

無線センサネットワーク環境を考慮した 端末自己位置推定方式の提案

大野翔平^{†1} 安達直世^{†2} 滝沢泰久^{†2}

ユビキタスネットワーク社会の実現において、無線センサネットワークは重要な技術要素であり、これを用いた多様なサービスが検討されている。このようなサービスでは、センシングデータに加えて、その取得データの位置情報が重要な属性となる。位置情報取得方式の代表例としてはGPSが挙げられるが、屋内では利用できない。また、GPSを利用しない位置情報取得方式としては、無線メディアを用いた定点センシングなどが提案されているが、位置情報が既知である多数のアンカーノードが必要になるため、使用環境が制限される。この問題を解決し、屋内外問わず使用環境に制限がない位置推定方式として、我々はSOM(Self Organizing Maps)を用いた自己位置推定方式を提案している¹⁾。ただし、本方式はこれまでの研究から、無線センサネットワーク環境を考慮した条件下では、ブロードキャストパケットの損失など無線特性が原因となった問題点が確認されている²⁾。SOMを用いた位置推定方式は、無線センサネットワーク上での利用を前提としているため、これらの問題点には何らかの対策を取る必要があった。従って、本稿では、無線センサネットワーク環境を考慮したことによるパケット損失を抑え、位置推定精度の低下を軽減する方式を提案する。また、提案方式によるシミュレーション評価も行い、その結果を報告する。

Proposal of Terminal Self Location Estimation Method to Consider Wireless Sensor Network Environment

SHOHEI OHNO,^{†1} NAOTOSHI ADACHI^{†2}
and YASUHISA TAKIZAWA^{†2}

In ubiquitous computing, wireless sensor network is a key issue, and various services with wireless sensor networks are investigated. In such service, the location of the sensing data is important properties for them. The conventional location estimation system is GPS, and it is a major system. But it is not available in indoor. The other location estimation system is the fixed point sensing with radio, but it need prepared space with large number of anchor nodes. Therefore, the applied environment is restricted. To solve the problems,

we proposes the self-location estimation method to use SOM(Self Organizing Maps). it has been shows that the it can estimate the precise location of sensor nodes with the very small number of anchor nodes in comparison with the conventional triangulation. However, this method has problems for evaluated in consideration with the characteristics of wireless sensor networks. In this report, we propose modified terminal self location estimation method to consider wireless sensor networks. This method is reduce decrease in location estimation accuracy to suppress packet loss by having considere wireless sensor networks, and its result is reported.

1. はじめに

無線端末とセンサを組み合わせた無線センサネットワークは、人間の場所や状況に応じた情報処理サービスの実現を目指すユビキタスネットワーク社会において、重要な技術要素である。この無線センサネットワークでは、取得したデータの物理的な位置が重要な情報であるため、センサノードの位置を特定するための研究が数多く行われている。

現在、使用されている位置情報取得方式の代表例としてはGPS(Global Positioning System)が挙げられる。しかし、GPSでは衛星からの電波を受信できない山間部や屋内での使用が難しい。GPSを用いない位置推定方式としては位置情報が既知であるアンカーノードを配置し、そのアンカーノードとの距離関係から位置推定を行う方式がある。しかし、この方式では、位置推定を行うために大量のアンカーノードが必要となる。そのため、使用環境が制限され、拡張性、柔軟性に乏しいという問題点がある。

上記問題を解決し、屋内外問わず使用環境に制限がない位置推定方式として、我々はSOM(Self Organizing Maps, 自己組織化マップ)を用いた自己位置推定方式を提案している¹⁾。SOMとは、T.Kohonenにより考案された教師なし学習ニューラルネットワークの一種である。SOMを用いた位置推定方式は、この考えを応用し各ノード間で情報を共有することによって、各ノードが自律的に自己位置を測位する方式である。本方式は、シミュレーション評価により既存方式と比較し、極少数のアンカーノードで高精度な位置推定が可能であることが確認されている¹⁾。一方、無線センサネットワーク環境を考慮し、アクセス制御方

^{†1} 関西大学 理工学研究科

Graduate School of Engineering, Kansai University

^{†2} 関西大学 環境都市工学部

Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

式に CSMA/CA, 電波伝搬ロスにライスフェージングモデル³⁾を用いたシミュレーション評価において, 本方式の位置推定精度が低下するケースを確認した²⁾. 確認したケースは, 以下の通りである.

