

上下リンクのシステムスループットを考慮した オンライン確率的基地局 ON/OFF 制御法の一検討

A Study on Online Probabilistic Activation Control of Base Stations Considering Both Uplink and Downlink System Throughput

宇治 直輝
Naoki Uji

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、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]について、下りリンクだけでなく上りリンクも考慮した総合システムスループットに基づいて制御する構成を提案し、その特性を評価する。

2. 提案法

提案法は、文献[1]の下りリンクシステムスループットに基づく基地局送信 ON/OFF 制御法のアルゴリズムを上りリンクも考慮した総合システムスループットで制御する形に変更することにより実現される。

離散時刻 t で観測された下り・上りリンクのシステムスループットをそれぞれ $R_{DL}[t]$, $R_{UL}[t]$ とする。 $R_{DL}[t]$ と $R_{UL}[t]$ の重み付け和を総合システムスループット $R[t]$ と定義する。

$$R[t] = \alpha R_{DL}[t] + (1 - \alpha) R_{UL}[t] \quad (1)$$

総合システムスループットは、重み α ($0 \leq \alpha \leq 1$) を大きくするほど下りリンクの状態を重視し、 α を小さくするほど上りリンクの状態を重視する。提案する ON/OFF 制御の目的は、基地局とユーザの分布に応じた適切な各基地局の ON/OFF 制御により総合システムスループットを増大させることにある。

以降、ある着目する基地局 n での提案法の制御について述べる。前提として、 $R[t]$ 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。この条件下で、提案 ON/OFF 制御法は基地局間で独立にオンライン分散型制御で実現できる。離散時刻 t において基地局 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 での総合システムスループット R の相対変化量を $\Delta R[t]$ とし、次式で定義する。

$$\Delta R[t] = (R[t] - R[t-1]) / R[t-1] \quad (2)$$

$\Delta R[t]$ と $s_n[t]$ に基づき $q_n[t]$ は次式により更新される。

$$q_n[t+1] = q_n[t] + \varepsilon \cdot \text{sign}(\Delta R[t]) \cdot (s_n[t] - s_n[t-1]) \quad (3)$$

ε 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。ただし、 $q_n[t]$ の上限値と下限値は $1-\rho$ および ρ に制限されるものとする。 ρ は 1 より十分小さい正の定数である。

式(3)に基づく $q_n[t]$ の更新は、時刻 $t-1$ から t で基地局 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 $t-1$ よりも総合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 $t-1$ よりも総合システムスループット R が減少したときは、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。本稿では、各ユーザの接続セルは ON 状態にある基地局の中から下りリンク受信信号電力に基づいて決定されるものとした。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 ON/OFF 制御が実現される。

3. シミュレーション評価

全基地局のシステム帯域幅は 9 MHz とした。ヘテロロジーニアスネットワークを想定し、マクロ基地局、ピコ基地局、下り・上りリンク通信ユーザ端末数の 1 平方 km 当たりの平均値をそれぞれ 1, 25, 30, 30 とし、ポアソン点過程に従いシステムカバレッジ内にランダムに配置した。マクロ、ピコ基地局の送信電力はそれぞれ 46, 30 dBm である。ユーザ端末の最大送信電力は 24 dBm であり、目標 SNR = 56 dB、パスロス補償係数

0.6 のフラクショナル送信電力制御[2]を適用した。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を模擬した。受信機雑音電力密度は -169 dBm/Hz とした。接続セル選択は文献[3]のセルレンジ拡張法を用いた。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。

表 1 に提案法における各 α 値を用いたときのマクロ・ピコ基地局を ON とする平均確率を示す。 α が大きい下りリンクを重視する条件ほど基地局 ON の確率が小さいことがわかる。これは下りリンクでは不要な基地局を ON とすると直接的にセル間干渉が増大するためである。特にマクロ基地局の ON 率が小さいのは積極的にマクロ基地局からピコ基地局にトラヒック負荷分散を行うためと考えられる。 α が小さい上りリンクを重視する条件では、ON である基地局が多いほど接続基地局までの距離が小さく小さな送信電力を用いられる傾向があること、ON/OFF 制御は主にセル間のトラヒック負荷のバランスを改善するために行われるため基地局 ON 率は比較的高い。

図 1 に α に対する提案法のシステムスループットを示す。比較のため全基地局を ON とした場合の結果も示す。全体に α 値によらず提案法のスループット増大効果が確認できる。提案法は、設定する α 値を増大 (減少) させるほど、下り (上り) リンクのスループットが増大する所望の結果が得られている。

4. まとめ

提案法は上下リンクのシステムスループットを所望の優先度で増大することができた。

参考文献

[1] A. Ujiie and K. Higuchi, in Proc. IEEE VTS APWCS2016, Tokyo, Japan, 25-26 Aug. 2016. [2] W. Xiao, et al., in Proc. IEEE VTC2006-Fall, Montréal, Canada, Sept. 2006. [3] R. Madan, et al., IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 28, no. 9, pp. 1479-1489, Dec. 2010.

表 1. α に対する各基地局を ON とする平均確率

α	Macro BS (%)	Pico BS (%)
0.0	13.15	79.68
0.2	3.65	77.66
0.4	0.57	73.88
0.6	0.59	69.04
0.8	0.60	60.66
1.0	0.38	57.36

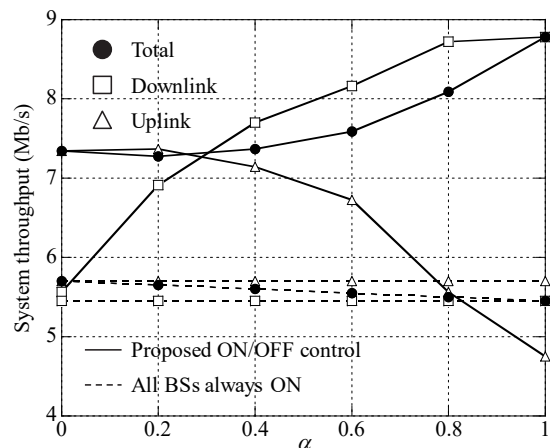


図 1. α に対するシステムスループット