KIPS Trans. Comp. and Comm. Sys.
Vol.7, No.8 pp.203~210 pISSN: 2287-5891

https://doi.org/10.3745/KTCCS.2018.7.8.203

Incentive Optimization Scheme for Small Cell Base Station Cooperation in Heterogeneous Networks

Sukwon Jung† · Taejoon Kim††

ABSTRACT

Mobile traffic is increasing consistently, and mobile carriers are becoming more and more hard to meet this ever-increasing mobile traffic demand by means of additional installation of base stations. To overcome this problem, heterogeneous networks, which can reuse space and frequency by installing small cells such as femto cells in existing macro cells, were introduced. However, existing macro cell users are difficult to increase the spectral efficiency without the cooperation of femto owners. Femto owners are also reluctant to accommodate other mobile stations in their femto stations without proper incentive. In this paper, a method of obtaining the optimal incentive is proposed, which adopts a utility function based on the logarithm of throughput of mobile stations, and the incentive is calculated to maximize the utility of the entire network.

Keywords : Small Cell, Femto Cell, Incentive, Heterogeneous Network

이기종 네트워크에서 스몰셀 기지국 협력을 위한 인센티브 최적화 기법

정 석 원† · 김 태 준††

요 약

모바일 트래픽은 계속해서 폭발적으로 증가하고 있으며 이동통신 사업자들은 기지국의 추가 설치만으로 계속해서 증가하는 모바일 트래픽 요구량을 충족하는 것이 점점 어려워지고 있다. 이를 극복하기 위해 기존의 매크로 셀에 펨토셀과 같은 스몰 셀을 설치하여 공간 및 주파수의 재사용이 가능한 이기종 네트워크(Heterogeneous network) 개념이 도입되었다. 그러나 펨토 소유자의 협력 없이는 기존의 매크로셀 사용자가 펨토셀에 연결되어 전체 네트워크의 효율성을 증대시키기 어렵다. 펨토 소유자도 적절한 인센티브(incentive)를 받지 않고는 다른 단말들을 자신의 펨토 기지국에 수용할 필요성을 느끼지 못한다. 본 논문에서는 새로운 단말을 펨토 셀에 추가하기 위하여 펨토 소유자에 제시할 최적의 인센티브를 도출하는 방법을 제시한다. 단말의 전송률을 바탕으로 이득함수를 구성하였으며 네트워크 전체의 이득함수를 최대화 할 수 있는 인센티브를 계산한다.

키워드 : 스몰셀, 펨토셀, 인센티브, 이기종 네트워크

1. 서 론

모바일 트래픽의 요구량은 계속해서 증가하고 있으며 전 세계 모바일 트래픽 데이터는 Cisco의 VNI(visual network index) 보고에 따르면 2014년에서 2019년 사이에 거의 10배가 증가 할 것으로 예측되고 있다[1]. 기존에는 사용자가 증가하는 경우 셀의 크기를 줄이는 방식으로 모바일 트래픽 증가에 대응하였지만, 최근에는 트래픽의 과부하가 발생하는 지역의 셀 크기조절만으로는 과부하 문제를 해결하기 쉽지 않다. 그렇기 때문에 현재는 기존의 매크로 셀 이외에 두 종류 이상의 기지국을 혼용하는 HetNet (heterogeneous network)이라는 기법이 고려되고 있다.

HetNet은 매크로 셀 위에 스몰 셀 (마이크로 셀/피코 셀/펨토 셀)을 설치하여 기지국과 사용자 사이의 경로감쇄를 줄이고 통신용량을 증가시킬 수 있다[2]. 이 중에서도 펨토 셀은 수십 미터의 커버리지 범위를 갖는 저전력 저비용 기지국

※ 이 논문은 2017년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (NRF-2017R1D1A1B03032911)을 통하여 연구되었으며 2017년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원-임베디드 SW전문인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. N0001884).
† 비 회 원 : 충북대학교 정보통신공학과 석사
†† 종신회원 : 충북대학교 정보통신공학부 부교수
Manuscript Received : March 19, 2018
Accepted : June 7, 2018
* Corresponding Author : Taejoon Kim(ktjcc@chungbuk.ac.kr)

※ 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.

이며 높은 spatial reuse와 함께 광범위하게 배치가 가능하여 셀룰러 용량을 향상시킬 것으로 기대된다[3].

펨토 셀에 대한 access control mechanism은 3가지로 나눌 수 있다. 1) Closed access: 펨토 셀에 등록된 사용자만 네트워크에 연결해 사용 할 수 있다. 2) Open access: 모든 사용자가 네트워크를 사용 할 수 있다. 3) Hybrid access: 펨토 셀에 등록된 사용자뿐만 아니라 설정에 따라서 매크로 셀 유저도 제한된 resource를 사용 할 수 있다[4].

