

フェージング環境を考慮したヘテロロジーニアネットワークにおけるシステムスループットを最大化する接続セル選択法の一検討

A Study on Adaptive User Association Method for System Throughput Maximization in Heterogeneous Networks Under Fading Channel

松本 和真
Kazuma Matsumoto

樋口 健一
Kenichi Higuchi

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科
Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science

1. まえがき

文献[1]で報告された (p, α) プロポーショナルフェアネスに基づくシステムスループットを最大化する接続セル選択法を、フェージング環境へ対応するよう拡張する方法を提案する。

2. システムモデルと文献[1]の接続セル選択法

時刻 t における (p, α) プロポーショナルフェアネスに基づくシステムスループット $U(t)$ は次式で定義される。

$$U(t) = \sum_{k \in \mathcal{K}} p_k R_k(t)^{1-\alpha} / (1-\alpha) \quad (1)$$

以降、時刻 t の単位は接続セル選択の更新周期とする。 \mathcal{K} はシステムカバレッジ内のユーザ集合、 $R_k(t)$ は時刻 t におけるユーザ $k \in \mathcal{K}$ のスループットである。 p_k ($p_k > 0$) はユーザ固有の優先度である。 α ($\alpha \geq 0$) は、システム全体の効率とユーザ間の公平性のトレードオフを決定する。全ユーザの p_k が等しいとき、 α が 1 ならば純粋なプロポーショナルフェア規範に相当し、 α が 0, 2, ∞ のとき、それぞれ合計レート最大化規範、平均伝送時間最小化規範、最小レート最大化規範となる。

文献[1]の接続セル選択法は、任意の $\{p_k\}$, α に対して式(1)で定義されるシステムスループットを最大化する。ただし、文献[1]ではフェージングのない静的チャネルを想定していた。以降、文献[1]の接続セル選択法を説明する。

各基地局 n は、時刻 t で新規接続ユーザへの割り当て帯域幅に関する補助情報として $\beta_n(t-1)$ を全ユーザに報知する。

$$\beta_n(t-1) = \sum_{k \in \mathcal{K}_n(t-1)} p_k^{1/\alpha} r_{k,n}^{1/\alpha-1} \quad (2)$$

$\mathcal{K}_n(t-1)$ は、時刻 $t-1$ で基地局 n に接続しているユーザ集合である。 $r_{k,n}$ はユーザ k が基地局 n に接続したときに得られるリンクスループットであり、ユーザ k と基地局 n 間の SINR $\gamma_{k,n}$ から $r_{k,n} = \log_2(1 + \gamma_{k,n})$ で与えられる。

各ユーザ k は、 $\beta_n(t-1)$ を基に時刻 t で基地局 n に接続した場合の割り当て帯域幅の予測値 $\tilde{w}_{k,n}(t)$ を以下の式より求める。

$$\tilde{w}_{k,n}(t) = \bar{w}_n p_k^{1/\alpha} r_{k,n}^{1/\alpha-1} / (\beta_n(t-1) + p_k^{1/\alpha} r_{k,n}^{1/\alpha-1}) \quad (3)$$

\bar{w}_n は基地局 n のシステム帯域幅である。 $\tilde{w}_{k,n}(t)$ は、静的チャネルを前提として時刻 t で基地局 n にユーザ群 $\mathcal{K}_n(t-1) \cup \{k\}$ が接続した場合に式(1)のシステムスループットを最大化する最適割り当て帯域幅に相当する。

次に、各ユーザ k は接続セル選択更新のためのメトリックを全ての基地局 n に対して次式で計算する。

$$m_{k,n}(t) = p_k (\tilde{w}_{k,n}(t) r_{k,n} - R_k(t-1)) / R_k(t-1)^\alpha \quad (4)$$

各ユーザ k は、 $m_{k,n}(t)$ のうち正の最大値を得る基地局 n^* に $m_{k,n^*}(t)$ をハンドオーバー要求として送信する。 $m_{k,n}(t)$ が全て負であれば現在の接続基地局を維持する。各基地局 n は、報告されたメトリックのうち最大となるユーザを自身に新規接続する。

以上の処理の繰り返しにより、式(1)のシステムスループットを最大化する接続セル選択が自律分散型処理で実現される。しかし、フェージングチャネルでは、各基地局で行われる瞬時チャネルに応じたスケジューリングによりマルチユーザダイバーシチ効果が得られ、スループットに影響を与える。マルチユーザダイバーシチ効果は接続ユーザ数が多いほど大きくなるため、この効果を考慮した接続セル選択が必要となる。

