

# WSN シンクノード配置問題における 通信負荷均衡化のための駆動端末最適制御

後藤 典<sup>†</sup>      米田 征司<sup>†</sup>      能登 正人<sup>†</sup>

神奈川大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

近年、ユビキタス情報化社会を進展させる重要なネットワーク技術として、無線センサネットワーク (WSN: Wireless Sensor Networks) の研究が進められている。WSN は、大規模数のセンサを用いて広範囲をセンシングすることが可能であり、オブジェクトの追跡や災害救助活動の支援など、様々なシステムへの利用が期待できる。WSN 実現のための重要な課題の1つとして、シンクノードの配置問題がある [1]。

本稿では、シンクノード配置決定のために、観測領域の被覆を考慮した駆動制御型シンクノード配置手法を提案する。提案手法では、最適化アルゴリズムである、複層型 Artificial Bee Colony (ABC) アルゴリズム及び改良型逐次起動法を用いる。観測要件を満たすセンサの選定と通信半径の適切な制御を行うことで、各センサの負荷均衡化を考慮したシンクノード配置決定を可能にする。評価に際しては、データ到達率の観点からシミュレーション実験を行い、提案手法の有効性について議論する。

## 2 シンクノード配置問題

文献 [1] では、シンクノード配置位置の決定のために、ネットワーク内の通信回数である総ホップ数を最小にする評価関数である式 (1) を用意し、その評価関数の最適化を行った。ここで、 $s$  はシンクノード数、 $T$  は次元数、 $sn_i$  ( $i = 1, \dots, s$ ) はシンクノード  $i$  の配置座標 ( $x_1, x_2$  軸成分) を表す。また、 $hops(sn_i)$  は、シンクノード  $i$  を最も近いシンクノードとする全センサから送信されたパケットが、シンクノード  $i$  に到達するまでの総ホップ数である。

$$x = \begin{bmatrix} sn_1 \\ \vdots \\ sn_s \end{bmatrix}, sn_{i(i=1, \dots, s)} = (x_1, x_2)^T$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^s hops(sn_i) \quad (1)$$

シンクノードの配置手法の提案により、各センサの負荷分散性及び省電力性は向上した。しかし、ネットワークの広域化により発生する特定の負荷集中ノード問題を解決できていないため、シンクノードの配置決定のための評価関数に改善の余地が残されている。ま

た、大規模 WSN を想定しているにもかかわらず、センサの観測領域の重複を考慮していない。よって、特定の負荷集中ノードを発生させずに各センサの負荷分散性能をさらに向上させる評価関数、そしてその解をより効率的に求めることが可能な最適化アルゴリズムが必要となっている。

## 3 複層型 ABC アルゴリズム

ABC アルゴリズムは、蜜蜂の群れによる採餌行動に着想を得た群知能アルゴリズムであり、食物源と3種類の蜜蜂群が基本要素となる [2]。

**Employed Bees (収穫蜂)**: 特定の1つの食物源を担当し、その近傍のより評価の高い食物源を探索する。

**Onlooker Bees (追従蜂)**: 収穫蜂が記憶した情報から、相対的に評価の高い食物源の近傍を探索する。

**Scout Bees (偵察蜂)**: 各偵察蜂は、新たな食物源の発見のためランダムに探索する。

食物源の位置は、対象問題の解候補を表しており、その数は全収穫蜂と等しい。また蜜蜂の総数は全収穫蜂と全追従蜂の数を加えた値である。各収穫蜂は、担当する解候補  $x_i$  に基づき、新たな解候補  $v_i = [v_{ij}]$  を生成して、適応度  $fit(v_i)$  を算出する。新たな解候補  $v_i$  の生成は、式 (2) で定義する。

$$v_{ij} = x_{ij} + rand[0, 1] \cdot (x_{ij} - x_{hj}) \quad (2)$$

ここで  $i$  と  $h$  は解候補の番号、 $j$  は目的関数の次元数を表す。つぎに、 $fit(x_i)$  と  $fit(v_i)$  とを比較し、 $fit(x_i) < fit(v_i)$  の場合、 $x_i$  を  $v_i$  で更新する。また、収穫蜂による探索において規定回、解候補の更新が行われなかった場合、その解候補を担当していた収穫蜂は偵察蜂となり、乱数によって生成した解候補と交換する。

本研究では、WSN における問題を効率的に解くための手法として、複数の準最適解を求めることを目的とした複層型 ABC アルゴリズムを提案する。以下では、導入した探索領域専属化手法を述べる。

まず、求める準最適解の個数  $m$  を決める。蜜蜂群の探索により準最適解を発見した場合、蜜蜂群はその準最適解周辺を専属的に探索する専属蜂群となる。以後専属蜂群は、探索点の更新や参照点の参照時には、同領域に専属化された蜂のみから選択を行う。元々、準最適解周辺を探索していた専属収穫蜂は、引き続きその解候補の探索を行い、準最適解領域に所属していなかった収穫蜂は、専属領域内に乱数によって生成した探索点と交換され、再配置される。このとき、各探索点の適合度の高い探索点は、次に生成する新たな蜜蜂群の探索に利用するためにコロニーデータを生成し、これまでの探索に関するログを残す。専属蜂群生成後は、次なる準最適解探索のために専属領域を除く領域の探索を行う新たな蜜蜂群を生成する。新しい蜜蜂群