펨토 셀 근처에는 펨토 셀에 등록되지 않은 매크로 셀 유저나 새로 추가된 단말이 존재 할 수 있다. 이 경우 사용자는 매크로 셀보다 펨토 셀을 이용하는 것이 더 유리하다. 하지만 펨토 오너가 어떤 설정을 했느냐에 따라 펨토 셀을 사용할 수도 있고 사용하지 못 할 수도 있다. Hybrid access라면 매크로 셀 유저도 일부의 자원을 사용 할 수 있지만 펨토 오너는 적절한 보상이 없다면 hybrid access를 통하여 무선자원의 일부를 다른 사용자가 사용하도록 하지 않는다. 그런 이유로 hybrid access를 권장하기 위해서 최적의 incentive를 책정하여 펨토 오너에게 지급하는 연구가 진행되어져 왔다.

논문 [5]에서는 펨토 셀에서 hybrid access를 권장하기 위해서 양쪽 wireless service provider와 펨토 오너에 대한 유틸리티를 제시하고 Stackelberg game 이론을 사용해 wireless service provider가 추가적인 이익을 지불하는 새로운 incentive 체계를 제안한다. 논문 [6]에서는 매크로 셀 유저가 한 명 또는, 다수일 때 두 가지 시나리오에 대하여 경매 방식을 기반으로 한 프레임 워크를 제안하였으며 제안된 방식을 적용하였을 때 매크로셀 사용자에게 큰 성능 향상이 가능함을 보여줬다.

본 연구에서는 매크로 셀과 펨토 셀이 공존하고 있는 상황에서 새로운 단말이 추가가 되었을 경우를 고려한다. 이 단말이 펨토 셀 및 매크로 셀에 등록되는 각각의 경우에 대하여 최적의 인센티브를 구하고 이것을 바탕으로 최대이득을 달성할 수 있는 인센티브를 제시한다.

2. 시스템 모델

본 논문에서는 Fig. 1처럼 매크로 기지국, 펨토 기지국이 각각 1개씩 존재하는 경우를 고려한다. 각각의 기지국을 통하여 서비스를 받는 단말들이 존재하고 매크로 셀에 등록된 단말 M_i^{ma}, i = 1, 2, ... , m, 팸토셀 단말은M_j^{fe}, j = 1, 2, ... ,n 이라고 한다.

Fig. 2처럼 시간영역에서 일부 subframe을 펨토 셀에 전용으로 할당하여 매크로 셀로부터의 간섭을 회피하는 기술인 ABS(Almost Blank Subfram) 기술을 사용한다[7]. Fig. 3을 보면 LTE의 프레임 구조를 볼 수 있다. 한 frame에는 10개의 subframe이 있는데 매크로 셀이 N개를 사용한다면 펨토 셀에는 $10-N$개를 할당한다[8].

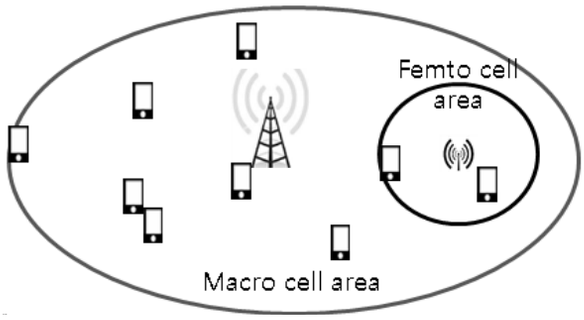

Fig. 1. Exemplary Heterogeneous Network with Femto Cell

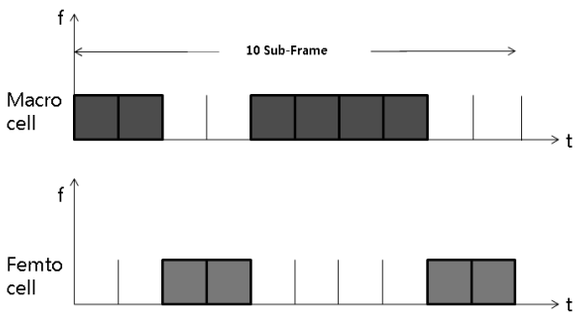

Fig. 2. Almost Blank Subframe

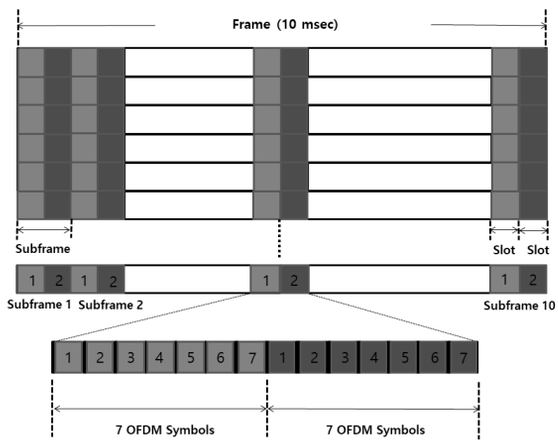

Fig. 3. LTE Frame Structure

각 단말의 SINR(signal to interference plus noise ratio)은 다음과 같이 계산 할 수 있다.