3. 提案する接続セル選択法

提案する接続セル選択法は、文献[1]の方法を拡張する形で構成される。式(4)のメトリックにおける $\tilde{w}_{k,n}(t) r_{k,n}$ は、ユーザ k が時刻 t で基地局 n に接続したときに得られるユーザスループットの期待値と解釈できる。フェージング環境下では、ユーザ k と基地局 n 間の SINR はフェージングにより瞬時変動するため、スケジューリングの結果得られる割り当て帯域幅とリンクスループットはそれぞれ $\tilde{w}_{k,n}(t)$ と $r_{k,n}$ とは異なる値になる。

提案法では、割り当て帯域幅は概ね文献[1]の方法で近似できると考え、同様の方法を用いる。すなわち、式(2)の $\beta_n(t-1)$ をユーザに報知し、式(3)で $\tilde{w}_{k,n}(t)$ を計算する。ただし、 $r_{k,n}$ はフェージング変動を平均化した SINR $\bar{r}_{k,n}$ に対して得られる平均リンクスループット $\bar{r}_{k,n}$ に置き換える。

一方、マルチユーザダイバーシチ利得を平均 SINR の増大効果と捉えて $r_{k,n}(t)$ の計算に反映する (フェージングの影響で時変となるので t の関数とした)。すなわち、メトリック計算における $r_{k,n}(t)$ を次式により計算するよう変更する。

$$r_{k,n}(t) = \log_2(1 + g_n(t-1) \bar{r}_{k,n}) \quad (5)$$

$g_n(t-1)$ は時刻 $t-1$ で基地局 n において観測されたマルチユーザダイバーシチ利得であり、提案法では $\beta_n(t-1)$ に加えて下りリンクで全ユーザに報知されるものとする。

$g_n(t-1)$ の計算法を説明する。ユーザ $k \in \mathcal{K}_n(t-1)$ のユーザスループット $R_k(t-1)$ からユーザ k で観測されるマルチユーザダイバーシチ利得 $g_{k,n}(t-1)$ は次式で求まる。

$$R_k(t-1) = w_{k,n}(t-1) \log_2(1 + g_{k,n}(t-1) \bar{r}_{k,n}) \rightarrow g_{k,n}(t-1) = (2^{R_k(t-1)/w_{k,n}(t-1)} - 1) / \bar{r}_{k,n} \quad (6)$$

$w_{k,n}(t-1)$ は静的チャネルを想定したときの割り当て帯域幅である。マルチユーザダイバーシチ利得は平均 SINR に応じてユーザ毎に異なる。接続基地局を更新するユーザは一般に平均 SINR が比較的小さいと考えられるため、本稿では、 $g_n(t-1)$ は 10 以下となる $g_{k,n}(t-1)$ の平均値で求めるものとした。

4. シミュレーション評価

マクロ基地局、ピコ基地局、ユーザ端末数の 1 km^2 当たりの平均値をそれぞれ 1, 4, 300 とし、ポアソン点過程に従いランダム配置した。マクロ、ピコ基地局の送信電力はそれぞれ 46, 30 dBm とした。 \bar{w}_n は全基地局共通で 9 MHz とした。伝搬モデルとして文献[1]と同様の距離減衰とシャドウイングに加え、6 パスレイリーフェージングを模擬した。スケジューリング周期は 1 ms、接続セル選択の更新周期は 1000 ms とした。

図 1 に提案法と文献[1]の従来法及び 4G, 5G で用いられている従来のセルレンジ拡張(CRE)法[2]の様々なシステムスループットの比較を示す。CRE 法のバイアス値は α に応じて最適なものを用いた。提案法は、特に α が大きいときに文献[1]の方法や CRE 法に比較してシステムスループットを顕著に増大できた。

5. まとめ

提案法はフェージングチャネルで良好なシステムスループットを達成する接続セル選択を実現することができた。

参考文献

[1] K. Higuchi and Y. Yuda, IEICE Trans. Commun., vol. E100-B, no. 8, pp. 1323-1333, Aug. 2017. [2] R. Madan, et al., IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 28, no. 9, pp. 1479-1489, Dec. 2010.

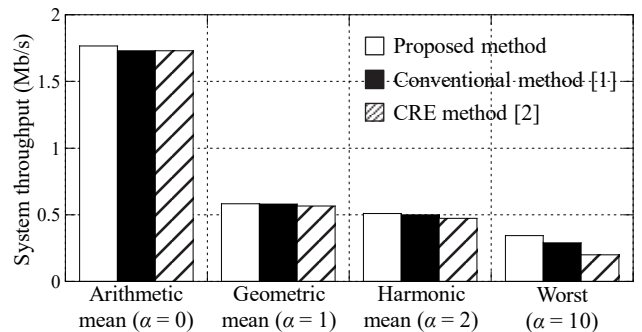


図 1. 様々なシステムスループットの比較