

Macrocell Femtocell 오버레이 네트워크에서 Femtocell AP를 위한 수익 극대화 기법 연구

이주화, Do The Cuong, 홍충선*, 이성원
경희대학교 컴퓨터공학과
{zidarn, dtcuong, cshong, drsungwon}@khu.ac.kr

Revenue Maximization Scheme Research for Femtocell AP in Macrocell Femtocell Overlay Network

Jooхва Lee, Do The Cuong, Choong Seon Hong* and Sungwon Lee
Department. of Computer Engineering, Kyung Hee University

요 약

본 논문은 Macrocell Femtocell 오버레이 네트워크에서 FEU(Femtocell End Users)가 최적의 다운링크 속도를 설정하여 FAP(Femtocell Access Point)의 수익을 극대화하는 프레임 워크를 제안한다. FAP는 수익을 극대화하기 위해, FEU가 높은 다운링크 속도로 설정되기를 원한다. 하지만 MEU(Macrocell End Users)에 대한 FAP 다운링크의 강한 간섭은 MUE의 서비스 품질(QoS)을 저하시킬 수 있다. 따라서 간섭은 MBS(Macrocell Base Station)에 transit-price로 책정된 패널티에 의해 지불되어야 한다. 본 논문에서는 수익 극대화 문제는 convex 문제이고, convex 최적화 방법으로 해결될 수 있음을 보여준다. 마지막으로 수치 해석을 이용하여 이 문제의 유효성을 검사한다.

1. 서 론

가정용 초소형 통신 기지국이라 불리는 femtocell은 주거용 디지털 가입자 회선(DSL) 혹은 광대역 케이블 연결을 사용해 표준 모바일 장치와 이동 통신 사업자 네트워크를 연결해 주는 저전력 무선 액세스 포인트이다[1].

Femtocell은 ISP(인터넷 서비스 공급자)와 연결되는 초소형 기지국처럼 여겨지는 액세스 포인트이다. FEU(Femtocell End Users)는 FAP(Femtocell Access Point)를 통해 MBS(Macrocell Base Station)로부터 데이터를 송수신한다. 이러한 이유로 QoS 뿐만 아니라 채널 이용도 증가될 수 있다. 또한 femtocell의 짧은 통신 반경으로 인해 femtocell은 전송 전력을 크게 낮추고, FEU의 배터리 수명을 연장하고, 더 높은 데이터 속도를 달성할 수 있다. 저렴한 비용으로 FEU를 유치하기 위해서 femtocell에 대한 요구는 급격히 증가할 것이다. 그리고 ABI Research는 femtocell의 많은 배포가 이루어질 것이라고 예측하고 있다[2].

하지만 femtocell 네트워크에서 해결되어야 할 많은 문제점들이 있다. Femtocell의 이슈가 되는 것 중의 하나는 FEU를 위한 최적의 다운링크 데이터 속도를 정의하는 것이다. 높은 다운링크 데이터 속도를 위해 FEU는 높은 수익을 얻을 수 있는 FAP를 확보한다. 그러나 FAP는 또

한 데이터를 전송하기 위해 더 많은 전력을 사용할 필요가 있고, 이 전력은 femtocell로부터 가까운 MUE(Macrocell End Users)에 간섭을 발생시킨다. 따라서 MEU의 QoS를 유지하기 위해 FEU에 대한 다운링크 데이터 속도는 충분히 작아야 한다.

한편, 다운링크 전력 조절과 간섭 완화는 표준 기관과 문헌에서 고려되어 왔다[3][4]. 그러나 최근 대부분의 연구는 FEU의 분석 프레임 워크 및 세부 다운링크 데이터 속도에 관한 연구보다는 여러 개의 macrocell에서의 간섭 완화[5] 혹은 femtocell의 동적인 다운링크 전력의 범위를 결정하는데 초점을 두고 있다.

본 논문에서는 FEU에 대한 최적의 다운링크 데이터 속도를 결정하는 새로운 프레임워크를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템 모델을 소개하고, 3장에서는 femtocell users을 위한 최적화 방법으로 수익 극대화 문제의 방안을 제시한다. 그리고 4장에서는 수치 결과를 분석한 뒤, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델

본 논문에서는 하나의 중앙 macrocell과 하나의 femtocell로 구성된 시스템 모델을 가정한다. MBS(Macrocell Base Station)와 FAP(Femtocell Access Point)는 같은 주파수 대역을 공유하고 있다. 두 가지의 femtocell 접근을 위한 정책이 있는데, 하나는 open access이고, 다른 하나는 closed access이다[1]. Open Access 네트워크에서 FAP는 해당 FAP와 가까이 있고, 등록을 요구하지 않으

본 연구는 미래부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음. * Dr. CS Hong is the corresponding author.

며, 모든 사용자에게 서비스를 제공한다. 반면에 closed access 네트워크에서 FAP는 등록된 FEU에게만 서비스를 제공하기 때문에 FEU가 FAP로부터 서비스를 제공받기 위해서는 등록이 필요하다.