$$r_i^{ma} = \frac{P_i}{I_i + N_0},\ i = 1, 2, \ldots, m \tag{1}$$

$$r_j^{fe} = \frac{P_j}{I_j + N_0},\ j = 1, 2, \ldots, n \tag{2}$$

P_i, P_j는 각각의 매크로/팸토 기지국으로부터의 수신파워이고 I_i, I_j 는 간섭신호 파워, N_0은 백색잡음의 파워이다.

Table 1. MCS Level According to SINR[9]

Modulation	Coding rate	SINR(dB)
QPSK	1/2 (6x)	-7.5 < SINR
	1/2 (4x)	-5.5 < SINR
	1/2 (2x)	-2.0 < SINR
	1/2 (1x)	3.7 < SINR
	3/4	5.5 < SINR
16 QAM	1/2	7.7 < SINR
	3/4	11.6 < SINR
64 QAM	2/3	21.7 < SINR
	5/6	27.2 < SINR

매크로 및 펨토 기지국은 각각 자신에게 등록한 단말들에게 무선 자원을 동일하게 나눠 준다고 가정하였다. 단말에서의 평균의 수신 파워는 simplified path-loss 모델을 통하여 나타낼 수 있으며 instantaneous 수신파워는 지수분포를 따른다고 가정하였다. AMC(Adaptive modulation and coding)이 적용된다고 하고 MCS(modulation and coding scheme)-level과 각각에 해당하는 SINR 구간은 Table 1을 바탕으로 얻을 수 있다. 전체 MCS-level의 수를 S이라 할 때 단말의 MCS-level이 $l=1,\ldots,S$번째일 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{i,l}^{ma}=\int_{d_l}^{d_{l+1}}\lambda_i e^{-\lambda_i x}\,dx,\ i=1,2,\ldots,m \tag{3}$$

$$f_{j,l}^{fe}=\int_{d_l}^{d_l}\lambda_j e^{-\lambda_j x}\,dx,\ j=1,2,\ldots,n \tag{4}$$

여기서 λ_i와 λ_j는 단말에서의 평균 수신파워의 역수에 해당하며 구간 $[d_l, d_{l+1})$은 l-번째 MCS-level에 해당하는 수신파워구간이다. 매크로 기지국에 등록된 단말들의 전송률 T_i^{ma}, 펨토 기지국에 등록된 단말들의 전송률 T_j^{fe}는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_i^{ma}=\frac{n_{sc}\,n_{sym}N}{T_d\,n_{ma}}\sum_{l=1}^{S}\eta_l f_{i,l}^{ma}\ ,\ i=1,\ldots,m \tag{5}$$

$$T_j^{fe}=\frac{n_{sc}\,n_{sym}\,(N_A-N)}{T_d\,n_{fe}}\sum_{l=1}^{S}\eta_l\ f_{j,l}^{fe}\ \ ,\ j=1,\ldots,n \tag{6}$$

η_l는 SINR을 기반으로 한 spectral efficiency, n_{sc}는 subcarrier의 수, n_{sym}은 frame당 symbol 수. N은 매크로 기지국에 할당 된 ABS의 수, T_d는 frame duration, n_{ma}, n_{fe}는 각 기지국에 속한 단말 수이며 N_A는 1개 frame을 구성하는 subframe의 수이다. 인센티브를 구할 때는 유틸리티 함수를 이용하는데 이는 전송률에 1을 더한 후에 log를 취하고 상수 c를 곱하게 된다.

$$R_m^{ma}=\sum_{i=1}^{m}c\cdot\log(1+T_i^{ma}),\ \ i=1,2,\ldots,m \tag{7}$$

$$R_n^{fe}=\sum_{j=1}^{n}c\cdot\log(1+T_j^{fe}),\ \ j=1,2,\ldots,n \tag{8}$$

Equation (5), (6)의 전송률에서 로그함수를 취하는 경우 처리량이 매우 낮은 값에서 증가하는 경우 사용자의 체감 효용이 빠르게 증가하는 것을 반영할 수 있을 뿐만 아니라, 처리량이 어느 정도 이상 계속 증가하면 사용자가 느끼는 효용성이 포화되는 것을 반영할 수 있다. 추가적으로 전송률이 1보다 작을 때 음수 값이 되는 것을 방지하기 위해서 1을 더하였으나 이동통신 네트워크의 평균적인 처리량을 고려하였을 때 이런 보정이 성능분석에 미치는 영향은 무시할 수 있다.

