

ヘテロジニアスネットワークにおける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 制御法の収束速度改善

B-5 Improving Convergence Rate of Frequency Block-Dependent Online Probabilistic Activation Control of Base Stations Based on Observed System Throughput in Heterogeneous Networks

嶋田 佳紀
Keiki Shimada

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

本稿では、大電力の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ニアスネットワークにおいて、文献[1]で提案され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 制御法の収束速度改善法を提案する。

2. 提案法

本稿での基地局送信 ON/OFF 制御の目的は、不要な干渉電力を低減しシステムスループットを増大することにある。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 $R[t]$ とし、 $R[t]$ はマクロ基地局とピコ基地局の連携により共有され全ての基地局が既知とする。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。

文献[1]の従来法では、離散時刻 t においてピコ基地局 n の送信 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、直近の時刻 $t-1$ から t でのシステムスループット R と各周波数ブロックの ON/OFF 状態の遷移に基づいて各ピコ基地局 n は独立に $b_{n,m}[t]$ と $q_{n,f}[t]$ を更新していた。提案法は、より広範囲の過去の時刻における R と各周波数ブロックの ON/OFF 状態を用いて $b_{n,m}[t]$ と $q_{n,f}[t]$ を更新することにより、従来法の収束速度を改善する。

提案法を説明する。送信 ON 状態を 1、送信 OFF 状態を 0 で表すものとし、時刻 t におけるピコ基地局 n の周波数ブロック f の ON/OFF 状態を $s_{n,f}[t] \in \{1, 0\}$ で表す。また、時刻 t において送信 ON となったピコ基地局 n の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 時間に渡って線形加重移動平均されたピコ基地局 n の送信 ON の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それぞれ $\bar{R}_{n,f}^{\text{ON}}[t]$ 、 $\bar{R}_{n,f}^{\text{OFF}}[t]$ とする。

$$\begin{cases} \bar{R}_{n,m}[t] = \sum_{i=t-T+1}^{i=t} (T-t+i)R[i] / \sum_{i=t-T+1}^{i=t} (T-t+i) \\ \bar{R}_{n,f}^{\text{ON}}[t] = \sum_{i=t-T+1}^{i=t} (T-t+i)s_{n,f}[i]R[i] / \sum_{i=t-T+1}^{i=t} (T-t+i)s_{n,f}[i] \\ \bar{R}_{n,f}^{\text{OFF}}[t] = \sum_{i=t-T+1}^{i=t} (T-t+i)(1-s_{n,f}[i])R[i] / \sum_{i=t-T+1}^{i=t} (T-t+i)(1-s_{n,f}[i]) \end{cases} \quad (1)$$

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。

$$b_{n,m}[t+1] = \begin{cases} \min\{b_{n,m}[t] + \varepsilon_1, 1 - \rho\}, & m = m_{\max}[t] \\ \min\{b_{n,m}[t] + \varepsilon_1 / \beta, 1 - \rho\}, & m = m_{\max}[t] \pm 1 \\ \max\{b_{n,m}[t] - \varepsilon_1, 0 + \rho\}, & m = m_{\min}[t] \\ \max\{b_{n,m}[t] - \varepsilon_1 / \beta, 0 + \rho\}, & m = m_{\min}[t] \pm 1 \\ b_{n,m}[t], & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

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

ここで、制御ステップサイズ ε_1 は正の定数であり、十分小さな正の定数 ρ は $b_{n,m}[t]$ が 0 または 1 に固定されることを避けるために用意されている。 β は 1 より大きい定数である。すなわち、過去 T 時間で最も大きなシステムスループットを得た m 値の $b_{n,m}[t]$ を増大させ、最小のシステムスループットを得た m 値の $b_{n,m}[t]$ を減少させることにより、時刻 $t+1$ でよりよい m 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。

$$q_{n,f}[t+1] = \begin{cases} \min\{q_{n,f}[t] + \varepsilon_2, 1 - \rho\}, & \bar{R}_{n,f}^{\text{ON}}[t] > \bar{R}_{n,f}^{\text{OFF}}[t] \\ \max\{q_{n,f}[t] - \varepsilon_2, 0 + \rho\}, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

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 $t+1$ において、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。この処理を繰り返すことにより、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. シミュレーション評価

表 1 にシミュレーション諸元を示す。表に示す平均配置数に基づいてポアソン点過程に従いマクロ基地局、ピコ基地局、ユーザ端末をランダムに配置した。システムスループットとして幾何平均ユーザスループットを用いた。提案法では $T = 20$ とし、 $\varepsilon_1 = 0.005$ 、 $\beta = 3$ 、 $\varepsilon_2 = 0.01$ 、 $\rho = 0.01$ とした。接続セル選択はセルレンジ拡張(CRE: cell range expansion)法[2]を用いた。比較のため文献[1]の従来法も評価した。

図 1 にシステムスループットの時間変動を示す。横軸の時間単位は ON/OFF 状態の更新周期である。なお、全基地局の周波数ブロックが ON のときの幾何平均スループットは約 5.2 Mb/s であった。提案法は、従来法よりも大幅に少ない繰り返し数で収束し、同等の収束後のシステムスループットを実現できた。

4. まとめ

過去の情報をより活用した提案法は、従来法に比較して収束速度を改善できた。

参考文献

- [1] 氏家ら, 信学技報, vol. 117, no. 284, RCS2017-204, pp. 1-6, 2017 年 11 月. [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	3	
Node density	Macro BS	1 / km ²
	Pico BS	25 / km ²
BS transmission power	User terminal	30 / km ²
	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	
User association	Cell range expansion (CRE) method in [2]	

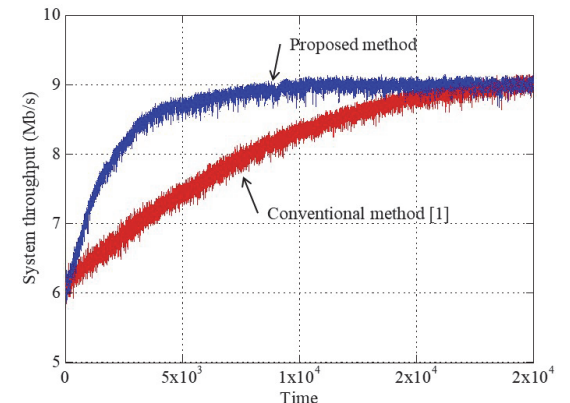


図 1. システムスループットの時間変動