

フェムトセル基地局におけるマクロセルユーザへの 与干渉対策方式の比較

田邊 雄也[†] アフォラビ アキンデレ セグン[†] 太田 能[†] 玉置 久[†]

田中 義三^{††} 山本 剛史^{††} 岡田 洋侍^{††}

[†] 神戸大学大学院工学研究科 神戸市

^{††} 住友電気工業株式会社 大阪市

E-mail: [†]{tanabe,afolabi,ohta,tamaki}@al.cs.kobe-u.ac.jp,

^{††}{tanaka-yoshizo,yamamoto-takashi,okada-yoji}@sei.co.jp

あらまし 3GPP TR25.820 では、フェムトセルのマクロセルへの与干渉対策のアプローチとして、アクセス制御、フェムト・マクロセル間使用帯域制御、フェムトセル基地局送信電力制御、が検討されている。また、これらを組み合わせた 5 通りの構成を示している。しかしながら、これらの構成方法の与干渉対策の効果を同一のシナリオで定量的に評価した取り組みは十分になされていない。そこで本稿では、マクロセル基地局とフェムトセル基地局が 1 局ずつあるシナリオを用いて、5 通りの構成方法のうち、1) Open Access, マクロ・フェムト間帯域共有, 固定送信電力, 2) CSG (Closed Subscriber Group), マクロ・フェムト間帯域分割, 固定送信電力, 3) CSG, マクロ・フェムト間帯域共有, 可変送信電力, のそれぞれの構成におけるシャノン通信容量を計算し、与干渉対策の効果を明らかにする。また、フェムトセルにおける電力制御が有効となる条件についても検討する。

キーワード フェムトセル, セル間干渉対策手法, 電力制御, アクセス制御, セル間帯域使用方法

Comparison of Interference Reduction Schemes by Femto Base Stations to Macro Cell Users

Yuya TANABE[†], Akindele Segun AFOLABI[†], Chikara OHTA[†], Hisashi TAMAKI[†],

Yoshizo TANAKA^{††}, Takashi YAMAMOTO^{††}, and Yoji OKADA^{††}

[†] Graduate School of Engineering, Kobe University, Rokkoudai 1-1, Nada, Kobe, 657-8501, JAPAN

^{††} Sumitomo Electric Industries, Ltd., Shimaya 1-1-3, Konohana, Osaka, 554-0024, JAPAN

E-mail: [†]{tanabe,afolabi,ohta,tamaki}@al.cs.kobe-u.ac.jp,

^{††}{tanaka-yoshizo,yamamoto-takashi,okada-yoji}@sei.co.jp

Abstract In 3GPP TR25.820, three kinds of approaches, access control, bandwidth control, and power control, to reduce interference from femtocell to macrocell are examined. Further, five types of configurations as combinations of these approaches are also discussed. The relative effectiveness among these configurations are, however, not clear since they are not compared in the same scenario enough. Therefore, at the beginning in this paper, under the simple scenario where one femto-cell exists in one macro-cell, we compare Shannon capacities of the following three configurations: 1) Open Access, Co-channel, and Fixed Power, 2) CSG (Closed Subscriber Group), Dedicated Channel, and Fixed Power, 3) CSG, Co-channel, and Adaptive Transmission Power. We also investigate conditions that transmission power control is effective.

Key words femtocell, interference, power control, access control, dedicated channel, co-channel

1. はじめに

近年、携帯電話が広く普及し、屋外だけでなく自宅など屋内でも使用されるようになってきており、その利用時間はむしろ屋外より長くなりつつある。しかしながら、(屋外基地局との)屋内通信においては、壁等の影響による電波伝搬損失により屋外通信に比べて音声通信の通信品質が劣化したり、データ転送速度が低下したりしやすい。そこで現在、屋内端末を屋内に設置した小型基地局に収容するフェムトセルの実用化にむけて、3GPP (3rd Generation Partnership Project) で活発な議論がおこなわれている。このフェムトセルの導入により、屋内での通信容量が向上したり、アップリンクでの通信距離短縮により端末の消費電力を抑えたりできる。また、屋内ユーザをフェムトセルを介して有線網に取り込むことで、結果として、マクロセルへのトラフィック量を減らすことができる、といった効果が期待されている。