3. 제안 기법

3.1 인센티브 최적화 기법

새로운 단말이 펨토 기지국 쪽으로 등록되는 것이 더 좋다고 판단되어 새로운 단말에 대한 인센티브를 지급할 경우 확률적인 기댓값을 통하여 이를 계산한다. 새로운 단말을 펨토 기지국이 수락했을 경우와 거절했을 경우 각각에 대한 인센티브 α, β는 다음과 같다.

$$\alpha=R_m^{ma}+R_{n+1}^{fe} \tag{9}$$

$$\beta=R_{m+1}^{ma}+R_n^{fe} \tag{10}$$

최대로 지급할 수 있는 인센티브를 $V_{\max}$라고 하고 인센티브 k를 펨토 오너에게 지급한다고 한다. 펨토기지국은 자신에게 미리 등록되어 있지 않은 단말도 인센티브를 받고서 수락할 수 있는데 이때의 수락 여부가 인센티브에 따른 확률로 표현할 수 있다고 가정하였다. 그리고 펨토 오너의 수락 확률이 인센티브에 따라 선형적으로 증가한다고 가정하면 인센티브 k를 제시하였을 때 수락할 확률이 $\frac{k}{V_{\max}}$, 거절할 확률은 $1-\frac{k}{V_{\max}}$이다. 매크로 기지국의 ABS가 N개이면 이 경우에 대한 전체 이득에 대한 기댓값은 다음과 같다.

$$U(N) = (\frac{k}{V_{\max}})(\alpha - k) + (1 - \frac{k}{V_{\max}})\beta \qquad (11)$$
$$= -\frac{1}{V_{\max}}k^2 + (\frac{k}{V_{\max}})(\alpha - \beta) + \beta$$

이는 concave한 2차 함수이므로 미분하여 전체 이득을 최대로 하는 인센티브 k^*를 얻을 수 있고 이는 다음과 같다.

$$k^*(N) = (\frac{1}{2})(\alpha - \beta) \qquad (12)$$

최대 이득을 구할 수 있는 k^*와 $V_{\max}$에 따라서 실제로 지급하는 최적의 인센티브는 달라지게 된다. 상황을 3가지로 나눌 수 있다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 (a)는 k^*가 $V_{\max}$보다 큰 경우, (b) k^*가 0과 $V_{\max}$의 사이에 있는 경우, (c) k^*가 0 이하인 경우 이렇게 나눌 수 있다.

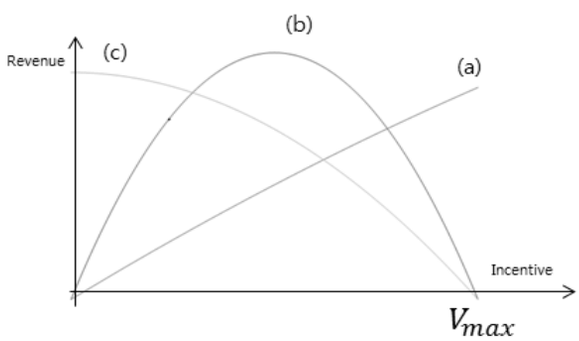

Fig. 4. k^* and $V_{\max}$

첫 번째로 (a) 경우를 살펴보면 k^*가 $V_{\max}$보다 크기 때문에 결국 $V_{\max}$가 최대 이득을 낼 수 있는 값이 된다. 그렇기 때문에 기댓값 식 E에다가 k대신에 $V_{\max}$를 넣어서

$$U_{\max}(N) = -V_{\max} + (\alpha - \beta) + \beta \qquad (13)$$

최대 $U_{\max}$를 얻을 수 있다. 두 번째 (b) 경우는 k^*을 인센티브로 지급할 때 가장 큰 이득을 낼 수 있다. 기댓값 식 $U(N)$에다가 k대신에 k^*를 넣어서

$$U_{\max}(N) = -\frac{1}{V_{\max}}k^{*2} + (\frac{k^*}{V_{\max}})(\alpha - \beta) + \beta \qquad (14)$$

최대 $U_{\max}$를 얻을 수 있다. 세 번째로 k^*가 $V_{\max}$의 크기보다 너무 작다면 결국 k^*는 0으로 수렴을 하게 되고 그림 (c)와 같은 감소가 되는 형태의 이득곡선을 가지게 될 것이다. 이 때는 인센티브를 지급하지 않는 것이 더 이득이다.

