

# 確率的基地局送信 ON/OFF 制御法における 送信確率更新ステップサイズの適応制御に関する一検討

## A Study on Adaptive Control of Step Size in Update of Activation Probability in Online Probabilistic Base-Station Activation Control Method

落合 亮太  
Ryota Ochiai

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、大電力のマクロセル内に小電力のピコ基地局を重ねる形で配置するヘテロジニアスネットワークにおいて、筆者らが先に提案したシステムスループット観測値に基づき各ピコ基地局の送信 ON/OFF をオンラインで確率的に制御する方法[1]における送信確率更新ステップサイズの適応制御を提案する。

### 2. 確率的基地局送信 ON/OFF 制御法[1]

文献[1]で報告された確率的基地局送信 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。なお、本稿の目的に合わせて数式表現は文献[1]と異なるものを用いるがアルゴリズムは完全に等価である。本 ON/OFF 制御の目的は、不要な基地局の送信を OFF にすることにより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。

離散時刻  $t$  においてピコ基地局  $n$  の送信を ON とする確率を  $q_n[t]$  とする。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  $n$  の結果的な ON/OFF 状態を  $s_n[t] \in \{1, 0\}$  で表す。直近の時刻  $t-1$  から  $t$  でのシステムスループット  $R$  の相対変化量を  $\Delta R[t]$  として、次式で定義する。

$$\Delta R[t] = (R[t] - R[t-1]) / R[t-1] \quad (1)$$

文献[1]の従来法では、 $\Delta R[t]$  と  $s_n[t]$  に基づき  $q_n[t]$  は次式により更新される。

$$q_n[t+1] = q_n[t] + F(\Delta R[t]) \cdot (s_n[t] - s_n[t-1]) \quad (2)$$

ただし、 $q_n[t]$  が 0 ないし 1 になると ON/OFF 状態が固定されるため、 $q_n[t]$  の上限値と下限値は  $1-\rho$  および  $\rho$  に制限されるものとする。 $\rho$  は 1 より十分小さい正の定数である。

ここで従来法では、式(2)中の関数  $F(\Delta R[t])$  は次式で定義されていた。

$$F(\Delta R[t]) = \varepsilon \cdot \text{sign}(\Delta R[t]) \quad (3)$$

$\varepsilon$  は正の定数であり、 $q_n[t]$  更新のステップサイズに相当する。式(3)を代入した式(2)に基づく  $q_n[t]$  の更新は、時刻  $t-1$  から  $t$  でピコ基地局  $n$  の ON/OFF 状態が変化している場合に（すなわち  $s_n[t] \neq s_n[t-1]$ ）、時刻  $t$  で  $t-1$  よりもシステムスループット  $R$  が増大したとき（すなわち  $\Delta R[t] > 0$ ）は、状態  $s_n[t]$  が確率的に維持されやすくなるようにすることにある。逆に、時刻  $t$  で  $t-1$  よりもシステムスループット  $R$  が減少したとき（すなわち  $\Delta R[t] < 0$ ）は、状態  $s_n[t-1]$  が確率的に維持されやすくなるように  $q_n[t]$  を更新する。次時刻  $t+1$  においては、更新された  $q_n[t+1]$  に基づいてピコ基地局  $n$  の送信 ON/OFF 状態が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 ON/OFF 制御が実現される。

### 3. 提案する送信確率更新ステップサイズの適応制御法

従来法では、送信確率  $q_n[t]$  の更新量は  $\Delta R[t]$  の大きさによらず  $\pm\varepsilon$  で固定であった。しかし、 $\Delta R[t]$  の絶対値が大きい場合はより大きな更新量で  $q_n[t]$  を更新し、かつ、 $\Delta R[t]$  の絶対値が小さい場合はより小さな更新量で  $q_n[t]$  を更新すれば、従来法の繰り返しアルゴリズムの収束速度と安定性の両方を改善できると考えられる。

そこで提案法では、式(2)中の関数  $F(\Delta R[t])$  を次式で定義する。

$$F(\Delta R[t]) = \varepsilon \cdot \Delta R[t] \quad (4)$$

すなわち、送信確率  $q_n[t]$  の更新量を  $\Delta R[t]$  に比例させることにより、従来法の繰り返しアルゴリズムの収束速度と安定性の両方の改善を目指す。ここで、正の定数  $\varepsilon$  は、大きくするほど収束速度は向上するものの安定性は劣化すると考えられるため、4章ではパラメータとして評価した。

### 4. 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。全基地局のシステム帯域幅は 9 MHz とした。マクロ基地局、ピコ基地局、ユーザ端末数の 1 平方 km 当

たりの平均値をそれぞれ 1, 25, 30 とし、ポアソン点過程に従いラップアラウンドを適用した  $5 \times 5$  平方 km のシステムカバレッジ内にランダムに配置した。伝搬モデルとして表に示す距離減衰とシャドウイングを模擬した。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。ユーザスループットはシャノンの容量式に基づいて計算した。提案法における  $\varepsilon$  は 1.0 と 4.0 の場合を評価した。従来法における  $\varepsilon$  は 0.005 と 0.02 の場合を評価した。

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。従来法において、 $\varepsilon$  を 0.005 から 0.02 に増大すると収束速度は向上するものの、収束後のスループットの平均値とばらつきが劣化している。 $\varepsilon = 1.0$  とした提案法は、従来法よりも高速な収束速度を実現したうえで、収束後のシステムスループットも平均的に増大しかつそのばらつきを抑えられている。これは、最適状態と大きく異なる過渡状態では  $q_n[t]$  の更新量を増大し、定常状態では  $q_n[t]$  の更新量を低減できたためである。提案法で  $\varepsilon$  を 4.0 に増大すると初期の収束速度は向上するものの、安定性の劣化により収束後のシステムスループットは減少する結果となった。

### 5. まとめ

$\Delta R[t]$  の大きさに応じて送信確率の更新量を可変にすることによって、従来法に比較してスループットの収束速度と安定性を改善することができた。

### 参考文献

[1] A. Ujiie and K. Higuchi, in Proc. IEEE VTS APWCS2016, Tokyo, Japan, 25-26 Aug. 2016. [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
Node density	Macro BS	1 / km <sup>2</sup>
	Pico BS	25 / km <sup>2</sup>
	User terminal	30 / km <sup>2</sup>
BS transmission power	Macro BS	46 dBm
	Pico BS	30 dBm
Distance-dependent path loss		114.1+37.6log <sub>10</sub> ( $r$ ), $r$ : 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]

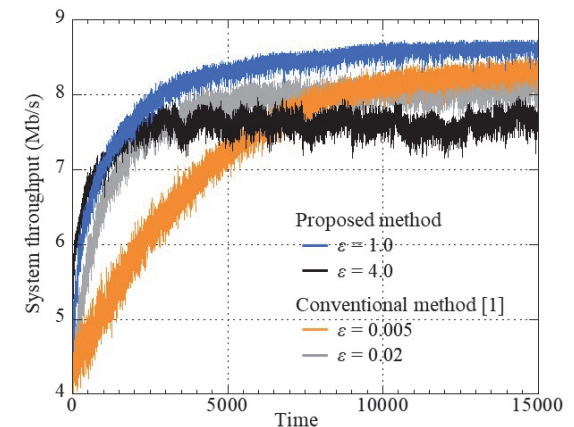


図 1. システムスループットの時間変動