

## 無線ノードの隣接関係に基づくアドホックネットワーク配置推定\*

東京電機大学理工学部情報システム工学科†

伊藤 啓 松垣 博章‡

## 1 背景と目的

複数の無線ノードがマルチホップ配送機能を用いてデータメッセージを交換するアドホックネットワーク等の無線マルチホップネットワークでは、データメッセージの無線マルチホップ配送のためのルーティングや位置情報サービス等のアプリケーションの実現、無線ノード群の配置状況 (配置範囲や配置密度) 把握のために、無線ノードの位置や無線ノード間の位置関係を活用する。各無線ノードの位置情報取得デバイスとして GPS (Global Positioning System) の使用を前提とする手法が提案されているが、Smart Dust [1] のような安価で小型軽量のセンサノードを散布配置する場合や GPS 衛星からの信号受信が困難な屋内配置無線ノードから構成されるアドホックネットワークでの適用は困難である。そこで、本論文では、各無線ノードがノード ID を無線信号到達範囲に定期的にブロードキャスト送信することによって、検出された隣接無線ノード集合の情報のみを用いて、アドホックネットワークを構成する無線ノードの配置を推定する手法を提案する。

## 2 関連研究

多くのアドホックネットワーク等の無線マルチホップネットワークでは、それを構成する無線ノードをあらかじめ定められた位置に正確に配置するのではなく、散布等の手段によって初期配置される。また、無線ノードの自律移動や外力による移動等によってその位置は経時的に変化する。このような環境において、GPS デバイスを搭載しない各無線ノード位置を取得する手法として、基地局等の固定無線ノードや GPS 等の位置取得デバイスを備えた少数の基準無線ノードを使用する手法が提案されている。

これらの多くは、各無線ノード  $N_i$  と複数の基準無線ノード  $B_j$  との距離  $|N_i B_j|$  を推定し、多辺測量 (Multilateration) によって各無線ノード位置を推定するものである (図 1)。AHLoS [2] と論文 [5] の手法では、各無線ノードと基準無線ノードとの間の 1 ホップ通信によって距離を推定する。AHLoS では、基準無線ノードから同時に送信された無線信号の無線ノードへの到達時間差を用いる。また、論文 [5] の手法では、基準無線ノードから送信された無線信号の受信強度を用いる。これらの手法では、複数の基準無線ノードからの無線信号が到達可能な領域にある無線ノード位置のみが推

定できることから、多数の基準無線ノードを設置する、位置推定を終えた無線ノードをも基準無線ノードに加える、等の手法を適用している。ただし、前者は高い設置コストを要し、後者は推定位置の誤差が拡大する問題がある。一方、DV-Hop [3] では、基準無線ノードと各無線ノードとの間で制御メッセージを無線マルチホップ配送し、その配送ホップ数から無線ノード位置を推定する。無線マルチホップ配送を用いることから、基準無線ノード密度が低い環境への適用が考慮されている。また、論文 [4] 等では、fingerprint を用いた手法が提案されている。これは、屋内等の狭領域を対象として、あらかじめ多数の位置における無線ノードと複数の基準無線ノードとの無線信号伝送特性 (受信強度等) を測定しておき、この特性とのパターンマッチングによって無線ノード位置を推定する手法である。

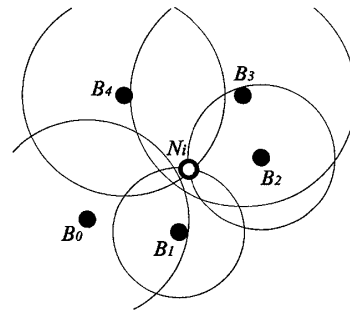


図 1: 多辺測量による無線ノード位置推定

このような手法では、各無線ノードの位置をより正確に取得するために、基準無線ノード配置密度を高くすることが求められる。これは、各無線ノードと基準無線ノード群との相対位置から無線ノード位置を推定するという考え方に基づいているためである。しかし、各無線ノードの相対的位置関係を用いれば、基準無線ノードが少数であってもより正確な位置取得が実現される可能性がある。ここで、無線マルチホップネットワークでは、各無線ノードがノード ID を無線信号到達範囲に定期的にブロードキャスト送信することによって、隣接無線ノード集合を定めることができる。そこで、本論文では、この無線ノード間の隣接関係情報のみを用いてアドホックネットワークを構成する無線ノードの配置を推定する手法を提案する。

## 3 配置推定手法

本論文では、図 2 のように、すべての無線ノードが直線上に配置されている場合を考える。また、各無線

\*Estimation of Ad-Hoc Network Topology based on Neighbor Relations among Wireless Nodes

†Tokyo Denki University

‡Kei Itoh and Hiroaki Higaki

ノードの無線信号到達距離は等しいものと仮定する。各無線ノードには ID があらかじめ付与されており、この ID を含むビーコンメッセージを定期的にブロードキャスト送信するものとする。各無線ノードは、すべての隣接無線ノードからビーコンメッセージを受信し、それらの ID を取得することができる。そこで、無線ノード  $N_i$  の隣接無線ノード集合を  $Nei(N_i)$  とする。このとき、位置推定可能な無線ノード群は互いにマルチホップ到達可能であることが必要である。もし、互いに到達不可能な無線ノードが存在する場合には、到達可能な無線ノード同士からなる複数の無線ノード集合に分割して提案手法を適用する。これらの分割されたノード集合間の位置関係は推定することはできない。