ケース 1

無線カバレッジのエッジに近くなると, 伝播ロスが大きくなるためフェージングによる受信電波の瞬時変動の影響で, データを損失する可能性が高い. このため, 位置推定精度は低下するが, その原因はトポロジ誤再現発生数が増加するためである.

ケース 2

CSMA/CA 方式を使用したことにより, 総ノード数が増加するとパケット衝突によるパケットロスが発生し, 位置情報更新回数が減少するため, 位置推定精度が低下する. 本稿では, 無線センサネットワーク環境を考慮し, ケース 2: CSMA/CA 方式による位置推定精度低下を軽減する方式を提案する. 提案方式は, 以下の二点から問題点を解決する.

- ブロードキャスト送信時のパケット損失を抑えるための位置情報交換通信方式
- 近傍ノード数に応じた SOM アルゴリズムの制御

これらの方式をシミュレータ上に実装し, 提案方式の評価・検討を行う.

以下, 2 章では, SOM を用いた位置推定方式についての詳細とこれまでの研究結果について述べる. 3 章では, 本稿で提案する方式について述べる. 4 章では, 提案方式に関するシミュレーション評価の結果を述べる. 最後に, 5 章では, まとめと今後の課題について述べる.

2. SOM を用いた位置推定

本章では, はじめに SOM を用いた位置推定方式について概説する. この方式は, 近傍ノードの仮位置情報と距離による多重制約を解くことによって自己位置を推定する方式である¹⁾. その後, これまでの研究で行われた SOM を用いた位置推定方式に関するシミュレーション評価結果を示し, 本方式の特性と問題点を説明する.

2.1 自己位置推定機能の概要

自己位置推定機能は, 端末自己位置単独測位機能, 端末間測距機能, 端末間組織化測位機能から構成されている (図 1). 端末自己位置単独測位機能とは, 端末の初期仮位置を決定する機能のことで, GPS などの測位機能を使用することを想定している. ただし, 本機能はオプションであり省略可能である. その場合, 初期仮位置は位置推定領域内のランダムな位置に設定される. 端末間測距機能は, 端末間の距離を測定する機能である. この機能に

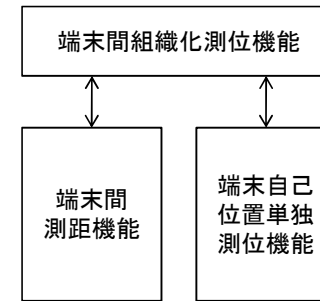


図 1 自己位置推定機能の構成
Fig. 1 Construction of self-location estimation function.

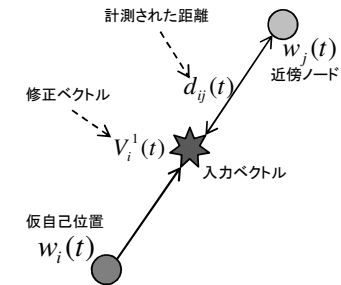


図 2 近傍ノードによる入力ベクトルと修正ベクトル
Fig. 2 Input vector and correction vector by neighbor node.

は, TOA (Time Of Arival), TDOA (Time Deference Of Arrival), RTOF (Roundtrip Time Of Flight) などの測距機能を想定している. 端末間組織化測位機能とは, 前に述べた 2 つの機能から得られた情報を利用し, 端末ごとの自己位置を推定する機能である. 本機能では, 自己位置が未知であり移動可能な端末 (以降, ノード) と位置が固定され, 自己位置が既知である端末 (以降, アンカノード) から構成されるネットワークを想定する. 各ノードは, 端末自己位置単独測位機能から位置情報を取得し, これを仮の自己位置とする. この仮自己位置情報と, ネットワーク内におけるノード識別子を仮位置情報として, 近傍ノードに送信する. 近傍ノードとは, お互いに直接通信可能なノードである. また, 仮位置情報の送信はブロードキャストにより実施される. 仮位置情報を受信した各ノードは, 受信した情報と, 端末間測距機能によって得られた送信元ノードとの距離情報から, 自身の仮自己位置情報を更新する. 更新した仮自己位置情報は, 定期的に行われるブロードキャストによって, 近傍ノードへと送信される. 以上のように, ノード間の通信はステートレスであり, 自己位置修正処理は各ノードごとに非同期, かつ独立に行われる.

