

ハンドオーバ頻度を低減する確率的基地局 ON/OFF 制御法の一検討

B-5

Investigation on Reducing Handover Frequency
in Online Probabilistic Base-Station Activation Control Method石川 史弥
Fumiya Ishikawa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

マクロ基地局のカバレッジ内に多数の小電力のピコ基地局が配置されるヘテロジーニアスネットワークにおいて基地局送信 ON/OFF 制御は、移動通信ネットワークの電力効率の改善やセル間干渉電力の低減によるシステムスループットの改善に有効である。しかし実際には、全帯域の送信が OFF に切り替わった基地局に接続していたユーザ端末は他の基地局にハンドオーバする必要があり、この制御に掛かる時間は通信が遮断されスループットが劣化することを考慮する必要がある。そこで本検討では、筆者らがこれまで検討してきたシステムスループット観測値に基づく確率的周波数ブロック毎基地局送信 ON/OFF 制御法[1]について、ハンドオーバ頻度を低減する改良を施し、ハンドオーバ時間を考慮した評価によりその効果を検証する。

2. 確率的周波数ブロック毎基地局送信 ON/OFF 制御法[1]

文献[1]で報告された確率的周波数ブロック毎基地局送信 ON/OFF 制御法（以降従来法と呼ぶ）のアルゴリズムを記述する。以降、ある着目するピコ基地局 n での制御について述べる。離散時刻 t で観測されたマクロカバレッジ内のシステムスループットを $R[t]$ とする。 $R[t]$ は基地局間の連携により共有され全基地局で既知とする。各基地局のシステム帯域は F 個の周波数ブロックに等分割されているものとする。

時刻 t でのピコ基地局 n において、送信 ON とする周波数ブロック数を m とする確率を $b_{n,m}[t]$ 、周波数ブロック f ($f = 1, \dots, F$) の送信を ON とする相対確率を $q_{n,f}[t]$ とし、結果的に送信 ON となった周波数ブロック数を $m_n[t]$ とする。時刻 t において過去 T 時間に渡って平均化されたピコ基地局 n の送信 ON 周波数ブロック数が m のときの平均システムスループットを $\bar{R}_{n,m}[t]$ 、ピコ基地局 n の周波数ブロック f が送信 ON, OFF だったときの平均システムスループットを各々 $\bar{R}_{n,f}^{\text{ON}}[t]$, $\bar{R}_{n,f}^{\text{OFF}}[t]$ とする。

このとき $b_{n,m}[t]$ は $\bar{R}_{n,m}[t]$ の値に応じて次式により更新される。

$$b_{n,m}[t+1] = \begin{cases} \min\{b_{n,m}[t] + \varepsilon_1, 1 - \rho\}, & m = m_{\max}[t] \\ \min\{b_{n,m}[t] + \varepsilon_1 / \beta, 1 - \rho\}, & m = m_{\max}[t] \pm 1 \\ \max\{b_{n,m}[t] - \varepsilon_1, 0 + \rho\}, & m = m_{\min}[t] \\ \max\{b_{n,m}[t] - \varepsilon_1 / \beta, 0 + \rho\}, & m = m_{\min}[t] \pm 1 \\ b_{n,m}[t], & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

where $m_{\max}[t] = \arg \max_m \bar{R}_{n,m}[t]$, $m_{\min}[t] = \arg \min_m \bar{R}_{n,m}[t]$

制御ステップ幅 ε_1 は 1 より小さい正の定数であり、 ρ は十分小さい正の定数である。 β は 1 より大きい定数である。すなわち、過去 T 時間で最も大きな（小さな）システムスループットを得た m 値の $b_{n,m}[t]$ を増大（減少）させることにより、時刻 $t+1$ でよりよい $m_n[t+1]$ 値になる確率を増大させる。システムスループット最大ないし最小となる m 値近傍の $b_{n,m}[t]$ もある程度変化させるのは、収束速度改善のためである。

$q_{n,f}[t]$ は $\bar{R}_{n,f}^{\text{ON}}[t]$, $\bar{R}_{n,f}^{\text{OFF}}[t]$ に基づいて次式により更新される。

$$q_{n,f}[t+1] = \begin{cases} \min\{q_{n,f}[t] + \varepsilon_2, 1 - \rho\}, & \bar{R}_{n,f}^{\text{ON}}[t] > \bar{R}_{n,f}^{\text{OFF}}[t] \\ \max\{q_{n,f}[t] - \varepsilon_2, 0 + \rho\}, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、制御ステップサイズ ε_2 は正の定数である。過去 T 時間で ON にすることによりシステムスループットが増大した周波数ブロックの $q_{n,f}[t]$ は増大させ、そうでなければ減少させる。