$$U_{\max}(N) = \beta \qquad (15)$$

3.2 ABS 조절

LTE 표준에서 1개의 frame이 10개의 subframe으로 구성되므로 1:9부터 9:1까지 매크로 셀과 펨토 셀에 할당하는 subframe의 비율을 다르게 할 수 있다. 어떤 비율일 때 가장 큰 이득을 얻는지에 대하여 그림 5에 나타내어 보았다. N^*는 매크로 기지국에 할당된 ABS frame의 개수 중 가장 큰 이득을 낼 수 있는 값이다. $k^{opt}(N)$는 N^*일 때 가장 큰 이득을 낼 수 있는 인센티브이며 $U_{\max}(N)$는 $k^{opt}(N)$을 지급하여 얻는 최대이득이다.

3.3 기지국 선택기법

새로운 단말이 매크로 기지국과 펨토 기지국 사이에서 어디에 등록이 되는가에 따라서 전체 성능이 달라질 수 있다.

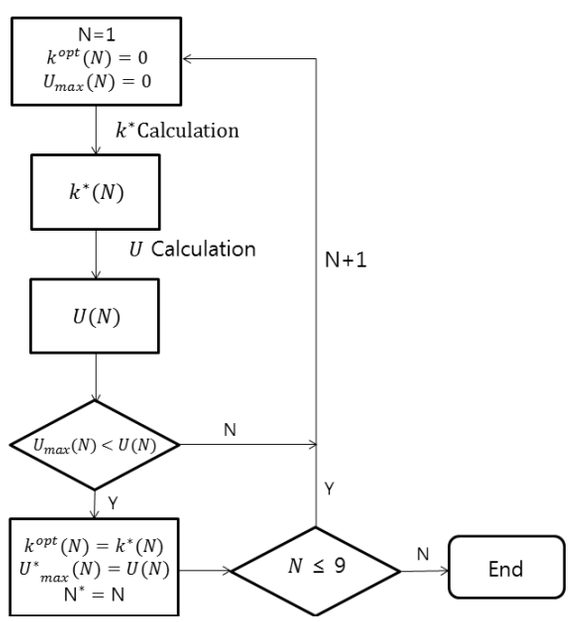

Fig. 5. ABS Control Flowchart

Table 2. System Parameters

Parameter	Values	
	Macro	Femto
Number of users	24	6
Tx power (dBm)	46	37
Noise spectral density (dBm/Hz)	-174	
Bandwidth	10MHz	
FFT size	1024	
Number of subcarrier	600	
Path-loss model	Simplified path-loss model	

매크로 기지국에 등록되거나 펨토 기지국에 등록되거나 모두 처리량이 향상될 수 있다. 그렇기 때문에 상대적으로 더 좋다고 판단이 되는 기지국으로 단말이 추가되는 것이 좋다. 이 때 최종적으로 구한 이득 값이 선택의 기준이 된다. $U_{\max}(N)$가 단말이 매크로 기지국으로 속했을 때 이득보다 더 크다면 k^{opt}를 펨토 오너에게 제시한다.

4. 성능분석

본 논문은 제안하는 기법의 성능을 검증하기 위해 매크로 셀과 스몰 셀로 구성되는 망에 대한 성능분석을 수행하였으며 이를 위한 시스템 파라미터는 Table 2와 같다.

매크로 셀 기지국과 사용자 사이, 스몰 셀 기지국과 사용자 사이의 경로 감쇄 모델은 simplified path-loss 모델[10]을 적용하였으며 각각 다음과 같다.

$$PL^{ma} = 128.1 + 37.6\log(d) \ \text{dB} \tag{16}$$

$$PL^{fe} = 140.7 + 36.7\log(d) \ \text{dB} \tag{17}$$

최적의 인센티브를 도출하기 위한 상수 c와 $V_{\max}$는 네트워크 및 사업자의 상황에 따라서 다르다. 그러므로 임의적으로 상수는 45,000, $V_{\max}$는 18,000으로 설정하였다.

Fig. 6처럼 배치가 되어있는 상태에서 검은 원은 매크로 기지국에 속한 단말이고, 빨간 원은 펨토 기지국에 속한 단말이다. Fig. 7은 새로운 단말을 배치한 상황으로 파란색 원이 새로 추가된 단말이다. 새로운 단말이 추가되는 상황에서 제시한 기법을 사용해서 이득을 구하였다. Fig. 8, 9는 각 단말의 처리량을 표시하고 있으며 파란색은 매크로 기지국에 속한 단말들이고 빨간색은 펨토 기지국에 속한 단말들이다. BS 및 MS는 각각 BS(base station)와 MS(mobile station)이다.