しかし、フェムトセルの実用化にあたっては多くの課題が残されている。なかでもフェムトセル基地局 (fBS: femtocell Base Station) 設置により生ずるフェムトセル間ならびにマクロセル・フェムトセル間のセル間干渉は、相互に通信容量を低下させるため、その低減は特に重要な課題となっている。このセル間干渉は、同一周波数帯域を使用する基地局、端末間で発生するもので、ダウンリンク、アップリンクのそれぞれにおいて起こりうる。特にフェムトセル基地局からマクロセル端末への影響は最小限にとどめることが要求されており、その干渉対策について多くの研究がなされている。本稿においてもダウンリンクにおけるフェムトセルとマクロセルのセル間干渉について検討する。

3GPP TR25.820 [5] では、フェムトセルからマクロセルへの干渉対策について以下の3つのアプローチを示し、これらを組み合わせた5通りの構成を示している。

(1) アクセス制御方式: マクロセルユーザを含む全てのユーザ端末 (UE: User Equipment) にアクセスを許可する OA (Open Access) 方式。フェムトセルが干渉を及ぼし得る端末を逆にフェムトセルに収容することで結果的に干渉を回避する。これに対し、登録 UE のみフェムトセルにアクセスを許可する CSG (Closed Subscriber Group) 方式がある。

(2) 使用帯域制御: フェムトセルとマクロセルの使用帯域を分離する帯域分割 (Dedicated) 方式。帯域分離により干渉を回避する。これに対し、フェムトセルとマクロセルがシステムの全 (または一部の) 帯域を共有する帯域共有 (Co-channel) 方式がある。

(3) 送信電力制御: fBS の送信電力を可変とする可変送信電力方式。フェムトセルが干渉を及ぼし得る端末が周辺に存在する場合に送信電力を下げることで干渉を緩和する。これに対し、fBS の送信電力を一定とする固定送信電力方式がある。

従来研究では、この3つの基本アプローチの1つに着目し、通信容量に対する改善方式を提案していることが多い (例えば, [1], [4], [6] では、アクセス制御、使用帯域制御、送信電力制御のそれぞれに対し、OA 方式と CSG 方式の比較、帯域共

有方式と帯域分割方式の比較、固定送信電力方式と適応送信電力方式の比較をおこなっている。しかしながら、基地局使用帯域幅とセル間干渉のトレードオフについて検討するにとどまり、各制御が通信容量にどのように影響を与えるかについては検討されていない。すなわち、従来研究は、ある基本アプローチに注目しての方式提案であったり方式比較にとどまっており、共通シナリオのもと、通信容量をどの程度改善しうるのかという視点で、複数の (基本アプローチを組み合わせた) 干渉対策方式を比較したものはない。

そこで本稿では、[5] に記述されている干渉対策アプローチの5通りの組み合わせのなかから3つを取り上げ、mBS (macrocell Base Station) と fBS が1局ずつあるシナリオを用いて、シャノンの通信容量式により UE のダウンリンクの通信容量を計算、比較することで、各構成による干渉対策の効果を明らかにする。

以下、2. では比較する構成について述べ、3. では計算計算結果を記述し、4. では電力制御について考察する。

2. 干渉対策方式における通信容量計算

2.1 仮定および記号の定義

本稿では、1. で述べたとおり、ある一つのマクロセル内に一つのフェムトセルがある状況を考え、かつダウンリンクに着目する。

この場合において、UE は、fBS または mBS のどちらかに接続しているものとし、マクロセルに接続している UE を mUE (macrocell UE)、フェムトセルに接続している UE を fUE (femtocell UE) と呼ぶ。なお、UE が fBS または mBS のどちらに収容されるのかは、干渉対策の構成やノードの位置等の状況により異なる。アクセス制御に関して、OA 方式における UE について、mBS に接続している UE 集合を $U_m^{(OA)}$ 、fBS に接続している UE 集合を $U_f^{(OA)}$ で表す。また同様に、CSG 方式における UE について、mBS に接続している UE 集合を $U_m^{(CSG)}$ 、fBS に接続している UE 集合を $U_f^{(CSG)}$ で表す。また、識別子 i をもつ UE を u_i で表す。

