

## 上下リンクの電力効率を考慮した確率的基地局 ON/OFF 制御法の一検討

Investigation on Probabilistic Activation Control of Base Stations  
Considering Both Uplink and Downlink Energy Efficiency of System Throughput

B-5

幸田 純平  
Jumpei Koda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

筆者らが先に報告した確率的基地局 ON/OFF 制御法を拡張することにより、上下リンクにおけるシステムスループットの電力効率を考慮した確率的基地局 ON/OFF 制御法を提案する。

## 2. 提案法

提案法は、文献[1]の基地局送信 ON/OFF 制御法のアルゴリズムを上下リンクの総合システムスループットの電力効率に基づいて制御する形に変更することにより実現する。

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。また、離散時刻  $t$  での下り・上りリンクの総送信電力をそれぞれ  $P_{DL}[t]$ ,  $P_{UL}[t]$  とする。このとき、上下リンク総合のシステムスループットの電力効率(以降、総合電力効率と呼ぶ)  $W[t]$  を次式で定義する[2]。

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

総合電力効率は、重み  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) を大きく(小さく)するほど下りリンク(上りリンク)の電力効率を重視する。提案法の目的は、基地局とユーザの分布に応じた適切な各基地局の ON/OFF 制御により総合電力効率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。基地局間の情報交換により  $W[t]$  の値は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される。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 ON/OFF 状態を  $s_n[t] \in \{1, 0\}$  で表す。直近の時刻  $t-1$  から  $t$  での総合電力効率  $W$  の相対変化量を  $\Delta W[t]$  とし、次式で定義する。

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

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

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

$\varepsilon$  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。ただし、 $q_n[t]$  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。

式(3)に基づく  $q_n[t]$  の更新により、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  $t-1$  よりも総合電力効率  $W$  が増大した(すなわち  $\Delta W[t] > 0$ ) ときは、状態  $s_n[t]$  が時刻  $t+1$  で確率的に維持されやすくする。逆に、時刻  $t$  で  $t-1$  よりも  $W$  が減少したときは、時刻  $t+1$  で状態  $s_n[t-1]$  になりやすくなるように  $q_n[t]$  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基地局が更新される。本稿では、各ユーザは ON 状態にある基地局の中で下りリンク受信信号電力が最大の基地局に接続するものとした。本処理の繰り返しにより、総合電力効率増大の観点から基地局とユーザの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。ヘテロジ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[3]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。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。提案法に加え、比較のためシステムスループット増大を目的とした文献

[1]の方法を従来法として評価した。

表 1 に提案法と従来法における各  $\alpha$  値を用いたときのマクロ・ピコ基地局それぞれを ON とする平均確率を示す。提案法において、 $\alpha$  が 1.0 で下りリンクを重視する条件のとき、ピコ基地局 ON の確率が小さい。これは、下りリンクでは不要な基地局を ON とすると  $P_{DL}[t]$  が増大するだけでなくセル間干渉も増大するためである。一方、 $\alpha$  が小さい上りリンクを重視する条件のとき、ピコ基地局 ON の確率が高い。これは、ON であるピコ基地局が多いほどユーザ端末と接続基地局間の距離が小さくなり、フラクショナル送信電力制御により小さな送信電力に制御される傾向があり、 $P_{UL}[t]$  の減少による  $W[t]$  の増大に貢献するためである。このため、提案法は従来法に比較して  $\alpha$  が小さいときのピコ基地局 ON の確率が高くなっている。マクロ基地局は ON になると送信電力が大きいので遠方のユーザ端末も接続される傾向があり、結果として上りリンクの送信電力が増大する傾向がある。そのため、提案法は  $\alpha$  が 1.0 の場合を除きマクロ基地局 ON の確率を従来法よりも小さく制御している。

図 1 に  $\alpha$  に対する提案法と従来法の総合電力効率および提案法における上下リンク個別電力効率を示す。全基地局を ON とした場合の総合電力効率も示す。全体に  $\alpha$  値によらず提案法による電力効率増大効果が確認できる。下りリンクに比較して上りリンクの電力効率が非常に高い傾向があるため、提案法では設定する  $\alpha$  値を減少させるほど総合電力効率は増大した。

## 4. まとめ

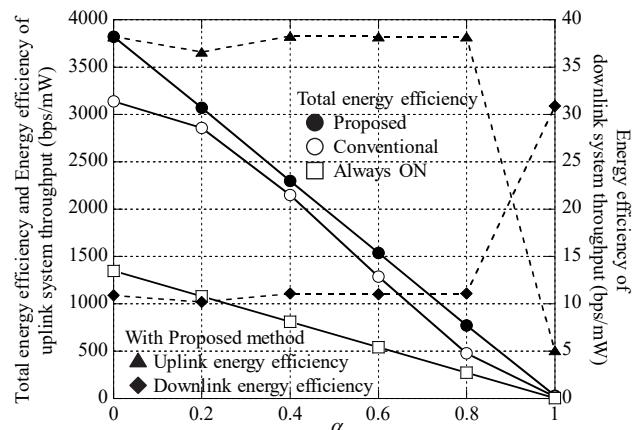
提案法は、各基地局の適切な ON/OFF 状態を自律分散型制御で実現することにより、上下リンク総合のシステムスループットの電力効率を増大することができた。

## 参考文献

[1] N. Uji and K. Higuchi, in Proc. IEEE VTS APWCS2019, Tokyo, Japan, June, 2019. [2] Z. Hasan, H. Boostanimehr, and V. K. Bhargava, IEEE Commun. Surveys and Tutorials, vol. 13, no. 4, Oct. 2011. [3] W. Xiao, et al., in Proc. IEEE VTC2006-Fall, Montreal, Canada, Sept. 2006.

表 1.  $\alpha$  に対するマクロ・ピコ基地局を ON とする平均確率

$\alpha$	Proposed method		Conventional method	
	Macro BS (%)	Pico BS (%)	Macro BS (%)	Pico BS (%)
0.0	0.53	82.35	13.15	79.68
0.2	0.55	81.94	3.65	77.66
0.4	0.53	82.33	0.57	73.88
0.6	0.53	81.69	0.59	69.04
0.8	0.53	82.20	0.60	60.66
1.0	0.51	29.15	0.38	57.36

図 1.  $\alpha$  に対する各種電力効率