

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

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。この方式は、シミュレーション評価により位置推定方式として有用であることが既に示されているが、実際の無線センサネットワーク環境を考慮した条件での評価は行われていない。従って、本稿では、電波伝搬特性と無線アクセス制御方式を正確にシミュレーションし、無線センサネットワーク環境下でのSOMを用いた自己位置推定方式の特性評価を行い、その報告をする。

Characterization of Self Location Estimation Method in 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, it has not been evaluated in consideration with the characteristics of wireless sensor networks. In this report, the self-location estimation method is evaluated in consideration with the radio propagation and wireless media access control for the characteristics of 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。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。そのため、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技術としては位置情報が既知であるアンカノードを配置し、そのアンカ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て、極少数のアンカ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⁾。

このシミュレーション評価では、無線アクセス制御方式は、最適にスケジュールされて衝突が発生しない状態を想定し、無線ネットワークの電波伝搬も理想的な環境を想定している。しかし、現実の無線センサネットワークでは、無線アクセス制御方式に送信時にパケッ

^{†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

ト衝突の可能性がある CSMA/CA 方式が多く用いられており、無線ネットワークの電波伝搬に関しては伝搬ロスが発生する可能性がある。すなわち、現在のシミュレーション評価では、実際の無線センサネットワーク特性を考慮した環境での特性を知ることはできない。

従って、本稿では、SOM を用いた位置推定方式の無線センサネットワーク環境下における有効性を、以下に示すような条件において検証し、その結果を報告する。

- 無線アクセス制御方式は CSMA/CA 方式とする
- 無線ネットワークの電波伝搬特性は距離による減衰とマルチパスによるフェージングを考慮する

以下、2 章では、関連研究について述べる。3 章では、SOM を用いた位置推定の詳細について述べる。4 章では、特性評価に用いた評価シミュレーション方式の説明と、実際に特性評価を行った結果を述べる。最後に、5 章では、特性評価により得られた結果をまとめ、今後の課題について述べる。

2. 関連研究

ここでは、現在研究されている位置推定方式について幾つか例を挙げる。

受信信号強度を利用した位置推定方式としては RADAR⁴⁾、Active Badge⁵⁾、SpotON⁶⁾ が提案されている。しかし、RADAR は電波伝搬を行う領域をあらかじめ測定する必要があり、柔軟性に欠ける。また、Active Badge と SpotON は近距離でセンシングされた受信信号強度を利用しているため、精度が悪いという欠点がある。

TDOA を利用した位置推定方式としては Active Bat⁷⁾ と Cricket⁸⁾ が提案されている。これらの位置推定は、三辺測量を基にしており精度は高い。しかし、この方式では領域内に大量の TDOA 端末が必要となるため拡張性、柔軟性に乏しい。

DV-hop⁹⁾ は、ネットワークトポロジを利用した位置推定方式として提案されており、ノード位置は、計算された距離平均とアンカーノードからのホップ数により推定される。本方式は、位置推定に距離平均を使用しているため位置推定精度が低いという問題点がある。

Iterative Multilateration¹⁰⁾ は少数のアンカーノードを利用する位置推定方式として提案されている。Dolphin¹¹⁾ は Iterative Multilateration を利用したシステムである。この方式は、三辺測量と推定位置を近傍ノードに伝播することで位置推定を行っている。そのため、少なくとも、位置決定済みの 3 ノード以上と通信可能である必要があり、トポロジの制約が多い。また、推定位置の伝播が進むに従って増加する位置誤差も問題となってくる。

3. SOM を用いた位置推定

本章では、SOM を用いた位置推定方式について概説する。本方式は、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を提案している¹⁾。はじめに、自己位置推定機能について概要を説明する。

3.1 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。この機能には、TOA (Time Of Arrival)、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、アンカーノード)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。

3.2 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²⁾。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³⁾。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。

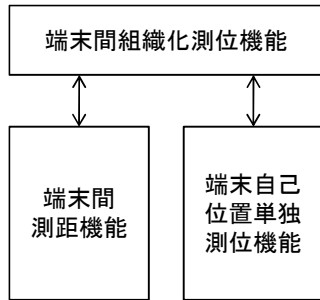


図 1 自己位置推定機能の構成
Fig.1 Construction of self-location estimation function.

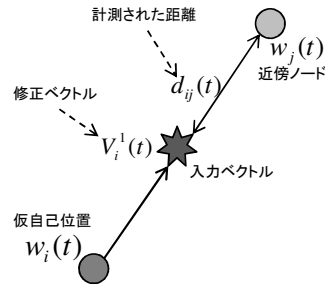


図 2 近傍ノードによる入力ベクトルと修正ベクトル
Fig.2 Input vector and correction vector by neighbor node.

[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

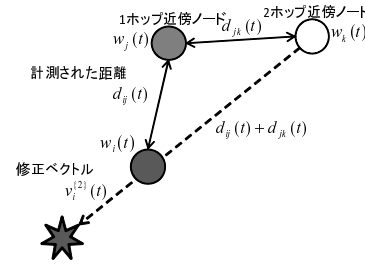


図 3 2 ホップ近傍ノードによる位置修正 1
Fig.3 Positional correction with 2 hop neighborhood node 1.

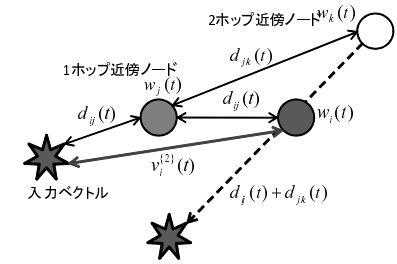


図 4 2 ホップ近傍ノードによる位置修正 2
Fig.4 Positional correction with 2 hop neighborhood node 2.