システム全体の帯域幅を B [Hz] で表す。使用帯域制御に関して、帯域共有方式では、全帯域幅 B を mBS、fBS で共有するものとする。また、帯域分割方式では、mBS、fBS の使用帯域は重複しておらず、かつ mBS、fBS が使用する帯域を B_m [Hz]、 B_f [Hz] で表したとき、次式が成り立つものとする。

$$B = B_m + B_f. \quad (1)$$

また、mBS、fBS は、それぞれ使用可能な帯域すべてを各 UE に等しく割当ててものとする (等分割割当)。

mBS および fBS の最大送信電力をそれぞれ $P_m^{(max)}$ [W]、 $P_f^{(max)}$ [W] で表す。mBS は、常に最大送信電力にて送信するものとする。送信電力制御に関して、fBS は、固定送信電力方式では最大送信電力を用いるものとし、可変送信電力方式では送信電力 $P_f (\leq P_f^{(max)})$ [W] を用いるものとする。mBS および fBS は、使用可能帯域にわたって送信電力を均一に使うものとする。

最後に、mBS および fBS から位置 (Location) l までのチャネル利得をそれぞれ、 $g_m(l)$, $g_f(l)$ で表す。また、UE u_i の位置 (Location) を l_i で表す。

2.2 通信容量

上記の仮定のもと、マクロセルへの与干渉対策に関する3つのアプローチをどれも施さない構成を基準とし、以下に、この構成と3つのアプローチのうちの一つを施した構成の通信容量を示す。

2.2.1 予干渉対策を施さない構成

この構成は、アクセス制御に CSG 方式、使用帯域制御に帯域共有方式、送信電力制御に固定送信電力方式にとった場合に相当する。以下、この構成を **Baseline 構成** と呼ぶ。この Baseline 構成における各 mUE ならびに fUE への送信電力密度ならびに割当帯域の例を図 1(a) に示す。

このときの UE u_i の通信容量 $C(u_i)$ は次式で与えられる。UE u_i が mBS に接続されているとき ($u_i \in \mathcal{U}_m^{(\text{CSG})}$),

$$C(u_i) = \frac{B}{|\mathcal{U}_m^{(\text{CSG})}|} \log_2 \left(1 + \frac{g_m(l_i)P_m^{(\max)}/B}{g_f(l_i)P_f^{(\max)}/B + n_0} \right). \quad (2)$$

UE u_i が fBS に接続されているとき ($u_i \in \mathcal{U}_f^{(\text{CSG})}$),

$$C(u_i) = \frac{B}{|\mathcal{U}_f^{(\text{CSG})}|} \log_2 \left(1 + \frac{g_f(l_i)P_f^{(\max)}/B}{g_m(l_i)P_m^{(\max)}/B + n_0} \right). \quad (3)$$

2.2.2 アクセス制御による予干渉対策構成の場合

この構成は、アクセス制御に OA 方式、使用帯域制御に帯域共有方式、送信電力制御に固定送信電力方式にとった場合に相当する。以下、この構成を **Access 構成** と呼ぶ。この Access 構成における各 mUE ならびに fUE への送信電力密度ならびに割当帯域の例を図 1(b) に示す。

このときの UE u_i の通信容量 $C(u_i)$ は次式で与えられる。UE u_i が mBS に接続されているとき ($u_i \in \mathcal{U}_m^{(\text{OA})}$),

$$C(u_i) = \frac{B}{|\mathcal{U}_m^{(\text{OA})}|} \log_2 \left(1 + \frac{g_m(l_i)P_m^{(\max)}/B}{g_f(l_i)P_f^{(\max)}/B + n_0} \right). \quad (4)$$