Fig. 8, 9에서 볼 수 있듯이 새로운 단말이 매크로보다는 펨토셀에 등록되는 경우 해당 단말의 처리량이 상대적으로 더 높다는 것을 확인할 수 있다. 펨토에 등록된 기존의 단말

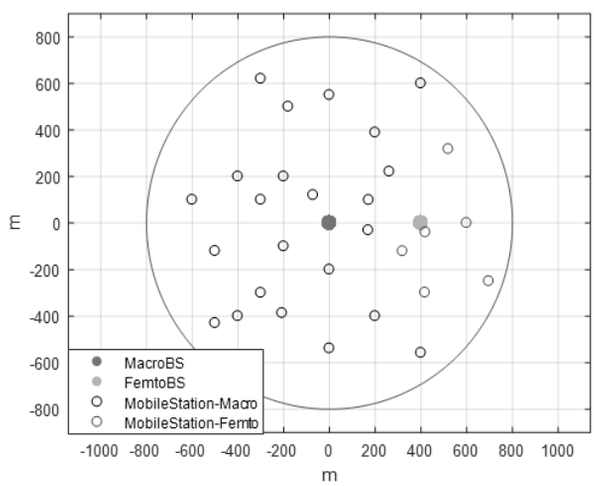

Fig. 6. Macro, Femto, and MS(Mobile Station)s Deployment

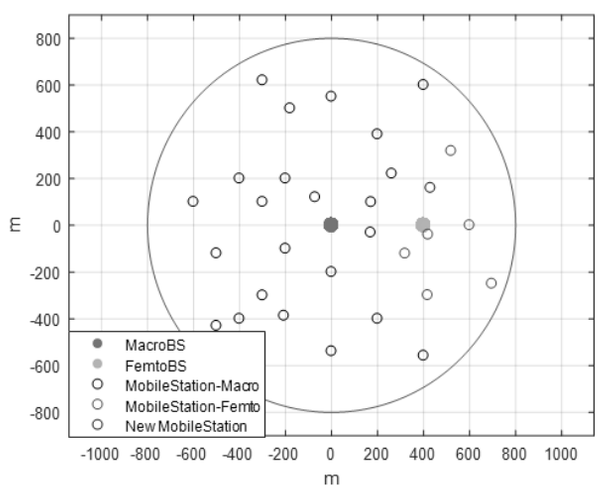

Fig. 7. A New MS Addition

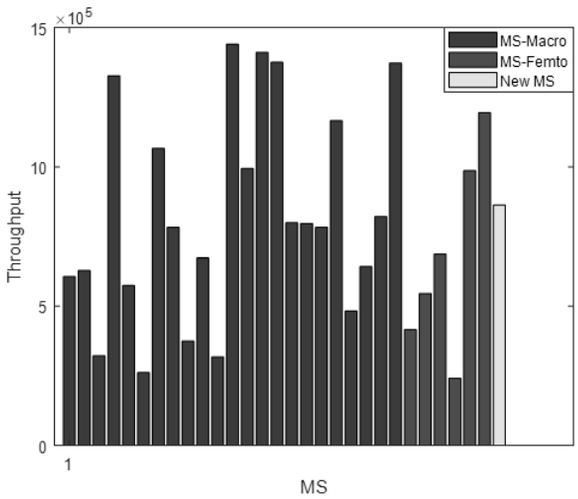

Fig. 8. Throughput When a New MS is Registered to Femto

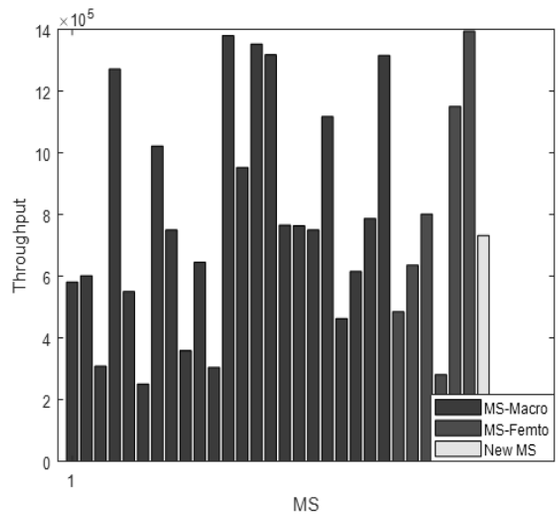

Fig. 9. Throughput When a New MS is Registered to Macro

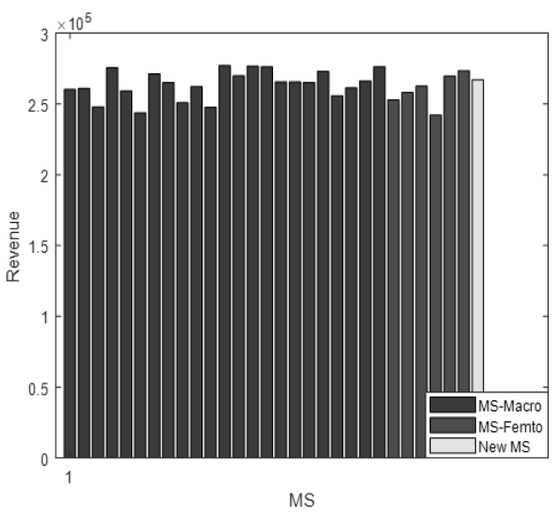

Fig. 10. Revenue with a New Femto Registered MS

