

# センサネットワークにおける情報収集のためのクラスタリング手法

Distributed Clustering Method for Energy-Efficient Data Gathering in Sensor Networks

上村純平  
Junpei Kamimura

若宮直紀  
Naoki Wakamiya

村田正幸  
Masayuki Murata

大阪大学 大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

## 1 まえがき

センサネットワークにおける長期間の観測のためには、電力効率のよい情報収集機構が必要不可欠である。メッセージ送信における消費電力は送信距離の2乗に比例するため [1]、電力消費を抑えるためには近接するセンサ端末でクラスタを構成し、残余電力の多いセンサ端末がクラスタヘッドとなってクラスタ内のセンサ端末から情報を集約して基地局に送信するのがよい。無作為に導入された数百～数千のセンサ端末を集中制御するのは非効率かつ非現実的であること、また、センサ端末の動的な導入、移動、停止にも柔軟に対応しなければならないことから、情報収集機構は分散型で、センサネットワークの変化に対する適応性を有することが求められる。

そこで本稿では、局所的な情報交換にもとづいてセンサ端末が自律分散的に適切なクラスタを構成するクラスタリング手法を提案し、シミュレーションによる評価によってその有効性を示す。

## 2 電力効率のよい自律分散型のクラスタリング手法

提案手法は、オブジェクトのクラスタリングアルゴリズムである ANTCLUST [2] をセンサネットワークに適用したものである。ANTCLUST は、蟻の化学物質による仲間識別の仕組みを応用したクラスタリングを行う。ANTCLUST では、類似度を定義できるオブジェクトの集合に対し、オブジェクトを蟻、クラスタを巣とみなし、ランダムに2つのオブジェクトを選択、遭遇させる。遭遇したオブジェクトは互いの類似度、および閾値などにもとづき、それぞれ同一クラスタに属するかどうかを判定する。十分な回数の遭遇により、クラスタが生成、統合、廃棄され、オブジェクトは類似度のより高いものからなるクラスタに所属するようになる。提案手法では、巣とクラスタ、蟻とセンサ端末、遭遇と無線通信、類似度と距離の近さをそれぞれ対応づけることにより、センサネットワークにおける自律的なクラスタ形成を実現する。

### 2.1 提案手法の概要

提案手法における1回の情報収集(ラウンドと呼ぶ)は、(i) クラスタヘッド立候補フェーズ、(ii) クラスタ形成フェーズ、(iii) 参加登録フェーズ、および (iv) 情報収集フェーズからなる。まず、クラスタヘッド立候補フェーズでは、残余電力の多いセンサ端末から、センサ端末の識別子、残余電力、座標などを限られた範囲にブロードキャストすることによりクラスタヘッドに立候補する。他のブロードキャストを受信したセンサ端末は立候補し

ない。次に、クラスタ形成フェーズでは、クラスタヘッドではないセンサ端末の一部がクラスタに関する情報をブロードキャストする。周囲のセンサ端末は、自らのクラスタと比較して、よりよいクラスタに所属する。以降、センサネットワークのためのクラスタリング手法としてよく知られる LEACH [1] と同様に、参加登録フェーズでセンサ端末はクラスタヘッドに自らを登録し、情報収集フェーズでクラスタヘッドに指定されたスケジュールに従って、クラスタヘッドに情報を送信する。クラスタヘッドは全てのセンサ情報を受信後、これらを集約して基地局に送信する。

センサ端末は、識別子  $i$ 、残余電力  $e_i$ 、座標  $l_i$  を持つ。なお、センサ端末は GPS や位置検出機構により、自身の位置を知ることができるものとする。また、クラスタ形成のため、クラスタヘッドの識別子  $head_i$ 、残余電力  $E_i$ 、および座標  $C_i$ 、クラスタメンバ数の見積値  $M_i$ 、閾値  $Template_i$ 、クラスタヘッドへの立候補確率  $P_i$  を管理する。閾値および立候補確率は、常に保持、更新されていく。他のパラメータは、ラウンドごとに初期化される。また、センサ端末は、センサネットワークへの導入時にクラスタヘッド立候補のブロードキャスト半径  $R$ 、クラスタ情報のブロードキャスト半径  $r$ 、ブロードキャストを行うセンサの割合  $P_{ex}$  を与えられる。

### 2.2 クラスタヘッド立候補フェーズ

ラウンドの開始時には、全てのセンサ端末は、自らをクラスタヘッドとみなす。

$$head_i \leftarrow i, E_i \leftarrow e_i, C_i \leftarrow c_i, M_i \leftarrow 1 \quad (1)$$

センサ端末は、これらをクラスタの情報として、自身の残余電力  $e_i$  とあわせて半径  $R$  の範囲にブロードキャストすることにより、クラスタヘッドに立候補する。立候補したセンサ端末は、そのラウンドで必ずクラスタヘッドになる。まだ立候補していないセンサ端末が、他の立候補メッセージを受信した場合、立候補を取りやめ、そのクラスタに所属する。

残余電力のより多いセンサ端末から立候補するために、クラスタヘッド立候補フェーズを  $n$  個のタイムスロットに分割し、センサ端末  $i$  は、 $n \cdot (1 - P_i)$  番目のスロットで立候補するものとする。立候補したセンサ端末は、立候補確率を下げる。