본 논문은 커버리지가 반경 d인 closed access femto-cell 네트워크를 고려한다. MBS와 FAP의 거리는 그림 1에서 보는 것과 같이 D이다. D는 d보다 훨씬 크다고 가정하고, MBS와 MEU 혹은 FEU와의 거리 또한 D라고 가정한다. Femtocell은 소규모 지역을 커버리지로 갖기 때문에 FAP와 FEU의 거리가 거의 같다고 가정한다. Femtocell의 커버리지에 N개(N≤4)의 FEU가 존재한다. FEU는 각각 고유한 채널 이득을 갖기 때문에 다른 전송 속도를 가지고 있다[6]. 하지만 소규모의 femtocell에 있는 FEU들은 같은 용량을 공유한다고 가정한다. FEU의 수신하는 다운링크 데이터 속도는 (1)과 같이 표현된다.

$$r = B \log_2 \left(1 + \frac{g_{ff} P_f}{g_{mf} P_m + I} \right), \quad (1)$$

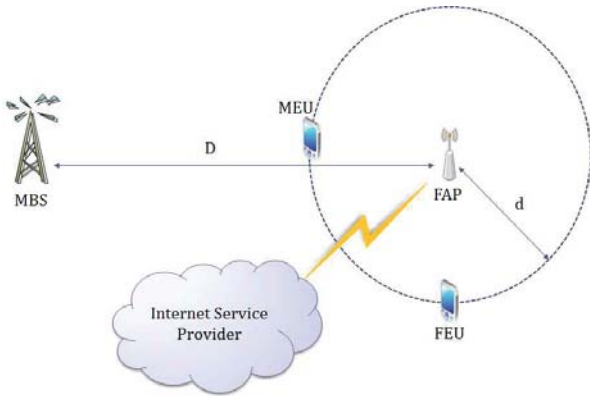


그림 1 시스템 모델

B는 채널 대역폭을 의미하고, g_{ff} 와 g_{mf} 는 각각 FAP와 FEU, MBS와 FEU의 채널 이득을 나타낸다. I는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)라고 가정된 백그라운드 잡음이다. P_f 는 FAP의 전송 전력이고, P_m 은 MBS의 전송 전력이다. P_f 는 (2)와 같이 표현된다.

$$P_f = \frac{2^{r/B} - 1}{\beta}, \quad (2)$$

β 는 $\frac{g_{ff}}{g_{mf} P_m + I}$ 이다. FAP로부터의 주어진 전송 때문에 가까운 FAP의 커버리지 지역의 MEU의 SINR은 (3)과 같다.

$$SINR_m = \frac{g_{mm} P_m}{g_{fm} P_f + I}, \quad (3)$$

g_{fm} 은 FAP와 MEU 사이의 채널 이득이다. 그 결과로 MEU의 달성할 수 있는 데이터 속도는 줄어든 것이다.



그림 2 FAP

경제학적인 관점에서 FAP는 수익을 극대화하기를 원한다. 그림 2에서 보는 것처럼 FEU는 네트워크 접근을 위해 FAP에 이용-금액 h_f 를 부과한다. 그러나 ISP는 백홀 네트워크로써 FAP에 접근 서비스를 제공한다. 그래서 FAP는 ISP에 이용-금액 h_I 를 부과한다. FAP에게 이용-금액 h_f 를 부과하는 FEU의 망의 수익은 (4)와 같이 표현한다.

$$\Theta(r) = u_f(r) - h_f r, \quad (4)$$

r은 FEU의 다운링크 속도를 나타낸다. 유틸리티 함수의 일반적인 예는 $u_f(r) = \sigma_f \frac{1}{1 - \alpha_f} r^{1 - \alpha_f}$, $0 < \alpha_f < 1$ 이다[7][8]. 여기에서 α_f 는 FEU의 이용 수준을 나타낸다. 예를 들어 α_f 는 수신하는 데이터의 콘텐츠 인기도를 나타낸다. FEU들은 망의 수익 $\Theta(r)$ 가 음수가 아니면 FAP로부터 서비스를 이용할 수 있다. 하지만 FAP가 MBS의 전송 인터페이스이기 때문에 가까운 MEU의 QoS를 보장하기를 원한다. 주어진 타겟이 되는 SINR 값 γ^{tar} 으로 (5)와 같이 전력 제약을 갖는다.

$$\frac{g_{mm} P_m}{g_{fm} P_f + I} \geq \gamma^{tar}, \quad (5)$$

FAP의 수익은 (6)과 같다.

$$R(r) = (h_f - h_I) r, \quad (6)$$

FAP의 수익 극대화 문제(RMP: Revenue Maximization Problem)는 (7)과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} & \text{maximize} && R(r) \\ & \text{subject to} && r \geq 0 \\ & && -u_f(r) + h_f r \leq 0, \\ & && g_{fm} \frac{2^{r/B} - 1}{\beta} \leq \frac{g_{mm} P_m}{\gamma^{tar}} - I, \end{aligned} \quad (7)$$

RMP는 convex 문제이다[9]. 따라서 최적의 다운링크 데이터 속도 r^* 는 표준 검색 기술을 사용하여 효율적인 방법으로 수치로 알아낼 수 있다[9][10].