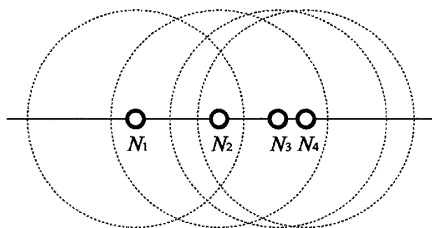


図 2: 一次元配置された無線ノード群

ここで、互いにマルチホップ到達可能な無線ノード集合  $\mathcal{N}$  に含まれる無線ノード  $N_i$  と  $N_j$  について、 $Nei(N_i) = Nei(N_j)$  であるならば、 $N_i$  と  $N_j$  の相対位置を特定することはできない。そこで、 $N_i$  と  $N_j$  は同一位置にあるものと推定し、 $\mathcal{N}$  から  $N_j$  を除去して位置推定を行なう。すなわち、 $\mathcal{N}' := \mathcal{N} - \{N_j\}$  かつ  $Nei(N_k) := Nei(N_k) - \{N_j\}$  ( $N_k \in Nei(N_j)$ ) とする。

次に、各無線ノード  $N_i$  の隣接ノード数  $|Nei(N_i)|$  について、以下の性質がある。

[性質 1]  $|Nei(N_i)| = \min_{N_k \in \mathcal{N}} (|Nei(N_k)|)$  を満足する無線ノード  $N_i$  は、無線ノード列の端点に位置する。

[性質 2]  $|Nei(N_i)| = \min_{N_k \in \mathcal{N}} (|Nei(N_k)|)$  を満足する無線ノードは  $\mathcal{N}$  に複数含まれることがある。

性質 1 より、隣接無線ノード数が最小である無線ノードが両端に位置する無線ノードの候補となる。しかし、性質 2 より、隣接無線ノード数が最小であっても無線ノード列の中間に位置するものも存在する。そこで、両端に位置する各無線ノード候補について、それらを無線ノード列の端点無線ノードと仮定して、 $\mathcal{N}$  のすべての無線ノードの配置が可能であるかを検証する。このとき、以下の性質がある。

[性質 3] 誤った端点無線ノード候補を端点として、すべての無線ノード配置を決定することはできない。

$N_i$  を端点無線ノード候補とするならば、無線ノード集合  $\mathcal{N} - \{N_i\}$  は、 $Nei(N_i)$  のいずれかを端点無線ノードとする配置でなければならない。ここで、 $\mathcal{N}' := \mathcal{N} - \{N_i\}$  かつ  $Nei(N_k) := Nei(N_k) - \{N_i\}$  ( $N_k \in Nei(N_i)$ ) とすると、この  $\mathcal{N}'$  のひとつの端点無線ノード

は  $Nei(N_i)$  のいずれかである。このとき、更新された新たな  $\mathcal{N}'$  にも性質 1 があることから、 $N_j \in Nei(N_i)$  のうち  $|Nei(N_j)|$  が最小となる無線ノードが端点無線ノードの候補となる<sup>1</sup>。この端点無線ノードの推定手続きを  $\mathcal{N} = \emptyset$  となるまで繰返すことによって、無線ノード列配置が推定される。提案手法の適用例を図 3 に示す。

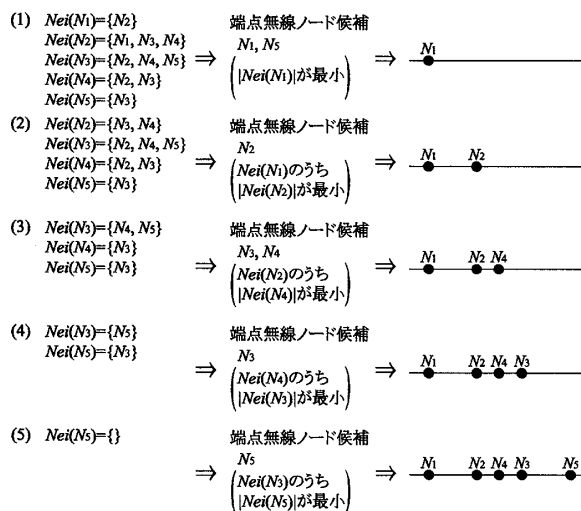


図 3: 提案手法の適用例

#### 4 まとめと今後の課題

本論文では、アドホックネットワーク等の無線マルチホップネットワークにおいて、無線ノード ID を含むビーコンメッセージの交換から得られる無線ノード間の隣接関係のみから、直線上に配置された無線ノード列の配置を推定する手法を示した。今後は、各無線ノード間距離が満足すべき条件を導出し、無線ノード列の分布範囲、分布密度推定の手法を構築する。また、平面上に分布する無線ノード群における位置推定手法への拡張を検討する。

#### 参考文献

- [1] Kahn, J.M., Katz, R. and Pister, K., "Next Century Challenges: Mobile Networking for "Smart Dust", Proc. of 5th Mobicom, pp. 271-278 (1999).
- [2] Savvides, A., Han, C. and Strivastava, A.B., "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors," Proc. of 7th Mobicom, pp. 166-179 (2001).
- [3] Niculescu, D. and Nath, B., "DV based Positioning in Ad hoc Networks," Telecommunication Systems, Vol. 22, pp. 267-280 (2003).
- [4] Battiti, R., Brunato, M. and Villani, A., "Statistical Learning Theory for Location Fingerprinting in Wireless LANs," Computer Networks, Vol. 47, No. 6, pp. 825-845 (2005).
- [5] 藤原, 寺西, 秋山, 春本, 竹内, 西尾, "無線電波強度分布に基づくユーザ存在範囲推定手法について," 情報研報, Vol. 2009-DPS-141, No. 24, pp. 1-6 (2009).

<sup>1</sup>このような  $N_j$  が複数存在することもある。この場合は、各端点無線ノード候補について  $\mathcal{N}$  のすべての無線ノードを矛盾なく配置することが可能であるかを順次検証する。