

# 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 基地局間独立オンライン型周波数ブロック毎適応送信電力制御法

## Frequency Block-Dependent Online Probabilistic Transmission Power Control of Base Stations Based on Observed System Throughput in Heterogeneous Networks

B-5

稲葉 亮  
Ryo Inaba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、先に提案されたシステムスループット観測値に基づく各基地局のオンライン送信電力制御法[1]について、各基地局のシステム帯域幅を複数の周波数ブロックに分割しうえで周波数ブロック毎に送信電力を制御する拡張構成を提案する。

### 2. 提案法

ヘテロジニアスネットワークにおける多数のピコ基地局の使用はセル間干渉の増大につながる。それゆえ、各基地局の送信電力を適切に制御することが、ヘテロジニアスネットワークによるシステム性能の改善効果を最大限に高めるうえで重要である。送信電力制御における本稿の目的は、システムカバレッジ内のシステムスループットを向上させることである。

文献[1]では、各時刻  $t$  におけるシステムスループット観測値  $C[t]$  と各基地局  $n$  での送信電力状態の変化を基に、基地局  $n$  の送信電力  $p_n[t]$  を基地局間の連携に頼らずオンラインで適応制御する方法が提案された。しかし、文献[1]の方法（以降従来法と呼ぶ）ではシステム帯域全体の送信電力を一括で制御していたため、提案法では、システム帯域を複数の周波数ブロックに分割し、周波数ブロック毎の制御に拡張することにより、更なるシステムスループットの改善を実現する。

以降、提案法を説明する。システム帯域幅を分割して用意される周波数ブロック数を  $F$  とする。提案法では、 $J$  個の送信電力候補をあらかじめ用意する。基地局  $n$  で用意された  $j$  ( $j = 1, \dots, J$ ) 番目の送信電力候補値を  $p_n^{\text{cand}}(j)$  とする。離散時刻  $t$  における基地局  $n$  の周波数ブロック  $f$  ( $f = 1, \dots, F$ ) の送信電力を  $p_{n,f}[t]$  と表記する。また、基地局  $n$  の周波数ブロック  $f$  において、時刻  $t$  で  $p_{n,f}[t] = p_n^{\text{cand}}(j)$  とする確率を  $q_{n,f,j}[t]$  とする。提案法では、時刻  $t-1$  から  $t$  の間でのシステムスループットの変化量  $\Delta C[t] = C[t] - C[t-1]$  と当該時刻における各周波数ブロックの送信電力値  $p_{n,f}[t], p_{n,f}[t-1]$  に基づいて、次時刻  $t+1$  における  $q_{n,f,j}[t]$  を各基地局  $n$  で独立に適応制御する。

具体的には、 $\Delta C[t]$  が正の場合は、次式に従って  $q_{n,f,j}[t]$  を更新する。

$$q_{n,f,j}[t+1] = \begin{cases} \min \{ q_{n,f,j}[t] + \varepsilon, 1 - \rho \}, & p_{n,f}[t] = p_n^{\text{cand}}(j) \cap p_{n,f}[t-1] \neq p_n^{\text{cand}}(j) \\ \max \{ q_{n,f,j}[t] - \varepsilon, 0 + \rho \}, & p_{n,f}[t-1] = p_n^{\text{cand}}(j) \cap p_{n,f}[t] \neq p_n^{\text{cand}}(j) \\ q_{n,f,j}[t], & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで  $\varepsilon, \rho$  は十分小さな正の定数である。 $\rho$  は  $q_{n,f,j}[t]$  が 1 もしくは 0 に固定されることを避けるために実装されている。すなわち、時刻  $t$  で周波数ブロック  $f$  に適用された送信電力候補  $j$  の  $q_{n,f,j}[t]$  は増大させ、時刻  $t-1$  で適用された送信電力候補  $j$  の  $q_{n,f,j}[t]$  は減少させる。これは、時刻  $t$  でシステムの状態が改善したため、時刻  $t$  で用いられた送信電力候補を次時刻  $t+1$  でも適用されやすくするためである。また、 $\Delta C[t]$  が負の場合には逆の操作を行う。その後、更新された  $q_{n,f,j}[t+1]$  に基づいて  $p_{n,f}[t+1]$  が確率的に決定される。提案法では、各時刻  $t$  において全基地局の電力状態は変化するため、各ユーザは決定された電力状態を基に接続セル選択を更新する。提案法は、従来法と比較して、周波数ブロック毎に異なる送信電力に制御できるため、より粒度の細かい制御が実現され、また基地局間での干渉コーディネーションも自律分散的に実現できるため、更なるシステムスループットの増大が期待できる。

### 3. シミュレーション評価

提案法のスループット特性を計算機シミュレーションにより評価した。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。伝搬モデルとしては表に示す距離減衰とシャドウイングを模擬した。提案法における周波数ブロック数  $F$  は 3 とした。送信電力候補数  $J$  は 5 とし表に示す値を用いた。 $\varepsilon, \rho$  は共に 0.01 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。ただし、接続セル選択の結果接続ユーザ数が 0 となった基地局は、データチャネルを送信しないため、他の基地局に接続されたユーザに与える干渉電力は 10% 値に抑えられると想定した。

図 1 に提案法のシステムスループットの時間変動を示す。横軸の時間単位は送信電力の更新周期である。比較のため、周波数ブロック数を 1 とした文献[1]の従来法、及び全基地局が常に最大送信電力で送信する場合の結果も示す。提案法は、従来法とほぼ同等の収束速度を維持したうえで、収束後のシステムスループットを 6% 程度増大できた。

### 4. まとめ

提案する周波数ブロック毎送信電力制御法は、従来法と比較してシステムスループットをさらに改善できた。

### 参考文献

[1] T. Saito and K. Higuchi, "Improved Algorithm for Online Probabilistic Transmission Power Control of Base Stations Based on Observed System Throughput in Heterogeneous Networks," in Proc. APCC2017, Perth, Australia, 11-13 Dec. 2017.

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 <sup>2</sup>
	Pico BS	25 / km <sup>2</sup>
	User terminal	30 / km <sup>2</sup>
BS transmission power	Macro BS	Maximum 46 dBm
	Pico BS	Maximum 30 dBm
Distance-dependent path loss	114.1 + 37.6 log <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	
$\{p_n^{\text{cand}}(j)\}$	Macro BS	41.2, 36.2, 31.2, 26.2, -100 dBm
	Pico BS	25.2, 20.2, 15.2, 10.2, -100 dBm

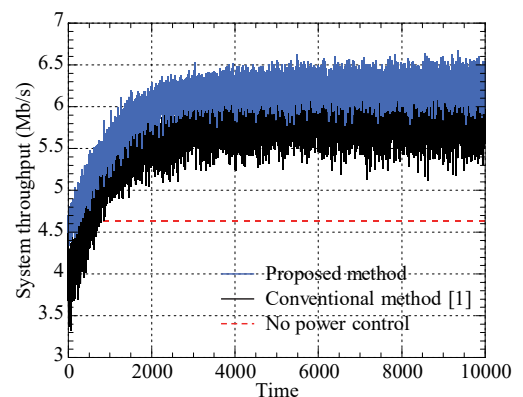


図 1. システムスループットの時間変動