2.2 SOM を用いた端末間組織化測位機能

SOM は T.Kohonen により 1981 年頃に発表された教師なし学習ニューラルネットワークで, 入力パターン群をその類似度に応じて分類する能力を自律的に獲得していくニューラルネットワークである⁴⁾. SOM の高次元データを低次元に変換する機能を利用して, 各種研究が行われている. また, Bonabeau は SOM をネットワークトポロジの再現に適用し, 定式化している⁵⁾. 端末間組織化測位機能は Bonabeau の手法をもとに, アドホックネット

ワークに応用し、そのトポロジを再現する。以下、そのアルゴリズムを説明する。

[Step.1] 各ノードにおいて自己位置単独測位機能から自己位置を取得する。この機能がない場合はランダムに自己位置を生成する。この自己位置を、仮の自己位置 $w_i(t)$ の初期値として、近傍ノードへ仮位置情報を配信する。 t は修正回数であり、仮自己位置の初期位置では $t = 0$ である。

[Step.2] 近傍ノード j から仮位置情報を受信したノード i は、端末間測距機能から近傍ノード j との距離 $d_{ij}(t)$ を取得する。近傍ノード j の仮位置 $w_j(t)$ 、その距離 $d_{ij}(t)$ により推定されるノード i の位置を入力ベクトル $m_i(t)$ とし、ノード i の仮自己位置を入力ベクトル $m_i(t)$ に近づける。すなわち、ノード i の仮自己位置と入力ベクトル $m_i(t)$ の距離 $|m_i(t) - w_i(t)|$ が最小となるような修正ベクトル $V_i^1(t)$ を生成する (図 2)。

$$V_i^{\{1\}}(t) = \frac{d_{ij}(t) - |w_i(t) - w_j(t)|}{|w_i(t) - w_j(t)|} (w_i(t) - w_j(t)) \quad (1)$$

また、修正処理の初期段階 (繰り返し回数が少ない) では、近傍ノード j の近傍ノード集合のうち、ノード i から 2 ホップであるノード (以降、2 次近傍ノード) の仮位置と距離により推定される位置を入力ベクトルとする。ここでの入力ベクトルは、精度より距離特性を優先させてトポロジの特徴を形成するためのベクトルとするため、ノード i と 2 次近傍ノード k との距離をノード i と近傍ノード j との距離 $d_{ij}(t)$ と近傍ノード j と 2 次近傍ノード k との距離 $d_{jk}(t)$ との和とする。ノード i の仮位置をこの入力ベクトルに近づけるため、次のような修正ベクトルを生成する (図 3)。

$$V_i^{\{2\}}(t) = \frac{d_{ij}(t) + d_{jk}(t) - |w_i(t) - w_k(t)|}{|w_i(t) - w_k(t)|} (w_i(t) - w_k(t)) \quad (2)$$

また、式 (1)(2) による修正を実施した上で、2 次近傍ノード k が近傍ノード j より近い (距離制約で矛盾がある) 場合、すなわち、 $|w_i(t) - w_j(t)| \geq |w_i(t) - w_k(t)|$ の場合、式 (2) 修正ベクトルの方向が誤っていると判断し、ノード i へのベクトル方向から近傍ノード j へのベクトル方向に変更し、次のような修正ベクトルを生成する (図 4)。

$$V_i^{\{2\}}(t) =$$

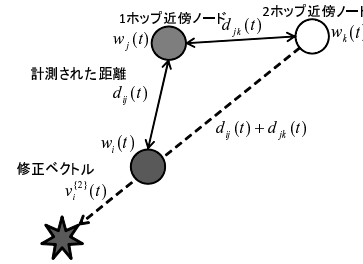


図 3 2 ホップ近傍ノードによる位置修正 1
Fig. 3 Positional correction with 2 hop neighborhood node 1.

