

周辺ノードにおける位置情報と受信信号強度に基づいた センサネットワークのための位置精度改善方式

山本 恵[†]

木村 成伴[‡]

筑波大学情報学群情報メディア創成学類[†] 筑波大学システム情報系情報工学科[‡]

1 はじめに

近年、周辺環境や設備機器の状態や健康状況などの情報を観測するセンサネットワークが注目されている。ここで観測された情報について、その観測位置が重要になる適用例が数多く存在する。しかし、GPS を搭載するとノード単価が高くなる他、その位置情報の測定のために多くの電力を消費するという問題があった。このため、GPS を搭載しないノードの位置把握が課題となっている [1]。本論文では、各ノードが一時的に通常よりも高い出力で信号を送出することが可能であることを前提とし、既存の位置推定手法である APIT (Approximate Point-in-Triangulation Test)[2] を基に、周辺ノードの位置情報とそれらのノードにおける受信信号強度を用いて位置精度を改善する方式を提案する。

2 APIT

APIT では、GPS を搭載し、信号の到達範囲が広いアンカノードをある程度の割合で配置する。そして、通常のノードは、複数のアンカノードからのビーコンを受信して、それらの位置情報から、図 1 に示すような三角形を構成し、自身が内側にあると判断した三角形の重複領域から、外側にあると判断した三角形の領域を除外した領域の内、もっとも多く重複した領域の重心を自身の推定位置としている。

ノードの位置を推定するため、APIT では、ノード密度が比較的高いことを仮定する。アンカノードからのビーコンの受信信号強度を、自身の周辺のノードと交換する。これにより、三角形を構成するアンカノード全てへの距離が近い、または遠いノードが存在する場合は三角形の外側にあり、そうでなければ内側にあると判断する。APIT では、どの三角形の内側にも入っていないと判断される場合、そのノードの位置を推定

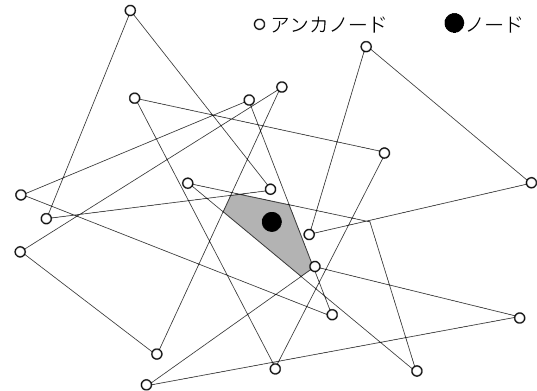


図 1: APIT による位置推定例

できなくなる。

3 提案方式

提案方式では、各ノードが一時的に通常よりも高い出力で信号を送出することが可能であることを前提とし、以下の手順で APIT の位置精度を改善する。

1. 位置推定を行えなかったノード a は、補助ビーコンを高出力でブロードキャストする。
2. 位置特定済みノードは、自分の座標と、1. で受信したノード a からの補助ビーコンの受信信号強度を高出力で返信する。
3. 返信を得られた全てのノードを 2 つ 1 組にしてそれぞれを通る直線を引き、その直線同士の交点 $v = (x_v, y_v)$ を求める。
4. 受信信号強度が一番小さいノードを n_{\min} と一番大きいノードを n_{\max} 、これらのノード間の距離を d とする。このとき、3. で求めた交点が、 n_{\min} の座標 (x_{\min}, y_{\min}) を中心とした正方形の中 $x_{\min} - d < x_v < x_{\min} + d, y_{\min} - d < y_v < y_{\min} + d$ に入っていない場合は、 v は a よりも離れすぎており、信頼性が低いと見なして除外する。そして、ノード

Improvement of Localization Algorithm Based on Position and Received Signal Strength Indicator of Surrounding Nodes in Sensor Network

[†]Megumi Yamamoto, College of Media Arts, Science and Technology, School of Informatics, University of Tsukuba

[‡]Shigetomo Kimura, Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

m, n の直線とノード o, p の直線の交点 $v = (x_v, y_v)$ に対し, m と n での受信信号強度の差と, o と p での受信信号強度の差を加えた値を $c(v)$ とする.