Optimized Control of Drive Terminals for Balancing Communications Load in the WSN Sink Node Allocation Problem

<sup>†</sup>Tsukasa Goto, Seiji Yoneda and Masato Noto

<sup>‡</sup>Graduate School of Electrical, Electronics and Information Engineering, Kanagawa University

は、前代のコロニーデータの残留が確認される探索点、すなわち、引き続き探索を行うべき優良解を有する探索点にまず収獲蜂を配置し、残りの収獲蜂は、初期配置時と同様にランダムに配置する。以後、専属化を求める準最適解数  $m - 1$  に達するまで繰り返し行う。

#### 4 被覆アルゴリズム—改良型逐次起動法

環境の1重被覆を満たすセンサノードの集合を発見する改良型逐次起動法を提案する。以下にアルゴリズムを示す。

- Step 0** 全センサの被覆センサカウンタ  $r$  を0にする。
- Step 1** 環境の観測に必要なセンサを探索する。
- Step 2** 必要不可欠なセンサを被覆センサに設定する。
- Step 3** 被覆センサの観測領域を除く、各センサの観測領域内にある被覆されていない評価値を計算する。 $r$  が最小、かつ、評価値が最大のセンサを被覆センサに設定し、被覆センサの  $r$  を +1 する。
- Step 4** 全センサの被覆評価値を確認し、ゼロならば **Step 5** へ、そうでないなら **Step 3** へ戻る。
- Step 5** 全てのセンサが ( $r \geq 1$ ) となれば被覆終了、そうでないなら **Step 3** へ戻る。

#### 5 シミュレーション実験

WSNの長期間運用を実現するために、WSNのシンクノード配置問題に提案手法を応用し、その有効性を評価する。本実験では得られた複数のシンクノード配置案と複数の1重被覆センサ群から、各センサの送信電力の制御を試みる。その目的関数を以下の式(3)に示す。

$$f(x) = \frac{s^{-(n_{total} - n_{receive})}}{\sum_{i=1}^n (E_T(i) \times r(i))} \quad (3)$$

ここで、 $n_{receive}$  はシンクからの情報を受信できたセンサ数、 $E_T(i)$  はセンサ  $i$  の送信電力値、 $r(i)$  は改良型逐次起動法にて設定された、各センサの値である。

##### 5.1 実験環境

本研究では、固定のセンサが定期的にシンクノードに向かって送信を行う、データ収集型のWSNを想定する。シミュレーションパラメータを表1に示す。

##### 5.2 実験結果及び考察

本実験では、センサがランダムに配置されたフィールド内にシンクノードを、規則的に配置、従来手法であるホップ数のみを基にした配置、そして提案手法を基に配置した場合とで、データ転送率の推移を比較する。

表 1: シミュレーションパラメータ

センサ配置手法	ランダム
フィールドサイズ [m]	1000×1000
センサ数	1500
シンクノード数	10
通信半径 [m]	0~100
センシング半径 [m]	25

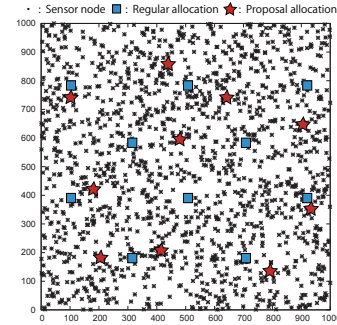


図 1: シンクノードの配置状況

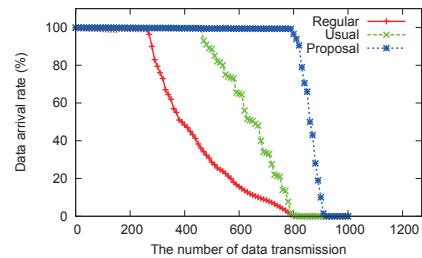


図 2: データ転送率の推移

まず、提案手法により導出されたシンクノード配置案を図1に示す。図2の結果より、規則的に配置する手法では、シンクノードに隣接するセンサへ通信負荷の偏りが生じることで、ネットワークから早期に離脱してしまうセンサが生じている。また、従来手法では、一定の負荷分散及び長期運用効果が見られるものの、粒度の高い各センサの粒度の高い制御はできておらず、そのため、徐々にデータ到達率の低下が確認できる。一方、提案手法では、適切な位置にシンクノードを配置し、かつ、一部のセンサをスリープモードに適宜移行させ、さらに、各センサの送信電力値集合を複数保有していることで、通信負荷の偏りを抑えることができ、負荷集中ノードの残余電力が無くなる直前まで効率の良い通信を行えていることがわかる。

#### 6 おわりに

本稿では、WSNにおけるランダムなセンサ配置の環境において、複層型ABCアルゴリズム及び改良型逐次起動法を用いることで複数のシンクノードの最適な配置位置を提供し、WSNの有効運用期間を延長させる手法を提案した。今後は、異なるデータの収集や検出が効率的に可能となる、多様な要件に対応可能な提案手法の検討を行う。

#### 参考文献

- [1] 宇谷明秀, 山本尚生: 複数の許容解を探索する Particle Swarm Optimization とその複数シンク無線センサネットワークにおけるシンクノード配置問題への適用, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J93-D, No. 5, pp. 555-567 (2010).
- [2] Karaboga, D. and Basturk, B.: On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, *Applied Soft Computing*, Vol. 8, No. 1, pp. 687-697 (2008).