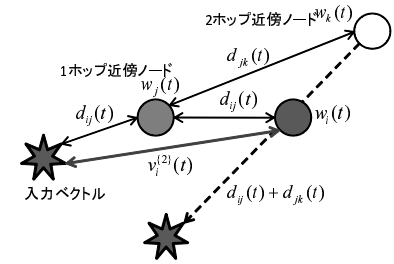


図 4 2 ホップ近傍ノードによる位置修正 2
Fig. 4 Positional correction with 2 hop neighborhood node 2.

$$w_j(t) - w_i(t) + \frac{d_{ij}(t)}{d_{jk}(t)} (w_j(t) - w_k(t)) \quad (3)$$

上記の修正ベクトル $V_i^1(t)$ から、次のように仮自己位置情報の更新を行う。

$$w_i(t+1) = \begin{cases} w_i(t) + \alpha_i(t) \cdot (V_i^{\{1\}}(t) + \sum_k V_k^{\{2\}}(t)) & t \leq \tau \\ w_i(t) + \alpha_i(t) \cdot V_i^{\{1\}}(t) & t > \tau \end{cases} \quad (4)$$

上式の τ は修正処理を距離特性を優先したトポロジ形成から局所最適によるトポロジの形を整える段階へ移行する繰り返し回数のしきい値である。また、 $\alpha_i(t)$ は t 回目の修正時のノード i の学習関数であり、次のようになる。

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} -1 & \theta \geq E_i(t) - E_i(t-1) \\ \eta \cdot |\alpha_i(t-1)| & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

$$E_i(t) = \sqrt{\frac{1}{N_i(t)} \sum_{j=1}^{N_i(t)} (d_{ij}(t) - |w_i(t) - w_j(t)|)^2} \quad (6)$$

ただし、 $E_i(t)$ は t 回目の修正時のノード i の近傍ノードとの距離平均誤差、 $N_i(t)$ は

ノード i の t 回目修正時における近傍ノード数, θ は近傍ノードとの距離平均誤差に関するしきい値, η は減衰定数である.

[Step.3] 前回の近傍ノードへの仮位置情報配信から一定時間経過後, 修正された仮自己位置を含む仮位置情報を近傍ノードへ配信する. この情報を得たノードが Step.2 を実施する.

以上の Step.2 および Step.3 を繰り返し, 各ノードは自己位置を推定し, ネットワークトポロジを再現する.

2.3 SOM を用いた位置推定方式のシミュレーション評価とその結果

これまでに実施された SOM を用いた位置推定方式に関するシミュレーション評価とその結果について示す. シミュレーション評価は, 位置推定アルゴリズムに関する評価を目的としたもの¹⁾ と, 無線センサネットワーク環境を考慮した条件下での精度評価を目的としたもの²⁾ の二種類が行われている. 位置推定アルゴリズムに関する評価では, 以下に示すような条件で検証が行われている.

- ネットワーク空間は 1.0×1.0 の平面領域と仮定
- 上記領域にノードをランダムに配置したネットワークトポロジを定義
- 端末間測距機能により得られる距離データは計測エラーのみとし, 電波伝播によるエラーは含まないものとする.
- 無線メディアアクセス制御は, 最適にスケジューリングされて衝突が発生しない状態を想定
- 電波伝搬は伝搬ロスや電波干渉が発生しない理想的な環境を想定

この評価から, 極少数のアンカーノードにおいて高精度に絶対位置を推定でき, さらに, 相対位置であればアンカーノードが不要であることが確認されている. しかし, このシミュレーションではパケット衝突や電波伝搬によるパケットロスなど現実の無線センサネットワーク環境での特性は考慮されていない.

上記の問題点を受けて行われた, 無線センサネットワーク環境を考慮した条件下での精度評価を目的としたシミュレーションの主な設定条件を以下に示す.

