
데이터 오프로딩을 위한 WCDMA 기반 펌토셀의 커버리지 분석

반태원* · 정방철**

Coverage Analysis of WCDMA-based Femto Cells for Data Offloading

Tae Won Ban* · Bang Chul Jung**

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아
수행된 기초연구 사업임(No.2010-0011140)

요 약

고성능 스마트폰이 본격 보급되면서 폭발적으로 증가하고 있는 데이터 트래픽을 효과적으로 수용하기 위한 해법들에 대한 관심이 높아지고 있다. 이동통신용으로 활용할 수 있는 주파수에 제한이 있기 때문에, 최근에는 동일 주파수를 사용하면서 추가적으로 용량을 확보할 수 있는 펌토셀에 대한 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 기존 매크로 신호가 존재하는 환경에서 데이터 오프로딩을 위하여 펌토셀을 구축할 경우를 가정하여, 펌토셀의 커버리지를 수학적으로 분석하였다. 분석 결과, 펌토셀의 출력이 증가할수록 그리고 파일럿 채널에 할당하는 전력의 비율이 높아질수록 펌토셀의 커버리지가 증가하지만, 매크로 기지국 신호가 강한 트래픽 밀집 지역에서는 펌토셀의 커버리지가 매우 제한적임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Recently, solutions to accommodate explosively growing mobile data traffic have attracted intensive attentions since the emergence of high-performance smartphones. Spectrum which can be exploited for mobile communications is very limited. Thus, femto cell is considered as an alternative because it can efficiently offload mobile data traffic from macro cells without using additional spectrum. In this paper, we mathematically analyzed the coverage of femto cell when it is deployed in an area where there exists signals from existing macro base stations. Our numerical results indicate that the coverage of femto cell increases as the total power of femto cell increases or the ratio of power allocated to pilot channel increases. However, it is also shown that the coverage of femto cell is very limited despite its high power when interference signals from macro base stations are strong.

키워드

WCDMA, 펌토셀, 스몰셀, 커버리지

Key word

WCDMA, Femto Cell, Small Cell, Coverage

* 종신회원 : 경상대학교 정보통신공학과 교수, 해양산업연구소

접수일자 : 2012. 10. 09

** 종신회원 : 경상대학교 정보통신공학과 교수, 해양산업연구소 (교신저자)

심사완료일자 : 2012. 11. 21

I. 서 론

최근 몇 년 사이에, 고성능 스마트폰의 등장으로 인하여 데이터 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있으며 [1, 2], 2015년 경에는 모바일 데이터 트래픽이 유선 데이터 트래픽을 추월할 것으로 예상된다 [3]. 반면에, 이동통신용으로 활용가능한 주파수 자원은 제한되어 있다. 따라서, 제한된 주파수 자원을 활용하여 이렇게 폭발적으로 증가하고 있는 모바일 데이터 트래픽을 원활히 수용하기 위해서는 스톨셀을 적극적으로 도입하여 셀당 처리하는 트래픽 양을 낮추어야 한다. 이러한 노력의 일환으로, 최근에 펌토셀 (Femto Cell)에 대한 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다 [3]. 펌토셀은 기존의 매크로 기지국과 달리 디지털 처리부, RF (Radio Frequency) 처리부, 그리고 안테나가 모두 통합되어 있는 초소형의 소출력 기지국이다. 또한, 초고속 인터넷 망을 통하여 코어 네트워크와 연결되므로, 설치가 용이한 장점이 있다. 이러한 장점에도 불구하고, 매크로 기지국에서 펌토셀로의 핸드오버의 제약으로 인해 [4] 매크로 신호가 도달하지 않는 음영 지역에 한하여 제한적으로 활용되어 왔다. 그러나, 최근에는 이러한 핸드오버 문제가 해결되면서 [5], 트래픽이 밀집되는 지역에서 데이터 오프로딩 용도로 사용하고자 하는 노력들이 더욱 활발히 진행되고 있다 [3]. 그러나, 펌토셀을 음영 지역이 아닌 매크로 신호가 존재하는 지역에 설치할 경우 펌토셀의 커버리지가 펌토셀의 출력뿐만 아니라, 주변 매크로 기지국 신호 환경에 따라서 영향을 받게 된다.