UE u_i が fBS に接続されているとき ($u_i \in \mathcal{U}_f^{(\text{OA})}$),

$$C(u_i) = \frac{B}{|\mathcal{U}_f^{(\text{OA})}|} \log_2 \left(1 + \frac{g_f(l_i)P_f^{(\max)}/B}{g_m(l_i)P_m^{(\max)}/B + n_0} \right). \quad (5)$$

Access 構成を採用した場合、mUE がフェムトセルに接続することが可能なことから、一般的に次式が成立する。

$$|\mathcal{U}_m^{(\text{OA})}| \leq |\mathcal{U}_m^{(\text{CSG})}| \quad \text{and} \quad |\mathcal{U}_f^{(\text{OA})}| \geq |\mathcal{U}_f^{(\text{CSG})}|. \quad (6)$$

従って、式 (2) ~ (6) から、Access 構成では Baseline 構成に対して、fUE あたりの通信容量は減少し、mUE あたりの通信容量は増加する。なお、 $\mathcal{U}_m^{(\text{CSG})} - \mathcal{U}_m^{(\text{OA})} (= \mathcal{U}_f^{(\text{OA})} - \mathcal{U}_f^{(\text{CSG})})$ が、OSG 方式のときに mBS に接続し、OA 方式のときに fBS に接続した UE である。このような UE は、通信容量においてメリットのある場合に fBS に接続すると考えられる。

2.2.3 使用帯域制御による予干渉対策構成の場合

この構成は、アクセス制御に CSG 方式、使用帯域制御に帯域分割方式、送信電力制御に固定送信電力方式にとった場合に

相当する。以下、この構成を **Band 構成** と呼ぶ。この Band 構成における各 mUE ならびに fUE への送信電力密度ならびに割当帯域の例を図 1(c) に示す。

このときの UE u_i の通信容量 $C(u_i)$ は次式で与えられる。UE u_i が mBS に接続されているとき ($u_i \in \mathcal{U}_m^{(\text{CSG})}$),

$$C(u_i) = \frac{B_m}{|\mathcal{U}_m^{(\text{CSG})}|} \log_2 \left(1 + \frac{g_m(l_i)P_m^{(\max)}/B_m}{n_0} \right). \quad (7)$$

UE u_i が fBS に接続されているとき ($u_i \in \mathcal{U}_f^{(\text{CSG})}$),

$$C(u_i) = \frac{B_f}{|\mathcal{U}_f^{(\text{CSG})}|} \log_2 \left(1 + \frac{g_f(l_i)P_f^{(\max)}/B_f}{n_0} \right). \quad (8)$$

Band 構成を採用した場合、Baseline 構成に対して、相互の干渉がなく、また、 $B_m < B$, $B_f < B$ であることから、希望信号の送信電力密度は増加するので、fUE, mUE あたりの通信容量を増加させる方向に寄与する。一方で、 $B_m < B$, $B_f < B$ であることから、fUE, mUE あたりの割当帯域は減り、通信容量を減少させる。

2.2.4 送信電力制御による予干渉対策構成の場合

この構成は、アクセス制御に CSG 方式、使用帯域制御に帯域共有方式、送信電力制御に可変送信電力方式にとった場合に相当する。以下、この構成を **Power 構成** と呼ぶ。この Power 構成における各 mUE ならびに fUE への送信電力密度ならびに割当帯域の例を図 1(d) に示す。

このときの UE u_i の通信容量 $C(u_i)$ は次式で与えられる。UE u_i が mBS に接続されているとき ($u_i \in \mathcal{U}_m^{(\text{CSG})}$),

$$C(u_i) = \frac{B}{|\mathcal{U}_m^{(\text{CSG})}|} \log_2 \left(1 + \frac{g_m(l_i)P_m^{(\max)}/B}{g_f(l_i)P_f/B + n_0} \right). \quad (9)$$