- 無線メディアアクセス制御には, CSMA/CA 方式 (IEEE802.11b) を想定
- 距離減衰は, 距離の二乗に反比例して電波強度が減衰する
- 無線電波伝搬には, ライスフェージングモデル³⁾ を用いることで, 無線電波の瞬時変動を考慮

この評価から, 無線センサネットワーク環境下でも SOM を用いた位置推定方式により,

端末の自己位置を推定できることは確認した. ただし, 伝播ロスが増大しフェージングによる受信電波の瞬時変動が起きた場合や, 総ノード数が増加した場合のブロードキャストパケット衝突により, パケットロスが発生するという問題も確認した. また, パケットロスの発生により位置情報更新回数が減少し, 位置推定精度が低下するという特性も確認した.

ただし, これまでの研究では上述の問題を解決する方式は提案されていない. 従って, 本稿では, これらの影響を考慮し位置推定精度の低下を軽減する方式を提案する.

3. 提案方式

前章で述べた問題点を解決するため, 本稿では, 無線センサネットワーク環境を考慮しケース 2: CSMA/CA 方式による位置推定精度低下を軽減する方式を提案する. 提案方式は, 以下の二点から問題点を解決する.

- ブロードキャスト送信時のパケット損失を抑えるための位置情報交換通信方式
- 近傍ノード数に応じた SOM アルゴリズムの制御

以下に, それぞれの提案方式の詳細を述べる.

3.1 フロー制御機能を追加した位置情報交換通信方式

無線センサネットワーク環境下での特性評価を目的としたシミュレーション評価から, 本方式の位置推定精度が低下するケースを確認していた. 位置推定精度が低下する原因としては, CSMA/CA 方式を使用したことにより, 総ノード数が増加しパケット衝突によるパケットロスが発生することがあげられる. これにより, 位置情報更新回数が減少し, 位置推定精度が低下する.

従って, 本稿の提案方式では, 各ノードの位置情報を交換する際のブロードキャスト通信方式に対して簡易的なフロー制御機能を実装した. このフロー制御方式は, 位置推定アルゴリズム上 (OSI 参照モデル, ネットワーク層とデータリンク層の中間層に相当) からブロードキャストパケット送信要求が発生した時間 t_0 と, データリンク層のキュー内での待機後, 物理層において実際にブロードキャストパケットが送信される時間 t_1 との遅延時間を測定し, これを利用している. データリンク層では CSMA/CA 方式を利用しているため, ブロードキャスト送信を行う前に周囲の電波状況を確認し, 他のノードが通信中であれば一定の時間間隔を置いてパケット送信を行っている. そのため, 自ノードの周囲に通信中の端末が増加するほど, データリンク層での待機時間は増加する. また, これにより, 測定される遅延時間も増加することになる. 本稿の提案方式では, 遅延時間に一定の閾値を設け, 測定された遅延時間が閾値以上になった場合には輻輳が発生していると判断する.

また、この方式には、検証用に2つのモードを用意している。以下に各モードの特徴を説明する。

- 通常モード：次回ブロードキャスト送信までの間隔を予め設定した送信間隔変更量だけ遅らせる。
- 指数増加モード：通常モードの送信間隔が指数的に増加するモードである。各ノードは送信間隔変更を行った回数を記憶し、送信間隔変更時に「変更回数×送信間隔変更量」を送信間隔の変更量として扱う。また、本モードでは、送信間隔変更量を $n/2$ 秒から n 秒 (n は送信間隔変更量の設定値) のランダム秒数としている。

3.2 近傍ノード数に応じた SOM アルゴリズム制御

SOM を用いた位置推定方式では、仮位置情報更新を一定の減衰量で収束させるため、式 (5) の学習関数 $\alpha(t)$ を用いている。式 (4) と式 (5) が示すように、条件が満たされていれば、仮位置情報更新の度に学習関数 $\alpha(t)$ により位置情報更新量は減衰する。従って、近傍ノード数が多く、かつ、仮位置情報の到達率が高い場合、受信する仮位置情報の数が増加し、位置情報更新量は急速に減衰する。すなわち、近傍ノード数が多く、かつ、仮位置情報の到達率が高い場合、SOM を用いた位置推定は、エラーを多く含む仮位置情報を多く採用し、早い段階で収束する。そのため、位置推定精度が低下する。