따라서, 본 논문에서는 기존 매크로 신호가 존재하는 트래픽 밀집 지역에 데이터 오프로딩 목적으로 펌토셀을 구축하는 실질적인 시나리오를 고려하여 다양한 환경에서 펌토셀의 커버리지를 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템 모델을 간략히 설명하고, 펌토셀의 커버리지를 분석한다. III장에서는 성능 평가 결과를 제시하고, IV장에서 본 논문을 마무리 한다.

II. 시스템 모델 및 커버리지 분석

본 논문에서는 그림 1과 같이 Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) 기반 매크로셀로 서비스되고

있던 지역에서 데이터 오프로딩을 위하여 펌토셀이 추가로 설치되는 시나리오를 가정한다. 이렇게 기존 매크로 신호가 존재하는 환경에서 데이터 오프로딩을 위하여 펌토셀을 추가적으로 설치할 경우, 펌토셀로 인하여 매크로 기지국 신호도 영향을 받을 뿐만 아니라, 매크로 기지국에 의하여 펌토 신호도 영향을 받게 된다.

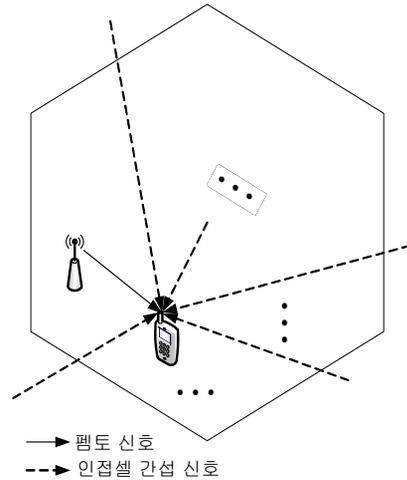


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1 System Model

먼저, 펌토셀이 설치되기 전에 단말이 서비스 받고 있는 매크로셀 파일럿 채널의 E_c/I_o 는 다음과 같이 정의된다.

$$\left(\frac{E_c}{I_o} \right)_{macro} = \frac{RSCP_{macro}}{N_o + RSSI_{macro}} \quad (1)$$

여기서, $RSCP_{macro}$ 는 현재 단말이 서비스 받고 있는 매크로셀 파일럿 채널의 칩 전력 (Received Signal Chip Power), $RSSI_{macro}$ 는 전체 매크로셀 수신 신호 세기 (Received Signal Strength Indication), N_o 는 열잡음을 나타낸다. 단말의 정확한 위치에 따라서 매크로 셀의 E_c/I_o 값은 다르게 나타나지만, 펌토셀의 커버리지가 매크로셀 대비 매우 작은 점을 고려하여 펌토셀 커버리지 내에서 동일한 것으로 가정하였다.

특정 지점에 펌토가 설치될 경우, 매크로 기지국에 접속해 있는 단말들에게는 펌토 신호가 간섭으로 작용

하므로, 단말에서 측정되는 매크로셀 파일럿 채널의 품질은 저하되며, 열화된 E_c/I_o 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\left(\frac{E_c}{I_o}\right)_{macro}(r) = \frac{RSSCP_{macro}}{N_o + RSSI_{macro} + \frac{P}{PL(r)}} \quad (2)$$

여기서, P 는 펠토셀의 전체 전송 전력을 나타내며, r 은 펠토셀과 단말간의 거리이며, $PL(r)$ 은 송신기와 수신기의 이격 거리가 r 일때의 경로 손실 값을 나타낸다. 최악의 경우를 반영하기 위하여, 펠토셀을 항상 최대 전송 전력으로 송신함을 가정하였다. 펠토셀이 대부분 옥내에 설치되는 점을 고려하여, 다음과 같은 ITU-R (International Telecommunication Union-Radio)의 인도어 (In-door)용 경로 손실 모델을 고려한다[6].