### 2.3 クラスタ形成フェーズ

クラスタヘッドに立候補しなかったセンサ端末のうち  $P_{ex}$  は、所属しているクラスタの情報を半径  $r$  の範囲に

ブロードキャストする．

センサ端末  $i$  が、センサ端末  $j$  のブロードキャストを受信したとする．センサ端末  $i$  がクラスタヘッドに立候補していない場合、センサ端末  $j$  の属するクラスタのクラスタヘッド  $head_j$  と自身との距離を閾値  $Template_i$  と比較し、受理、拒絶を判定する．

$$Acceptance(i, j) \Leftrightarrow (d(i, head_j) \leq Template_i) \quad (2)$$

ただし、 $d(i, head_j)$  はセンサ端末  $i$  とクラスタヘッド  $head_j$  との距離を表し、それぞれの座標から算出する．受理の場合は、クラスタを比較する．同じクラスタに属する場合は、クラスタ規模の見積値の拡大を行う．

$$M_i \leftarrow M_i + 1 \quad (3)$$

異なるクラスタに属する場合は、センサ端末  $i$  により近く、より残余電力の大きいクラスタヘッドを有する、よりメンバ数の少ないクラスタに属する．

$$head_i \leftarrow head_j, E_i \leftarrow E_j, C_i \leftarrow C_j, M_i \leftarrow M_j + 1, \quad (4)$$

$$\text{if } \left( \frac{E_j}{M_j \cdot d^2(i, head_j)} \geq \frac{E_i}{M_i \cdot d^2(i, head_i)} \right)$$

上記以外の場合、センサ端末は何も行わない．

クラスタヘッドに立候補しているかどうかに関わらず、センサ端末  $j$  の残余電力  $e_j$  と自身の残余電力  $e_i$  を比較し、立候補確率  $P_i$  を  $e_i > e_j$  ならば  $p$  だけ増加、 $e_i < e_j$  ならば  $p$  だけ減少させる．ただし、 $p$  は、 $p = [0, 1]$  を満たす定数である．次に閾値を更新する．

$$Template_i = \frac{\overline{d(i, \cdot)} + \text{Max}(d(i, \cdot))}{2} \quad (5)$$

ここで、 $\overline{d(i, \cdot)}$ 、 $\text{Max}(d(i, \cdot))$  は、それぞれセンサ端末  $i$  がこれまでにブロードキャストの受信により得たすべてのクラスタ情報におけるクラスタヘッドとの距離の平均値と最大値を表す．

### 3 シミュレーションによる評価

シミュレーションにより、提案手法の有効性を評価した．電力消費モデルは、[3, 4] のものを用いた． $100 \times 100$  の領域中に、ランダムに 100 台のセンサ端末を配置し、基地局の座標は (50, 175) とした．また、センサ端末の初期電力は、全て 0.5 J とした．図 1 にラウンド開始時の生存センサ端末数について、提案手法と LEACH [1]、LEACH において残余電力を考慮した手法 [3] (以下 e-LEACH と表記する)、および提案手法と同様の特徴を持つ HEED [4] を比較した結果を示す．また、図 2 に、そのラウンドまでに基地局で受信したセンサ情報の累計を示す．なお、比較にはそれぞれの手法で最もよいパラメータ設定を用いた．

生存センサ数、センサ情報数の両方において、提案手法が、最もよい性能を示している．提案手法は、HEED に比べクラスタ形成時のブロードキャストの回数が少ないため、消費電力が少なく、よい結果を示している．なお、e-LEACH が LEACH よりも性能が劣っているのは、残余電力の管理のためメッセージが長くなり、LEACH よりも消費電力が大きくなっているためと考えられる．

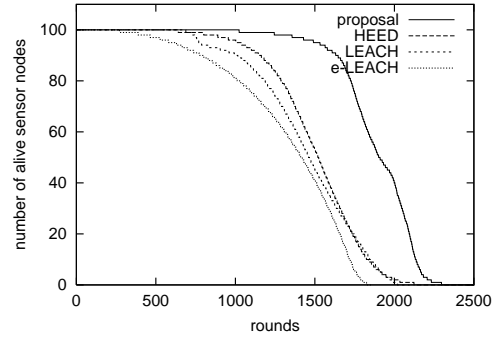


図 1 ラウンド開始時の生存センサ数

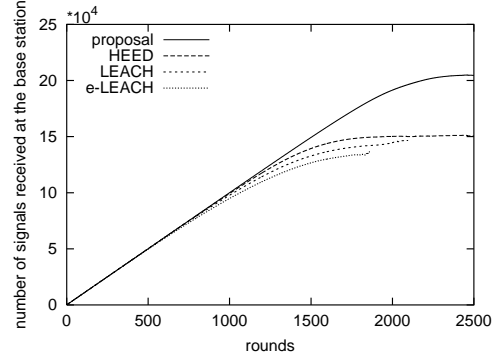


図 2 基地局で受信したセンサ情報の累計

## 4 むすび

本稿では、センサネットワークにおける電力効率のよい情報収集のためのクラスタリング手法を提案し、他のクラスタリング手法と比較して、センサネットワークの長寿命化、およびより多くのセンサ情報収集が実現できることを示した．今後は、より大規模なセンサネットワークへの適用のため、クラスタヘッド間でマルチホップ通信を行う手法について検討したい．

謝辞

本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム (研究拠点形成費補助金) および文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A)(2)16200003 「メタ情報環境を実現するネットワーク技術の確立」によっている．ここに記して謝意を表す．

### 参考文献

- [1] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *Proceedings of HICSS-33*, pp. 3005–3014, January 2000.
- [2] N. Labroche, N. Monmarché, and G. Venturini, "A new clustering algorithm based on the chemical recognition system of ants," in *Proceedings of ECAI 2002*, pp. 345–349, July 2002.
- [3] W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 660–670, October 2002.
- [4] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed clustering in ad-hoc sensor networks: A hybrid, energy-efficient approach," in *Proceedings of IEEE INFOCOM*, March 2004.