従って、上記問題を解決するために、節 3.1 における仮位置情報の到達率を上げる方式とともに、学習関数 $\alpha(t)$ を近傍ノード数の関数として SOM アルゴリズムの制御を行った。これにより、位置推定精度の低下を抑える。

4. 検証・評価

4.1 評価条件

提案方式の評価を行うための位置推定シミュレーションで想定した条件について述べる。シミュレーションを実施するにあたり、位置推定を行う空間は $500\text{m} \times 500\text{m}$ の平面として定義する。この平面上に位置が既知であるアンカーノード 3 個と、位置が未知であるノードを複数個ランダムに配置し、ネットワークポロジを形成する。シミュレーションで使用する無線規格は CSMA/CA 方式で最も普及している IEEE802.11b (Wi-Fi) の 1Mbps で、単独測位機能はないものとする。そのため、各ノードの仮自己位置の初期値は $500\text{m} \times 500\text{m}$ 平面内のランダムな位置とする。シミュレーション時間は 20 秒間で、ブロードキャスト送信間隔は約 0.5 秒とする (アンカーノードは約 0.25 秒)。ただし、ノードごとに自己位置情報の送信回数に上限 (本検証では通常ノード 20 回、アンカーノード 40 回に設定) を設

定しており、送信回数が上限に達したノードはその時点で自己位置情報の送信を終了する。また、本シミュレーションでは端末間測距機能は TDOA を用いることを想定し、測定距離に真値を 0 とする正規分布で誤差を追加している¹⁴⁾。

また、電波伝搬特性は次のように想定する。

- 距離減衰は、距離の二乗に反比例して電波強度が減衰する
- 無線電波伝搬には、任意の見通し内環境を想定し、ライスフェージングモデル³⁾ による受信信号の瞬時変動を与える

また、位置推定精度の評価関数には、推定した自己位置と実際のノード位置のユークリッド距離の差の総和として次の式のように定義する。以降この式によって求められた値を位置推定誤差 (Error) と呼ぶ。式中の N はノード数、 W_i はノード i の実際の位置 (真値)、 w_i はノード i の推定位置 (仮自己位置) である。

$$Error = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |W_i - w_i(t)|^2} \quad (7)$$

4.2 近傍ノード数に応じた SOM アルゴリズム制御に関する評価

まず、近傍ノード数に応じた SOM アルゴリズム制御に関する評価結果を図 5 に示す。ここでは、従来のシミュレーション方式で利用していた方式を用いた場合の位置推定精度と、近傍ノード数に応じた SOM アルゴリズム制御を実装した提案方式を用いた場合の位置推定精度とを比較する。

図 5 は、各ノードをランダムに配置した 100 通りのネットワークポロジに関してシミュレーションを実行し、その位置推定誤差の平均値をプロットしたものである。また、位置推定を実行した領域内の総ノード数は 10 個から 80 個の範囲で変化させた。図 5 からわかるように、従来方式では総ノード数の増加とともに位置推定誤差も増加し、位置推定精度が低下していることがわかる。これは、各ノードの近傍ノード数が増加した場合に減衰定数の減衰頻度が高くなりすぎる事が原因である。これにより、位置推定処理の初期段階で学習関数 $\alpha(t)$ の収束が過大に発生し、位置推定精度が低下している。一方、近傍ノード数に応じた SOM アルゴリズム制御を実装した提案方式では、位置推定誤差は低い値を取っており、位置推定精度が向上していることが確認できる。それぞれの条件での学習関数 $\alpha(t)$ の変化量は、図 6 に示す。図 6 からわかるように、従来方式では、位置推定処理の初期段階で学習関数 $\alpha(t)$ の減衰が過大に発生している。そのため、周囲と自己位置情報を交換することで、正確な位置情報へと収束を行うべきである自己位置修正処理の後半部分では、学習関