$$PL_{dB}(r) = 20\log_{10}f_c[\text{MHz}] + 10n\log_{10}r[\text{m}] - 28 \quad (3)$$

반면에, 펠토셀이 새로 설치되면 단말에서 측정되는 펠토셀 파일럿 채널의 E_c/I_o 는 다음과 같이 계산된다.

$$\left(\frac{E_c}{I_o}\right)_{femto}(r) = \frac{\frac{P_{CPICH}}{PL(r)}}{N_o + RSSI_{macro} + \frac{P}{PL(r)}} \quad (4)$$

여기서, P_{CPICH} 는 펠토셀의 파일럿 채널 전력을 나타낸다. P_{CPICH} 는 펠토셀이 파일럿 채널에 할당하는 전력 비율 ξ_{CPICH} 를 이용하여 계산되므로, 식 (4)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\left(\frac{E_c}{I_o}\right)_{femto}(r) = \frac{\frac{\xi_{CPICH} \times P}{PL(r)}}{N_o + RSSI_{macro} + \frac{P}{PL(r)}} \quad (5)$$

이때, 단말이 기존에 서비스 받던 매크로셀이 아니라 새로 설치된 펠토셀을 통하여 서비스를 받기 위해서는 펠토셀의 E_c/I_o 가 다음과 같이 매크로셀보다

높아야한다.

$$\left(\frac{E_c}{I_o}\right)_{femto}(r) \geq \left(\frac{E_c}{I_o}\right)_{macro}(r) \quad (6)$$

식 (2)와 (5)를 식 (6)에 대입하면, 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$PL(r) \leq \frac{\xi_{CPICH}P}{RSSCP_{macro}} \quad (7)$$

식 (3)을 식 (7)에 대입하여 정리하면, 펠토셀의 최대 셀 반경을 다음과 같이 구할 수 있다

$$r_{\max,1} = 10^{\frac{1}{10n} \left(\left(\frac{\xi_{CPICH}P}{RSSCP_{macro}} \right)_{dB} + 28 - 20\log_{10}f_c \right)} \quad (8)$$

그리고, 펠토셀을 통하여 안정적 서비스를 제공하기 위해서는 펠토셀의 E_c/I_o 가 다음과 같이 최소 요구값보다 높아야만 한다.

$$\left(\frac{E_c}{I_o}\right)_{femto}(r) \geq \left(\frac{E_c}{I_o}\right)_{req} \quad (9)$$

식 (5)를 (9)에 대입하여 정리하면, 펠토셀에서 허용 가능한 경로 손실 값은 다음과 같이 유도된다.

$$PL(r) \leq \frac{\xi_{CPICH} - \left(\frac{E_c}{I_o}\right)_{req}}{\left(\frac{E_c}{I_o}\right)_{req}} \times \frac{P}{N_o + RSSI} = PL_{\max} \quad (10)$$

따라서, 펠토셀에서 지원가능한 최대 셀 반경은 식(3)과 식(10)을 이용하여 다음과 같이 유도된다.

$$r_{\max,2} = 10^{\frac{1}{10n} \left((PL_{\max})_{dB} + 28 - 20\log_{10}f_c \right)} \quad (11)$$

최종적으로, 펠토셀에서 지원할 수 있는 최대 셀 반경은 식 (8)과 (11)을 이용하여 다음과 같이 결정된다.

$$r_{\max} = \min(r_{\max,1}, r_{\max,2}) \quad (12)$$

III. 성능 평가

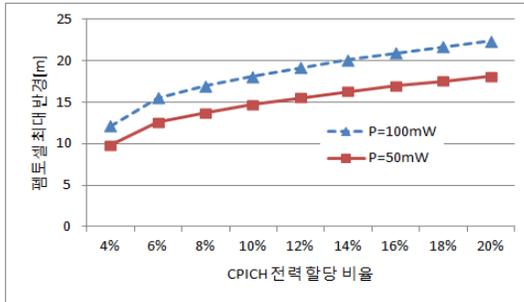
본 장에서는 II장에서 유도된 결과들을 활용하여 다양한 환경에서 펠토셀의 최대 커버리지를 분석한다. 표 1은 성능 분석을 위한 변수 값을 나타낸다.

