측면에서 최적이므로 기존 방안의 평균 셀 용량이 제안 방안에 비해 10%정도 더 높다. 하지만 기존 방안은 네트워크 결함을 해결하지 못하는 반면 제안 방안은 고장 난 셀의 사용자를 효율적으로 지원해줄 수 있으므로 사용자 공평성을 0.1이상 향상시킬

을 볼 수 있다. 그러므로 네트워크의 신뢰성 향상 측면에서 제안 방안은 큰 효과를 보인다.

V. 결 론

무선 네트워크의 신뢰성 보장을 위해서 본 논문에서는 갑작스런 네트워크 결함이 발생한 경우 이를 해결하기 위한 근접-최적 셀 아웃티지 관리 기법을 제안하였다. 제안 기법에서는 정상 사용자뿐 만 아니라 고장 난 셀 안의 사용자의 기본적인 서비스 품질을 보장해 주기 위해 각각의 정상 IBS는 non-convex 최적화를 기반으로 서브채널과 파워를 반복적으로 할당한다. 수학적 분석과 시뮬레이션을 통하여 제안 기법이 기존 방안 대비 셀 아웃티지 문제를 효율적으로 해결하여 사용자의 QoS를 안정적으로 보장할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

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

REFERENCES

- [1] A. Osseiran, et al., "Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 5, pp. 26-35, May 2014.
- [2] K. Lee, et al., "CoBRA: cooperative beamforming based resource allocation for self-healing in SON-based indoor mobile communication system," *IEEE Tran. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 11, pp. 5520-5528, Nov. 2013.
- [3] T. Kumer, 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] V. Chandrasekhar and J. Andrews, "Femtocell networks: a survey," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 9, pp. 59-67, Sep. 2008.
- [7] 3GPP, *Physical layer aspects of UTRA high speed downlink packet access*, Mar. 2001.
- [8] E. Damosso, et al., "Digital mobile radio towards future generation systems," Cost 231 Final Report, 1999.
- [9] R. Jain, et al., "A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer system," Technical Report 301, Digital Equipment Corporation, Sept. 1984.



이기승(Kisong Lee)

2009년 KAIST 전기및전자공학과 석사
 2013년 KAIST 전기및전자공학과 박사
 2013년 ~ 2015년 ETRI 융합기술연구소 연구원
 2015년 ~ 현재 국립군산대학교 정보통신공학과 조교수
 ※관심분야 : Internet of Things, 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