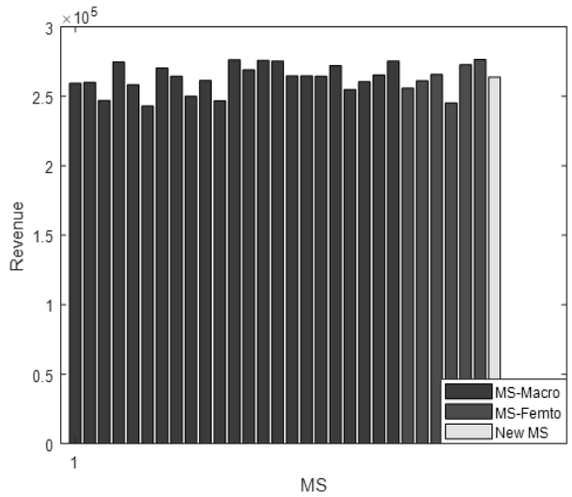

Fig. 11. Revenue with a New MS Registered to Macro

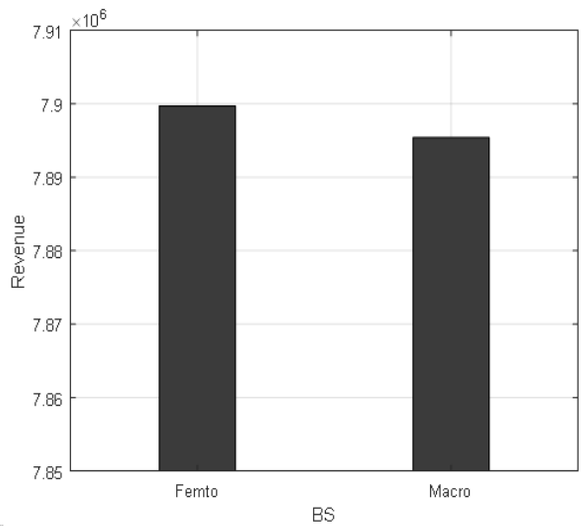

Fig. 12. Revenue Comparison with Two Cases

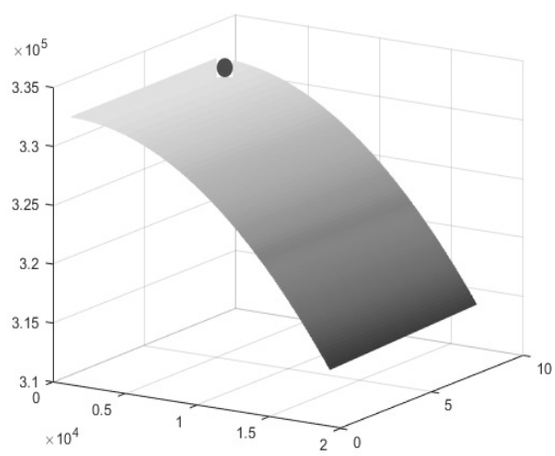

Fig. 13. Revenue with Different ABS and Incentives

들의 처리량은 새로운 단말이 펨토에 등록되는 경우 민감하게 바뀌는 것을 확인할 수 있었다. 이는 펨토가 사용하는 무선 자원이 상대적으로 제한되어 있기 때문이다.

Fig. 10, 11은 각 단말의 이득을 나타내고 있으며 파란색이 매크로 기지국에 속한 단말의 이득, 빨간색이 펨토 기지국에 속한 단말의 이득이다. 각각의 경우의 이득을 다 합한 것이 Fig. 12이고, 펨토 셀로 등록된 경우가 이득이 더 크게 나온 것을 볼 수 있었다. Fig. 8, 9의 처리량에 비하여 이득은 새로운 단말이 등록되는 경우에 따라서 크게 바뀌지 않는데, 이는 log 함수의 특성이 반영된 결과이다.