그림 2는 경로 손실 지수 n 이 3.3일 때 펠토셀에서 지원할 수 있는 최대 셀 반경을 나타낸다. 그림 2(a)는 펠토셀이 설치되기 전 매크로 셀의 RSCP와 RSSI가 각각 -70과 -60dBm일 때의 결과를 보여준다. 전체적으로 펠토셀의 출력이 높을수록 셀 반경이 증가하며, 동일한 출력에서도 파일럿 채널에 할당하는 전력의 비율이 높을수록 펠토셀의 커버리지는 증가한다. 그림 2(b)는 E_c/I_o 는

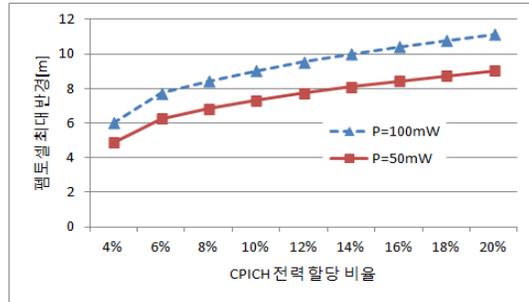
-10dB로 동일하지만, 2(a) 대비 RSCP와 RSSI가 각각 10dB씩 높은 경우의 결과를 보여준다.

표 1. 성능 평가를 위한 변수
Table. 1 Parameters for Performance Evaluation

변수	값
펠토셀 동작 주파수(MHz)	2110
펠토셀 채널 대역폭(MHz)	5
최소 E_c/I_o 요구치(dB)	-15
펠토셀 Noise Figure(dB)	9
열잡음밀도(dBm/Hz)	-174



(a)



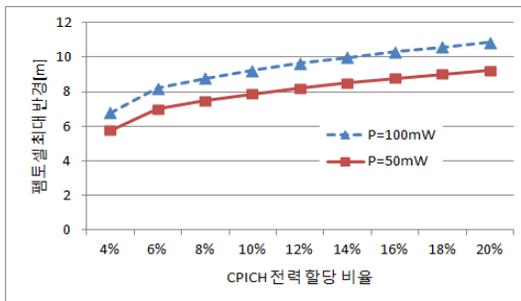
(b)

그림 2. 펠토셀의 최대 서비스 반경 ($n=3.3$)

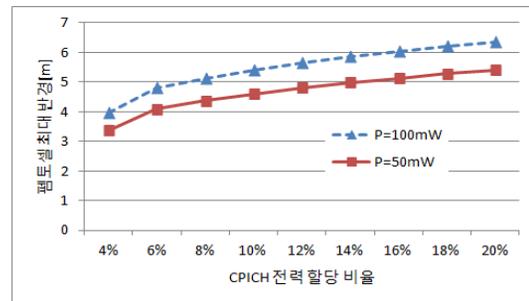
(a) $RSCP_{macro} = -70\text{dBm}$, $RSSI_{macro} = -60\text{dBm}$ (b) $RSCP_{macro} = -60\text{dBm}$, $RSSI_{macro} = -50\text{dBm}$

Fig. 2 Maximum Allowable Cell Radius For Femto Cell ($n=3.3$)

(a) $RSCP_{macro} = -70\text{dBm}$, $RSSI_{macro} = -60\text{dBm}$ (b) $RSCP_{macro} = -60\text{dBm}$, $RSSI_{macro} = -50\text{dBm}$



(a)



(b)

그림 3. 펠토셀의 최대 서비스 반경 ($n=4.3$)