표 1 수치 파라미터

파라미터	값
P_m	40 dBm
I	10^{-14}
D	5000 m
d	10 m
L	1
α_1	3.7
α_2	4.0
h_f	$2 * 10^{-5}$
h_I	10^{-5}
γ^{tar}	10 dBm
α_f	0.5
σ_f	0.1
B	30 KHz

3. 다운링크 데이터 속도 조절

4. 평가

수치 파라미터는 표 1에 주어진다. 수신되는 전력은 오직 송신된 전력이고, 경로손실(반사, 산란)은 생략한다. 따라서 채널 이득은 간단한 경로 손실 모델인, $g_{mf} = g_{mm} = LD^{-\alpha_1}$, $g_{ff} = g_{ff} = LD^{-\alpha_2}$ 를 사용하여 정의한다. 여기에서 L은 상수이고, α_1 은 MBS로부터의 경로 손실 요소이고, α_2 는 FAP로부터의 경로 손실 요소이다. MBS의 안테나 높이는 보통 FAP의 안테나 높이보다 훨씬 높기 때문에 MBS로부터의 경로손실 요소(α_1)가 FAP로부터의 경로손실 요소(α_2)보다 더 작다고 가정한다. P_m 은 일반적으로 40dBm의 송신 전력을 가진다. 이는 MEU의 다운링크 속도가 Shannon의 공식에 의해 $B \log_2(1 + \frac{g_{mf} P_m}{I}) = 41.3$ kpbs라는 것을 추론할 수 있다. RMP를 해결함으로써 P_f^* 가 -36.8dBm을 가지며, FEU의 최적의 다운링크 속도는 $r^* = 197$ kbps를 갖는다. 그러므로 femtocell은 저전력을 사용하고, 소규모의 커버리지 지역을 갖기 때문에 macrocell보다 높은 다운링크 데이터 속도를 가질 수 있다. 최적의 다운링크 속도에서 최적의 수익 $R(r^*)$ 은 1.97을 갖는다. FAP에 지불된 FEU의 비용은 3.95이고, FAP가 ISP와 공유하는 양은 1.97이다. 이러한 결과는 FAP, ISP와 MEU 사이에 공유하는 이상적인 수익이라는 것을 보여준다.

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 macrocell femtocell 오버레이 시스템의 다운링크 데이터 속도 제어에 관해서 알아보았다. 가까운 MEU에 대한 FAP의 간섭 때문에 FEU의 다운링크 속도는 고려되어야 한다. 본 논문은 FAP, ISP와 MEU 사이의 수익의 균형을 위해 새로운 프레임 워크를 제안하였다. 그리고 본 논문의 문제에 관한 분석을 증명하기 위해 수치 해석을 이용하였다.

향후에는 FAP, MBS와 FEU 사이를 관계를 고려하여 FEU의 전송 속도를 최적화할 수 있도록 연구할 것이다.

참고 문헌

[1] Chandrasekhar, Vikram, Jeffrey Andrews, and Alan Gatherer. "Femtocell networks: a survey," Communications Magazine, IEEE 46.9 (2008): 59-67.
 [2] S. Carlaw, and C. Wheelock, "Femtocell market challenges and opportunities", ABI research, research report, 2007.
 [3] 3GPP TR 25.820, "3G Home NodeB Study Item Technical Report (Release8)", v8.1.0.
 [4] Li, Xiangfang, Lijun Qian, and Deepak Kataria, "Downlink power control in co-channel macrocell femtocell overlay.", Information Sciences and

Systems, 2009. CISS 2009. 43rd Annual Conference on. IEEE, 2009.
 [5] L. Venturino, N. Prasad, and X. Wang, Coordinated Scheduling and Power Allocation in Downlink Multicell OFDMA Networks. IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 58, no. 6, pp. 2835 - 2848, Jul. 2009.
 [6] Hong, Eun Jin, Se Young Yun, and Dong-Ho Cho. "Decentralized power control scheme in femtocell networks: A game theoretic approach." Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2009 IEEE 20th International Symposium on. IEEE, 2009.
 [7] Hande, Prashanth, et al. "Network pricing and rate allocation with content provider participation." INFOCOM 2009, IEEE. IEEE, 2009.
 [8] Wu, Yuan, et al. "Revenue sharing among ISPs in two-sided markets." INFOCOM, 2011 Proceedings IEEE. IEEE, 2011.
 [9] S. Boyd, L. Vandenberghe, Convex Optimization. Cambridge University Press, 2004.
 [10] S. H. Strogatz. Nonlinear dynamics and chaos. Addison-Wesley, 1994.