UE u_i が fBS に接続されているとき ($u_i \in \mathcal{U}_f^{(\text{CSG})}$),

$$C(u_i) = \frac{B}{|\mathcal{U}_f^{(\text{CSG})}|} \log_2 \left(1 + \frac{g_f(l_i)P_f/B}{g_m(l_i)P_m^{(\max)}/B + n_0} \right). \quad (10)$$

Power 構成を採用した場合、 $P_f \leq P_f^{(\max)}$ であることから、Baseline 構成に対して、mUE に対する干渉電力は減少し、mUE の通信容量は増加する。一方、fUE に対する希望信号電力は減少し、fUE の通信容量は減少する。

3. 数値結果

3.1 評価シナリオ

各構成の通信容量を比較するにあたって用いたシナリオを図 2 に示す。図に示すとおり mBS と fBS はそれぞれ 1 局ずつ存在する。その間の距離は 500m と 1,000m の二つの場合を考える。fBS は、15m 四方の屋内の中心に設置されている。UE は、fBS に登録されているものを pUE (primary UE)、非登録 UE を sUE (secondary UE) で表す。本シナリオでは、屋外に 49 固定 sUE、屋内に 3 pUE があり、さらに、1 sUE が fBS と mBS を結ぶ直線上を移動する (移動 sUE と呼ぶ)。なお、UE の位置は fBS と mBS を結ぶ直線上での fBS からの距離でもって表す。屋内 pUE は fBS に、屋外固定 sUE は mBS に接続しているものとする。移動 sUE は、アクセス制御

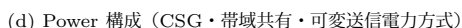


図 2 評価シナリオ

表 1 パラメータ

表 2 パスロスモデル

- 40 -

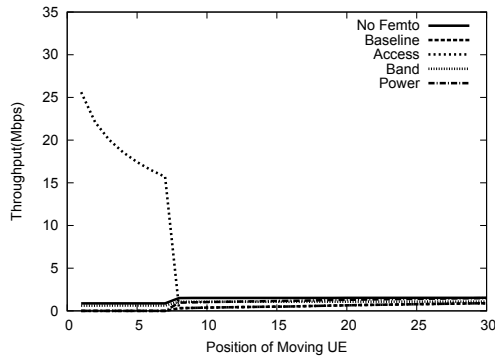


図 3 移動 sUE 通信容量特性 (fBS • mBS 間距離 500 m の場合)

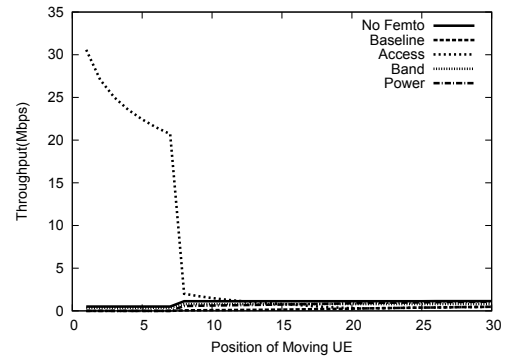


図 6 移動 sUE 通信容量特性 (fBS • mBS 間距離 1,000 m の場合)

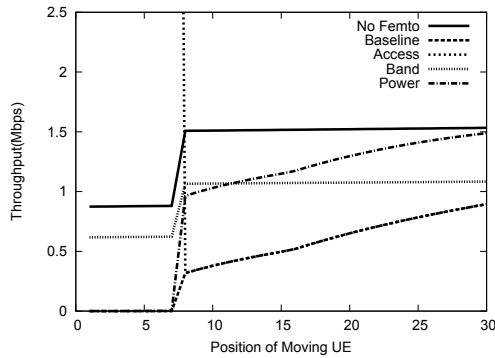


図 4 移動 sUE 通信容量特性 (fBS • mBS 間距離 500 m の場合) (図 3 拡大図)