5. 得られた交点の集合を V とすると, ノードの推定位置 (X_e, Y_e) を以下の式で求める.

$$(X_e, Y_e) = \left(\frac{\sum_{v \in V} c(v)x_v}{\sum_{v \in V} c(v)}, \frac{\sum_{v \in V} c(v)y_v}{\sum_{v \in V} c(v)} \right)$$

4 シミュレーション実験

提案方式の有効性を示すため, 本章ではシミュレーション実験を行う. 各実験において, 250m×250m の範囲に通常ノードとアンカノードをランダムに散布し, APIT のみの推定精度と提案方式適用後の精度を比較する. 詳しいパラメータを表1に示す. 本実験では, 自由空間伝搬損失モデルを適用し, 受信信号強度を以下の式で求める [3]. ここで, λ は電波の波長, d は送受信ノード間の距離である.

$$\text{受信信号強度} = \text{送信信号強度} - \left(-10 \log_{10} \frac{\lambda^2}{16\pi^2 d^2} \right)$$

これにより, 表1の設定から, 通常ノードの通信半径は約 20m, アンカノードの通信半径は約 100m, 補助ビーコンの到達範囲は約 40m となる.

また, アンカノードの座標は正確に得られるとし, 全ての通信は誤りなく届くとする. また, APIT のときは, 全ての三角形の外側にあると判定されたときにノードの位置が推定できないとする. 提案方式では, 信頼性の低い交点除外後, 直線の交点が 2 つ未満のときにノードの位置が推定できないものとする.

表 1: シミュレーションパラメータ

パラメータ	値
ノード受信感度	-76.066597 dBm
通常ノード送信電力	-10 dBm
アンカノード送信電力	4 dBm
補助ビーコン送信電力	-4 dBm
周波数	2.4 GHz

以上の条件において, アンカノード数 N を 20 から 50 に変化させたときのシミュレーション実験を 8 回行った. そして, APIT における位置未推定ノード数 m_i と提案方式の位置未推定ノード数 m_j , 及び通常ノードの通信半径を 1 としたときの, ノードの真の位置と APIT による推定位置との誤差 ε_i と提案方式による推定位置

表 2: 相対誤差と相対位置未推定ノード減少率

N	$\Delta\varepsilon$	Δm	m_i	m_j
20	0.721 ± 0.053	0.795 ± 0.029	312.8	248.4
30	0.993 ± 0.005	0.675 ± 0.036	81.6	55.1
40	0.984 ± 0.008	0.522 ± 0.036	74.3	38.8
50	0.985 ± 0.008	0.418 ± 0.027	71.6	29.9

との誤差 ε_j を求め, それらの相対誤差 $\Delta\varepsilon = \varepsilon_j/\varepsilon_i$ と相対位置未推定ノード減少率 $\Delta m = m_j/m_i$ の平均値と信頼レベル 90%のときの信頼区間を求めた結果を, 表 2 に示す. この表から, 提案方式では, アンカノードが 20 台であっても, 位置の推定誤差が 30%程度減少することが分かった. また, アンカノードが増えると, 推定誤差の差は少なくなるが, アンカノードが増えるにつれて, 提案方式の位置未推定ノード数が減少し, アンカノードが 50 台のときは, APIT の未推定ノードの 58.2%の位置が推定できることが示された.

5 まとめ

本論文では, センサネットワークにおけるノードの位置推定アルゴリズム APIT の位置推定精度を改善する方式を提案し, シミュレーション実験により, その有効性を確認した. 但し, 単一の条件下でのみで評価していることから, 通信範囲などの条件を変えてシミュレーション実験を行い, その有効性を確認する必要がある. また, 位置情報交換に伴うオーバーヘッドや消費電力について評価することは, 今後の課題とする.

参考文献

- [1] 電子情報通信学会, “3 章 センサネットワーク,” 知識ベース知識の森. http://www.ieice-hbkb.org/files/04/04gun_05hen_03.pdf, (参照 2017-01-03).
- [2] Tian He, Chengdu Huang, Brian M. Blum, John A. Stankovic, and Tarek F. Abdelzaher, “Range-Free Localization and Its Impact on Large Scale Sensor Networks,” ACM Transactions on Embedded Computing Systems, Vol. 4, No. 4, pp. 877–906, 2005.
- [3] 総務省東海総合通信局, “コラム Vol .11 電波はどこまで飛ぶの?,” <http://www.soumu.go.jp/soutsu/tokai/mymedia/26/0324.html>, (参照 2017-01-10).