次時刻 $t+1$ では、更新された $b_{n,m}[t+1]$ に基づいて送信 ON とするピコ基地局 n の周波数ブロック数 $m_n[t+1]$ が確率的に決定される。次に、送信 ON とする $m_n[t+1]$ 個の周波数ブロックが $q_{n,f}[t+1]$ に基づいて確率的に決定される。決定された全基地局の ON/OFF 状態に基づいて全ユーザの接続セル選択が更新される。本処理の繰り返しにより基地局とユーザ分布に適応した全基地局の周波数ブロック毎の ON/OFF 制御が実現される。

3. 提案法

従来法において、 $m_n[t] = 0$ となるとピコ基地局 n に接続していたユーザは接続セル選択を更新し他の基地局にハンドオーバする必要がある。一般にハンドオーバ制御には比較的長時間を要しスループットの劣化を起こす。またハンドオーバ頻度の増大はネットワーク負荷の観点からも避けるべきである。そこで、提案法では、従来法において各基地局が ON とする最低の周波数ブロック数を m_{\min} と定義する。そのうえで、 $b_{n,0}[t] \sim b_{n,m_{\min}-1}[t]$ を 0 に固定することにより実効的に各基地局が ON とする周波数ブロック数が m_{\min} 未満とならないように制御する。提案法は、簡単な従来法の改良でハンドオーバ頻度を低減し、システムスループットの劣化を防ぐことができる。

4. シミュレーション評価

表 1 のシミュレーション諸元に基づいて提案法の特性を評価した。評価では、 m_{\min} と ON/OFF 制御周期で正規化したハンドオーバ制御時間 α をパラメータとした。 α の時間率でハンドオーバユーザはデータ通信を行えないものとした。

図 1 にハンドオーバ時間率 α に対するシステムスループットを示す。従来法 ($m_{\min} = 0$ 相当) は α の増大に伴ってシステムスループットが大きく劣化している。 $m_{\min} = 2$ とした提案法は、ハンドオーバ頻度を低減することにより、 α が大きい場合にも比較的大きなシステムスループットを維持できている。

5. まとめ

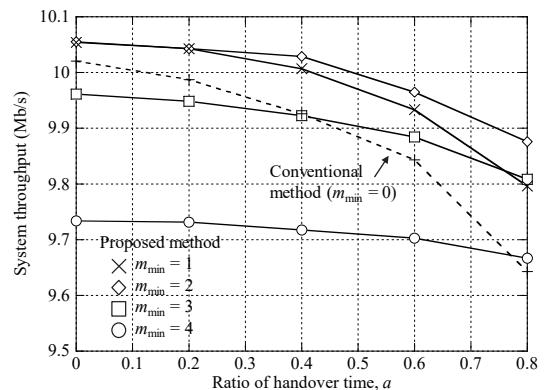
ハンドオーバ頻度を低減する提案法は、従来の基地局送信 ON/OFF 制御法に比較して、ハンドオーバに伴うスループット損を考慮したより現実に近い評価でその効果が確認された。

参考文献

[1] K. Shimada, et al., in Proc. WPMC2018, Chiang Rai, Thailand, Nov. 2018. [2] R. Madan, et al., IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 28, no. 9, pp. 1479-1489, Dec. 2010.

表 1. シミュレーション諸元

System bandwidth		9 MHz
Number of frequency blocks, F		5
Node density in Poisson point process-based node placement	Macro BS	1 / km ²
	Pico BS	25 / km ²
	User terminal	30 / km ²
BS transmission power	Macro BS	46 dBm
	Pico BS	30 dBm
Distance-dependent path loss		114.1+37.6log ₁₀ (r), r : kilometers
Shadowing		Lognormal shadowing with standard deviation of 8 dB and inter-site correlation of 0.5
Receiver noise power density		-169 dBm/Hz
System throughput definition		Geometric mean user throughput
User association		Cell range expansion method in [2]

図 1. α に対するシステムスループット