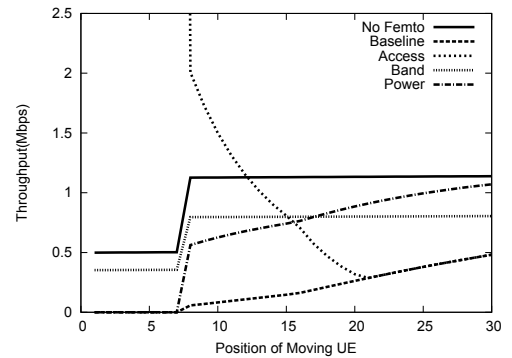


図 7 移動 sUE 通信容量特性 (fBS • mBS 間距離 1,000 m の場合) (図 6 拡大図)

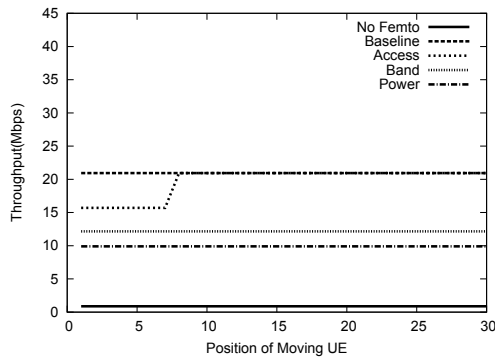


図 5 着目 pUE 通信容量特性 (fBS • mBS 間距離 500 m の場合)

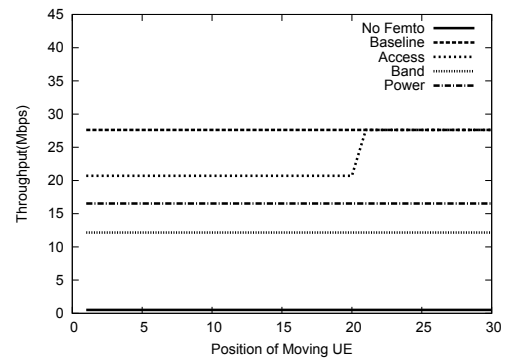


図 8 着目 pUE 通信容量特性 (fBS • mBS 間距離 1,000 m の場合)

合は、移動 sUE は fBS に近づいた場合、fBS に接続することで通信容量を改善できている。特に fBS • mBS 間距離が 1,000 の場合は、移動 sUE の fBS からの距離 20m より短くなると、fBS に収容されることで、Baseline 構成に比べて通信容量に大幅な改善がみられる。Band 構成は、帯域分割により相互干渉がないため、移動 sUE への影響は小さい。しかしながら、使用可能帯域は小さくなるため、フェムトセルを導入する場合に比べ、移動 sUE の通信容量は小さくなる。

一方、図 5、8 から、着目 pUE の通信容量特性は、フェムトセルを導入することで、導入しない場合に比べ、通信容量が大幅に改善されていることがわかる。Access 構成では、sUE が fBS に接続することを許しているため、移動 sUE が接続を始めると、その通信容量が減少している。図 5 と図 8 を比べると、Band 構成では、着目 pUE の通信容量に違いはない。これに

対し、Power 構成では、fBS が mBS に近い場合 (距離 500m) では、mBS からの干渉を受けるため、fBS が mBS に遠い場合 (距離 1,000m) に比べ着目 pUE の通信容量が小さくなっている。このことから、Power 構成をとる場合は、mBS からの干渉が強い環境では、送信電力を下げ過ぎると、十分な pUE の通信容量が得られない可能性がある。これについては、4. において検討する。Band 構成では、使用可能な帯域が小さいため、他の干渉対策方式に比べ着目 pUE の通信容量は小さくなっている。

4. 電力制御に関する検討

fBS が mUE に干渉を及ぼしうる構成において、fBS が送信電力を下げると fBS から干渉を受ける mUE の通信容量は (干渉が減ることから) 上がり、反対に fUE の通信容量は下が