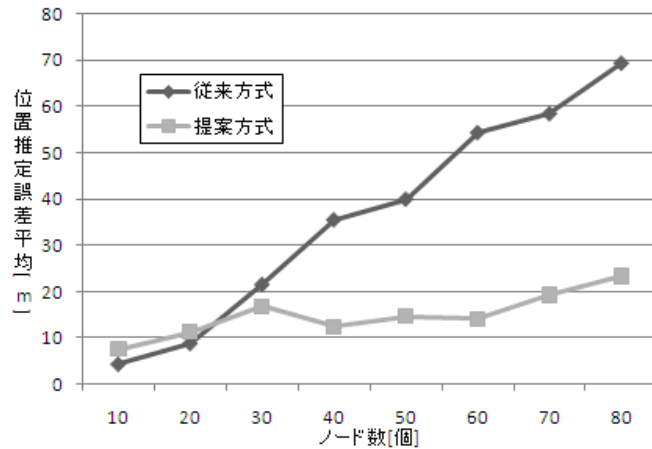


図 5 SOM アルゴリズム制御による位置推定精度の変化
Fig. 5 Change in location estimation accuracy with SOM algorithm control

数 $\alpha(t)$ の影響により、受信した位置情報がほぼフィードバックされない状況となっている。そのため、図 5 で示したように位置推定精度が低下する。一方、提案方式の学習関数 $\alpha(t)$ の値は、自己位置修正処理の前半部分での減衰が少なく、自己位置修正処理の後半部分でも比較的高い値を取っている。その結果、図 5 で示したように位置推定精度が向上する。

4.3 フロー制御機能を追加した位置情報交換通信方式に関する評価

ここでは、データリンク層遅延時間を利用しフロー制御機能を追加した位置情報交換通信方式に関する評価結果を図 7 に示す。本評価は、前節で評価を行った近傍ノード数に応じた SOM アルゴリズム制御は実装した状態で行うものとする。比較対象としては、改良型通信方式を実装していない場合の位置推定精度と、改良型通信方式を実装した場合の位置推定精度とを使用する。改良型通信方式に関しては、3 章で説明した通常モードと指数増加モードの 2 種類を使用する。

図 7 からわかるように、位置推定精度は従来方式が最も悪く、次に提案方式：通常モード、提案方式：指数増加モードという結果になった。この結果からも、提案方式の効果を確認できる。また、従来方式では領域内の総ノード数が増加すると、総ノード数に比例して位置推定誤差が増加する傾向があったが、提案方式では、この傾向が軽減されていることも確認できる。

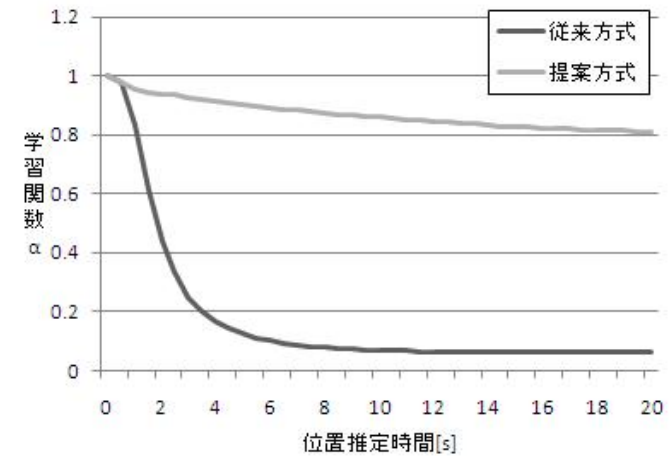


図 6 SOM アルゴリズム制御による減衰量の変化
Fig. 6 Change in attenuation quantity with SOM algorithm control

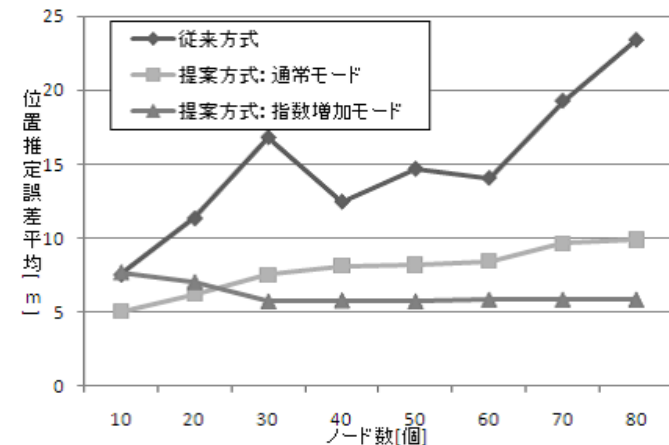


図 7 通信方式と位置推定誤差の関係
Fig. 7 Relation between transmission system and error.