Fig. 13은 시뮬레이션을 통하여 모든 가능한 경우의 ABS 프레임의 수와 인센티브에 대하여 이득을 구하여 나타낸 그래프이다. 빨간 점은 가장 큰 이득이 나오는 부분이다. 시뮬레이션을 통하여 전체의 가능한 조합을 모두 테스트하여 얻은 값과 제안한 기법을 통하여 얻은 값들이 서로 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 제안한 기법이 효율적으로 최적의 인센티브와 ABS 프레임 할당값을 찾고 있음을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 펨토 셀 기반의 이기종 네트워크에서 펨토 오너에게 제시할 수 있는 최적의 인센티브를 얻는 기법을 제시하였다. 새로운 단말이 추가 될 때, 기대값에 기초하여 최적의 인센티브를 구하는 방법을 제시하였다. 해당 단말이 매크로 기지국 및 펨토에 등록하는 경우를 각각 고려하였고 log 유틸리티 기반의 효용함수를 통하여 서로의 이득을 비교하였다. 이를 바탕으로 최적의 인센티브를 도출할 수 있었다. 시뮬레이션을 통하여 제시한 기법의 최적 인센티브와 시뮬레이션을 통하여 얻은 인센티브가 서로 일치하는 것을 알 수 있었다. 제시한 기법을 바탕으로 펨토 오너의 적극적인 사용자 수용을 유도할 수 있으며 단말들은 펨토 기지국 접근을 통하여 더 높은 처리량을 기대할 수 있다. 매크로 사업자와 펨토 오너의 서로 이익 확대를 통하여 전체 네트워크의 이득을 최대화 할 수 있다. 향후에는 매크로셀에 여러 개의 펨토 셀이 존재하는 경우와 함께 단말들에 대한 무선자원 할당이 비대칭적인 경우에 대해서도 연구를 확대하고자 한다.

References

[1] Cisco. (Feb. 2016). “Cicso Visual Networking Index: Global mobile data traffic forecast update, 2015-2010,” White Paper. [Online]. Available: www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf

[2] A. Ghosh, R. Ratasuk, B. Mondal, N.Mangalvedhe, and T. Thomas, “LTE-advanced: Next-generation wireless broadband technology,” *IEEE Wirel. Commun.*, Vol.17, No.3, pp.10-22, Jun. 2010.

[3] V. Chandrasekhar, J. Andrews, and A. Gatherer, “Femtocell Network: a Survey,” *IEEE Communications Magazine*, Vol.46, No.8, pp.4316-4328, Aug. 2009.

[4] G. de la Roche, A. Valcarce, D. Lopez-Perez, and J. Zhang, “Access Control Mechanisms for Femtocells,” *IEEE Communications Magazine*, Vol.48, No.1, pp.33-39, Jan. 2010.

[5] Y. Qi and H. Wang, “Incentive Pricing Mechanism for Hybrid Access in Femtocell Networks,” *IEEE Communications Letters*, Vol.21, No.5, May 2017.

[6] S. Hua, X. Zhuo, and S. S. Panwar, “A Truthful Auction based Incentive Framework for Femtocell Access,” *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp.2271-2276, IEEE, 2013.

[7] S. M. Moon, B. R. Kim, D. J. Kim, and I. T. Hwang, “Interference management with cell selecting using cell range expansion and ABS in heterogeneous network based on LTEAdvanced,” *KIEE '13-08*, Vol.50, No.8, pp.1967-1972, 2013.

[8] 3GPP TS 36.211 version 10.0.0 “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Physical channels and modulation,” Technical Specification 3GPP, Jan. 2011.

[9] B. Bae, B. Shin, and D. Hong, “A Decesion scheme of amount of required resources for adaptive resource reuse in wireless multi-hop systems,” *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.34, No.3A, pp.229-234, Feb. 2009.

[10] 3GPP TR 36.942 version 9.0.1 “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios,” Technical Report 3GPP Apr. 2010.

정 석 원

https://orcid.org/0000-0001-9055-686X

e-mail : jungsw1015@chungbuk.ac.kr

2016년 충북대학교 정보통신공학부(학사)

2016년~현 재 충북대학교 정보통신공학과(석사)

관심분야 : HetNet, 스몰셀

김 태 준

https://orcid.org/0000-0001-6326-2559

e-mail : ktjcc@chungbuk.ac.kr

2003년 연세대학교 전자공학과(학사)

2011년 한국과학기술원

전기전자공학과(박사)

2011년~2013년 한국전자통신연구원

2013년~현 재 충북대학교 정보통신공학부 부교수

관심분야 : 센서 네트워크, 이동형 릴레이 시스템