る。本章では、fBS が送信電力を下げることによって、fUE の通信容量を著しく下げることなく mUE の通信容量を改善できる条件について検討する。今、Power 構成において $u_i \in \mathcal{U}_m$, $u_j \in \mathcal{U}_f$ とすると、 $C(u_i)$, $C(u_j)$ はそれぞれ式 (9), (10) で与えられる。一例として、図 2 と同様のケースで、fBS と mBS 間の距離が 50m, mUE u_i , fUE u_j がともに fBS と mBS を結ぶ直線上において fBS から 5m の距離 (すなわち u_i , u_j とも屋内) にある場合を考える。このとき、fBS の送信電力 P_f を横軸にして、縦軸に fUE u_i , mUE u_j の通信容量 $C(u_i)$, $C(u_j)$ をプロットすると図 9 となる。この図から、 $C(u_i)$, $C(u_j)$ が大きく変化する fBS の送信電力 P_f の範囲があることがわかる。

そこで、mUE u_i の通信容量 $C(u_i)$ が大きく変化する P_f の範囲を $[P_f^{(m)}, \bar{P}_f^{(m)}]$ とし、以下に $\underline{P}_f^{(m)}$, $\bar{P}_f^{(m)}$ を定義する。まず、fBS の送信電力 P_f を下げるに従い、mUE u_i の通信容量 $C(u_i)$ は大きくなり、以下で与えられる $C_{\max}^{(m)}(u_i)$ に漸近する。

$$C_{\max}^{(m)}(u_i) = \frac{B}{|\mathcal{U}_m^{(\text{CSG})}|} \log_2 \left(1 + \frac{g_m(l_i)P_m^{(\max)}}{n_0 B} \right). \quad (11)$$

一方、fBS の送信電力 P_f を上げるに従い (ここでは便宜上、その最大値 $P_f^{(\max)}$ を超えてもよいものとする)、mUE u_i の通信容量 $C(u_i)$ は小さくなり、以下で与えられる $C_{\min}^{(m)}(u_i)$ に漸近する。

$$C_{\min}^{(m)}(u_i) = 0. \quad (12)$$

そこで、fBS の送信電力 P_f に関する $C(u_i)$ の関数に関数値 $C(u_i)$ が $C_{\max}^{(m)}(u_i)/2$ となるところで接線を引き、この接線が縦軸で $C_{\max}^{(m)}(u_i)$, $C_{\min}^{(m)}(u_i)(=0)$ の値をとるときの P_f をそれぞれ $\underline{P}_f^{(m)}$, $\bar{P}_f^{(m)}$ と定義する。

同様に、fUE u_j の通信容量 $C(u_j)$ が大きく変化する P_f の範囲を $[P_f^{(f)}, \bar{P}_f^{(f)}]$ とし、以下に $\underline{P}_f^{(f)}$, $\bar{P}_f^{(f)}$ を定義する。まず、fBS の送信電力 P_f を上げるに従い、fUE u_j の通信容量 $C(u_j)$ は大きくなり、 P_f が最大値 $P_f^{(\max)}$ をとるときの $C(u_j)$ である $C_{\max}^{(f)}(u_j)$ は、Baseline 構成における式 (3) で与えられる。一方、fBS の送信電力 P_f を上げるに従い、fUE u_j の通信容量 $C(u_j)$ は小さくなり、以下で与えられる $C_{\min}^{(f)}(u_i)$ に漸近する。

$$C_{\min}^{(f)}(u_i) = 0. \quad (13)$$

そこで、fBS の送信電力 P_f に関する $C(u_j)$ の関数に関数値 $C(u_i)$ が $C_{\max}^{(f)}(u_i)/2$ となるところで接線を引き、この接線が縦軸で $C_{\min}^{(f)}(u_i)(=0)$ の値をとるときの P_f を $\underline{P}_f^{(m)}$ と定義する。また、 P_f の最大値 $P_f^{(\max)}$ を $\bar{P}_f^{(m)}$ を定義する。