また、グラフからは確認できないが、提案方式を用いたことによる影響もある。提案方式では、各ノードが自己位置情報のブロードキャスト送信を行う際に輻輳を検知した場合、次の送信間隔を遅らせる（ブロードキャスト送信間隔を伸ばす）という処理を行っている。そのため、領域内の総ノード数が多く輻輳が発生しやすい条件下では、送信間隔の遅れが増加する。その結果、位置推定処理が終了するまでにかかる時間は増加するという問題点がある。

5. ま と め

本稿では、無線センサネットワーク環境を考慮した場合の位置推定精度低下を軽減する方式を提案した。提案方式の変更点は、以下の二点である。

- ブロードキャスト送信時のパケット損失を抑えるための位置情報交換通信方式
- 近傍ノード数に応じた SOM アルゴリズムの制御

これらの提案方式をネットワークシミュレータ上に実装し、評価・検討を行った。この評価結果から、提案方式を用いた場合のほうが、従来方式より位置推定精度が良いことを示した。

ただし、提案方式を用いたことによる影響も確認されている。従って、今後も、SOM アルゴリズムの改良、ブロードキャスト送信を行う通信方式の改良等、多方面から位置推定精度向上を図る必要があるといえる。さらに、本研究の最終目的は、使用環境に制限がない無線センサネットワーク自己位置推定システムの実現であることから、シミュレーションによる評価にとどまらず、実際に無線端末を使用した検証実験も行う予定である。

謝辞 本研究は、平成 21 年度関西大学大学院理工学研究科高度化推進研究費によって行った。

参 考 文 献

- 1) 滝沢泰久, デイビス ピーター, 岩井誠人, 川合 誠, 小花貞夫: 無線アドホックネットワークによる自律的端末位置推定方式とその特性, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12 (2005).
- 2) 大野翔平, 安達直世, 滝沢泰久: 無線センサネットワーク環境における自己位置推定方式の特性評価, 情報処理学会研究報告 DPS144 No.2 (2010).
- 3) 高田潤一: 移動体衛星通信のための電波伝搬再入門, 電子情報通信学会 (2005)
- 4) T.Kohonen: Self-Organizing Maps, 3rd edition, Springer (2001).
- 5) E.Bonabeau and F.Henau: Graph Partitioning with Self-Organizing Maps, Pri-

- vate Communication (1998).
- 6) P.Bahl and V.N.Padmanabhan: RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system, Proc.IEEE INFOCOM 2000, vol.2, pp.775-784 (2000).
- 7) R.Want, A.Hopper, V.Falcao, and J.Gibbons: The active badge location system, ACM Trans.Inf.Syst., vol.10, no.1, pp91-102 (1992)
- 8) J.Hightower, G.Boriello, and R.wat: SpotOn: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength, CSE Report 200-02-02, University of Washington (2000)
- 9) A.Harter, A.Hopper, P.Steggles, A.Ward, and P.Webstar: The anatomy of a context-aware mobile applications, MOBICOM1999 (1999)
- 10) N.Priyantha, A.Miu, H.Balakrishnan, and S.Teller: The cricket compass for context-aware mobile applications, MOBICOM2001 (2001)
- 11) D.Niculescu and B.Nath: DV-based positioning in ad hoc networks, Telecommun.Syst., vol.22, pp267-280 (2003)
- 12) A.Savvides, C.Han, and M.Srivastava: Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors, Proc.IEEE MobiCom 2000, pp1-14 (2000)
- 13) M.Minami, Y.Fukuji, K.Hirasawa, S.Yokoyama, M.Mizumachi, H.Morikawa, and T.Aoyama: DOLPHIN: A practical approach for implementing a fully distributed indoor ultrasonic positioning system, Proc ACM Ubicomp 2004, pp.166-179 (2004)
- 14) Beutel, J: Geolocation in PicoRadio Environment, ETH Zurich, Electronics Lab. (1999)