(a) $RSCP_{macro} = -70\text{dBm}$, $RSSI_{macro} = -60\text{dBm}$ (b) $RSCP_{macro} = -60\text{dBm}$, $RSSI_{macro} = -50\text{dBm}$

Fig. 3 Maximum Allowable Cell Radius For Femto Cell ($n=4.3$)

(a) $RSCP_{macro} = -70\text{dBm}$, $RSSI_{macro} = -60\text{dBm}$ (b) $RSCP_{macro} = -60\text{dBm}$, $RSSI_{macro} = -50\text{dBm}$

매크로로부터 수신되는 신호 세기가 높은 경우, 간섭으로 인하여 펠토셀의 커버리지가 심각하게 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 그림 3은 경로 손실 지수 n 이 4.3일 때 펠토셀에서 지원할 수 있는 최대 셀 반경을 나타낸다. 펠토가 설치되는 지역의 경로 손실 지수가 높을 경우, 펠토 신호의 도달거리가 줄어들어 커버리지가 좁아짐을 확인할 수 있다. 또한, 그림 2에서와 동일하게 매크로 신호가 강해질 경우 간섭으로 인하여 펠토셀의 반경이 심각하게 좁아짐을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는, 향후 폭발적으로 증가할 것으로 예상되는 모바일 데이터 트래픽을 효과적으로 수용하기 위한 대안으로 고려되고 있는 초소형의 저출력 기지국인 펠토셀의 커버리지를 실질적인 시나리오를 고려하여 다양한 환경에서 분석하였다. 분석 결과, 펠토셀의 출력이 증가할수록 그리고 파일럿 채널에 할당하는 전력의 비율이 높아질수록 펠토셀의 커버리지가 증가하지만, 매크로 신호가 강한 환경에서는 커버리지가 매우 제한적임을 확인하였다. 일반적으로, 트래픽이 밀집되는 지역은 매크로 기지국 신호가 강하므로 펠토셀을 오프로딩 목적으로 트래픽 밀집지역에 활용할 경우, 세심한 주의가 필요함을 알 수 있었다. 또한, 파일럿 채널에 많은 전력을 할당할 경우 데이터 채널에 할당할 수 있는 전력이 줄어들어 데이터 속도 저하가 나타날 수 있다. 향후, 이 부분에 대한 추가 연구가 필요하다.

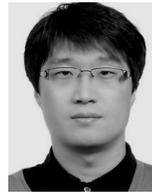
참고문헌

- [1] 윤현영, "4G 시대 도래에 따른 주파수 확보 및 관리 방향," kt경제경영연구소 Digieco, 2011년 12월
- [2] Cisco Visual Networking Index, *Forecast and Methodology*, 2011-2016, May, 2012
- [3] Small Cell Forum, <http://smallcellforum.org>
- [4] 3GPP TS 25.367 Mobility procedures for Home Node B (HNB)
- [5] 3GPP TS 36.300 E-UTRA and E-UTRAN; Overall description; Stage 2

- [6] ITU-R Recommendation P.1238-7, Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900MHz to 100GHz

저자소개

반태원(Tae Won Ban)



1998년 2월 경북대학교 전자공학과
학사
2000년 2월 경북대학교 전자공학과
석사

2010년 2월 KAIST 전기전자공학과 박사
2000년 2월 ~ 2012년 8월 KT 네트워크부문
2012년 9월~현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수
※관심분야: 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및
중계통신, 인지통신, 주파수 공유, 차세대 이동통신
시스템

정방철(Bang Chul Jung)



2002년 2월 아주대학교 전자공학부
학사
2004년 8월 KAIST 전자전산학과
석사

2008년 2월 KAIST 전자전산학과 박사
2008년 3월~2009년 8월 KAIST IT 융합연구소 팀장
2009년 9월~2010년 2월 KAIST IT 융합연구소
연구교수
2010년 3월~현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수
※관심분야: 이동통신, 신호처리, 협력 및 중계통신,
Cognitive Radios, Compressed Sensing, 차세대이동
통신 시스템