

Affinity Propagation を用いた基地局動作決定に関する研究

Base Station Operation Based on Affinity Propagation in Cellular Networks

高橋 一成

Kazunari TAKAHASHI

安達 宏一

Koichi ADACHI

電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター

Advanced Wireless & Communication Research Center (AWCC), The University of Electro-Communications

1 まえがき

近年のセルラーネットワークでは、増大するモバイルトラフィック量に対応するためスモールセル基地局 (SBS) を高密度に配置している。しかし全時間帯において全ての SBS を稼働させることはエネルギー効率の低下を招く。本研究では、ネットワークのエネルギー消費量を削減できる基地局スリープ技術 [1] および SBS 間のクラスタリング手法に Affinity Propagation (AP)[2] を用いて、UE の観点から適した SBS の動作を決定する。

2 システムモデル

エリア内にポアソン点過程 (PPP) で配置された UE (強度 λ_{UE}) が、同様に配置された SBS (強度 λ_{BS}) からのパイロット信号を受信し、その受信信号強度 (RSS) を SBS にフィードバックすることを想定する。AP により SBS 間のクラスタリングを実行し、クラスタ代表点に選ばれた SBS はアクティブモードを継続し、それ以外の SBS はスリープモードに移行する。その後ある一定の周期 T_{trans} 毎にスリープ状態の BS の 1 つをアクティブモードに移行させる。

3 Affinity Propagation (AP) [2]

AP は図 1 のようにノードをクラスタリングし、クラスタ代表点となる Exemplar を決める手法である。AP ではノード間の Similarity $s(q, k)$ ($q, k \in Q$) を用いる。ここで Q はノードの集合、 $s(q, q)$ は Preference といい、クラスタ数 $s(q, k)$ の最小値を用いることが多い。次に $s(q, k)$ を用いて Responsibility $r(q, k)$ と Availability $a(q, k)$ を全ノード間に対して再帰的に計算する。 $r(q, k)$ はノード q にとってノード k が Exemplar としてどれほど適切かを表す値であり、 $a(q, k)$ はノード q がノード k を Exemplar として選択することがどれほど適切かを表す値である。これらの値は以下の式 (1), (2) により計算される。

$$r(q, k) \leftarrow s(q, k) - \max_{k' \in S, k' \neq k} \{a(q, k') + s(q, k')\} \quad (1)$$

$$a(q, k) \leftarrow \begin{cases} \min\{0, r(k, k) + \sum_{q' \in S, q' \neq q, k} \max\{0, r(q', k)\}\} & (q \neq k) \\ \sum_{q' \in S, q' \neq k} \max\{0, r(q', k)\} & (q = k) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $a(q, k)$ の初期値は 0 である。また、Criterion $c(q, k) = r(q, k) + a(q, k)$ が収束した時にアルゴリズムが終了する。アルゴリズム終了後にノード q の Exemplar $k_q = \arg \max_{k \in Q} c(q, k)$ を選択する。

4 提案法

本研究では、エリア内にいる UE からの RSS を使用して SBS 間の Similarity を計算する。さらに AP で計算済の Responsibility を再度利用して SBS のアクティブ移行を行う。この値が最小となる SBS をアクティブにすることによって、ネットワーク全体の SBS を効率よく稼働させることが可能となる。

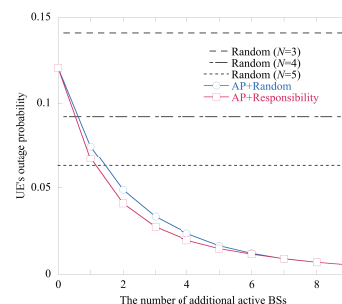
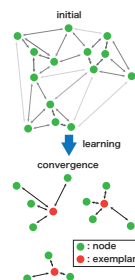


図 1: AP の概念図 図 2: 追加 BS 数に対する UE のアウトエージ率

5 シミュレーション結果

エリア内 (2×2 [km²]) に SBS と UE がそれぞれ強度 $\lambda_{BS} = 5$ [1/km²], $\lambda_{UE} = 100$ [1/km²] の PPP に従って配置される環境を想定した。1 フレーム長を $T_{frame} = 10$ [ms] とし、一定の周期 $T_{trans} = 1000$ [frame] 毎にエリア内の SBS を追加で 1 台アクティブにさせた。AP の入力データとなる Similarity には、配置された UE 数の 10% の RSS を用いた。SBS の送信電力は $P_{SBS} = 30$ [dBm] に設定した。通信路は伝搬距離に依存するパスロスと空間相関を有するシャドウイングチャンネルに従うものとし、RSS が閾値 $\Gamma_{RSS} = -100$ [dBm] 未満の場合、UE はアウトエージとした。

図 2 に追加でアクティブにした SBS の数と UE のアウトエージ率の関係を示す。AP+Random は AP でクラスタリング後にランダムに SBS をアクティブに、AP+Responsibility は AP と提案法に基づいて SBS をアクティブにした場合のアウトエージ率を示す。比較のために AP を行わずにランダムに N 台の SBS をアクティブにした場合のアウトエージ率も示す。AP の適用により UE のアウトエージ率を低く抑えられていることが分かる。さらに、AP に加えてどの SBS を追加でアクティブにすることを Responsibility 値に基づいて戦略的に行うことによって、ランダムにアクティブにするよりもアウトエージ率を相対値で最大約 20% 低減できていることが分かる。

6 まとめ

本研究では、AP を用いて SBS の動作を決定する方法を提案し、提案法が UE のアウトエージ率を低減できることを明らかにした。

謝辞

本研究の一部は (財) 電気通信普及財団研究助成によって行われた。

参考文献

[1] C. Liu, B. Natarajan, and H. Xia, "Small Cell Base Station Sleep Strategies for Energy Efficiency", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 3, pp. 1652-1661, Mar. 2016. [2] B. J. Frey and D. Dueck, "Clustering by passing messages between data points", *Science*, 315:972-976, 2007.