図 2 と同様のケースで、fBS と mBS 間の距離が 250m, fUE u_j が fBS と mBS を結ぶ直線上において fBS からの 5m の距離 (すなわち u_i , u_j とも屋内) に位置するとき、同じく fBS と mBS を結ぶ直線上を移動する mUE u_i の fBS からの距離を横軸としたときの $\underline{P}_f^{(m)}$, $\bar{P}_f^{(m)}$ の関係を図 10 に示す。この図から、mUE が屋内にはいると $\underline{P}_f^{(m)}$ (図中 p_{small} と表記)、 $\bar{P}_f^{(m)}$ (図中 p_{large} と表記) を大幅に下げる必要があり、fUE への影響が大きいことがわかる。一方、mUE が屋外にできれば $P_f^{(\max)} (= \bar{P}_f^{(f)})$ である 20 dBm を若干下回る範囲でも電力制

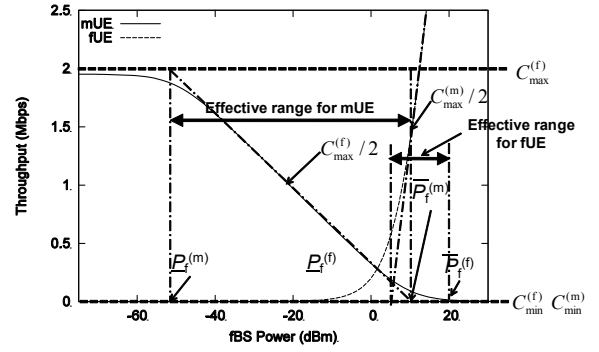


図 9 fBS の送信電力と mUE の通信容量

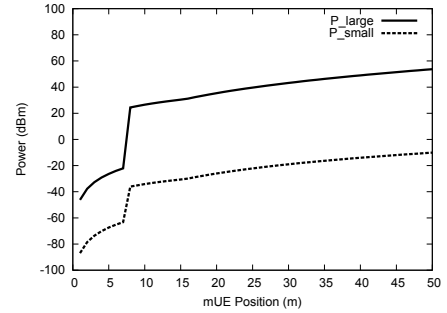


図 10 fBS とマクロセル UE 間の距離と fBS の送信電力の関係

御が有効であることがわかる。

5. む す び

本稿では、フェムトセルの実用化にあたってのマクロセルへの与干渉対策としての 3 つのアプローチ、アクセス制御、使用帯域制御、電力制御について、fBS と mBS がそれぞれ 1 局ずつ存在するシナリオのもとで UE の通信容量を計算することで比較した。また、電力制御の効果が得られる条件について検討した。

文 献

- [1] J. Kim and D. Cho, "A joint power and subchannel allocation scheme maximizing system capacity in dense femtocell downlink system," Proc. IEEE PIMRC 2009, pp.1381–1385, Sep. 2009.
- [2] T. Kim and T. Lee, "Throughput enhancement of macro and femto networks by frequency reuse and pilot sensing," Proc. IEEE PIMRC 2009, pp.390–394, Sep. 2009.
- [3] M. Andrews, V. Capdevielle, A. Feki and P. Gupta, "Autonomous spectrum sharing for mixed LTE femto and macro cells deployments," Proc. IEEE INFOCOM 2010, pp.1–5 March 2010.
- [4] Z. Bharucha, H. Hass, G. Auer and I. Cosovic, "Femto-cell resource partitioning," Proc. IEEE GLOBECOM 2009, pp.1–6, Dec. 2009.
- [5] "3rd Generation Partnership Project; Technical specification group radio access networks; 3G Home NodeB Study Item Technical Report (Release 8)," 3GPP, 3GPP TR 25.820 V8.0.0, 2008.
- [6] H. Mahmoud and I. Guvenc, "A comparative study of different deployment modes for femtocell networks," Proc. IEEE PIMRC 2009, pp.1–5, Sep. 2009.
- [7] AS. Golaup, M. Mustapha and B. Patanapongpibul, "Femtocell Access Control Strategy in UMTS and LTE," IEEE Communication Magazine, vol.47, pp.117–123, Sep. 2009.