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) ．

$$V_i^{\{2\}}(t) = w_j(t) - w_i(t) + \frac{d_{ij}(t)}{d_{jk}(t)} (w_j(t) - w_k(t)) \quad (3)$$

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。

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

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

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、ネットワークポロジを再現する。

3.3 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想定

SOM を用いた位置推定方式による組織化測位に関して、現在までに行われたシミュレーション評価では、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、極少数のアンカノードにおいて高精度に絶対位置推定ができ、相対位置であればアンカノードが不要であることが確認されている。しかし、現実の無線センサネットワーク環境では、送信タイミングを分散制御する CSMA/CA 方式が使用されており、送信



図 5 ブロードキャストパケットフォーマット
Fig.5 Broadcast packet format.

パケットの衝突によるデータ損失が発生する可能性がある。また、電波伝搬に関しても、距離による受信信号強度の減衰や、マルチパスによるフェージング（干渉や減衰による電波受信レベルの瞬時変動）が発生し、データ損失が発生する可能性がある。

上述のとおり、現在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が考慮されていない。そのため、これらの現実の無線ネットワーク環境における特性を考慮したシミュレーション評価を行い、上記環境における SOM を用いた位置推定方式の誤差特性を評価する必要がある。

4. 無線センサネットワークを想定したシミュレーション

4.1 評価方式の概要

本稿では、無線ネットワーク環境における特性を考慮するため、アクセス制御方式に CSMA/CA 方式を使用し、電波伝搬特性は距離減衰とフェージングを考慮して評価を行う。本評価方式には、無線センサネットワーク環境を正確に再現することができるネットワークシミュレータ、Qualnet を使用した。

4.2 パケットフォーマット

ここでは、本稿で使用した評価方式において実装した機能の仕様について説明する。自己位置推定を使用する際に、各ノードが仮位置情報をブロードキャストするブロードキャストパケットフォーマットは、次の形式とした（図 5）。ブロードキャスト送受信機能で送受信されるブロードキャストパケットフォーマットはパケット識別子、自ノード情報、近傍情報数、近傍ノード情報の 4 つの部分からなる。自ノード情報には、ノード ID、アンカーフラグ（自ノードがアンカーノードであるかどうかを示すフラグ）、仮自己位置情報が含まれている。また近傍ノード情報には、自ノード情報と同様の情報に加えて、近傍ノードと自ノード間の距離情報が含まれている。

4.3 評価条件

無線ネットワーク環境を考慮した位置推定シミュレーションに関して、その条件を述べる。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 500m × 500 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、ネットワークトポロジを形成する。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 500m × 500 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 10 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）。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¹²⁾。

以下に、本シミュレーション評価方式で想定する条件を示す。

- ネットワーク空間は 500m × 500m 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
- 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を用いることで、無線電波の瞬時変動を考慮
- シミュレーション時間は 10 秒間、ブロードキャスト送信間隔は約 0.5 秒
- 単独測位機能はないものと想定

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。

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

4.4 フェージングと位置推定精度

まず、位置推定精度とライスフェージングの K ファクターの関係について説明する。図 6 にアンカーノード 3 個、位置情報が未知のノード 37 個を 500m × 500m の領域に配置した状態 (総ノード数 40 個) で位置推定を行った場合の K ファクターによる位置推定誤差を示

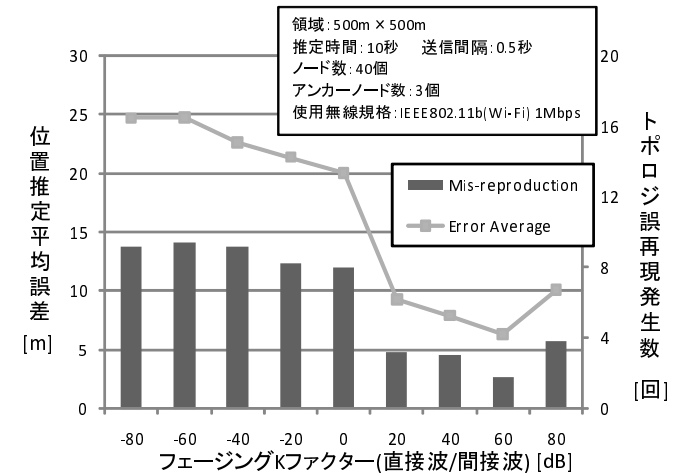


図 6 K ファクターによる位置推定誤差
Fig. 6 Location estimation error by K factor.

す。ノード数以外の検証条件については、前で説明したとおりである。なお、フェージングの K ファクターは、受信電波における直接波と間接波の割合である ($K = \text{直接波} / \text{間接波}$)。

図 6 は、K ファクターごとに各ノードをランダムに配置した 100 通りのネットワークト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。図 6 からわかるように、K ファクターが小さな値をとっている段階では、位置推定誤差は大きくなる傾向がある。これは、K ファクターが小さな値の時ほど、フェージングによる受信信号強度の瞬時変動が増加し、ノードはその通信カパレッジのエッジ付近の近傍ノードから、受信信号強度の低下により正常にパケットを受信できず、通信カパレッジのエッジ付近の位置情報を得られない、ということが原因である。このため、各ノードが位置推定を行う際には、近傍ノードの仮位置情報に強く依存して位置修正を行うこととなる。すなわち、遠隔ノードの位置情報が考慮されないため、部分的なトポロジの再現はできているが、各部分の相関が崩れ、全体としては誤ったトポロジとなる (図 7)。これをトポロジの誤再現と呼ぶ、図 6 の棒グラフでは、その誤再現の発生数を示す。これからわかるように、K ファクターが小さな値をとる場合には、トポロジの誤再現発生数は増加する。

これより、フェージングによる影響が大きくなった際に位置推定誤差が増加する現象は、

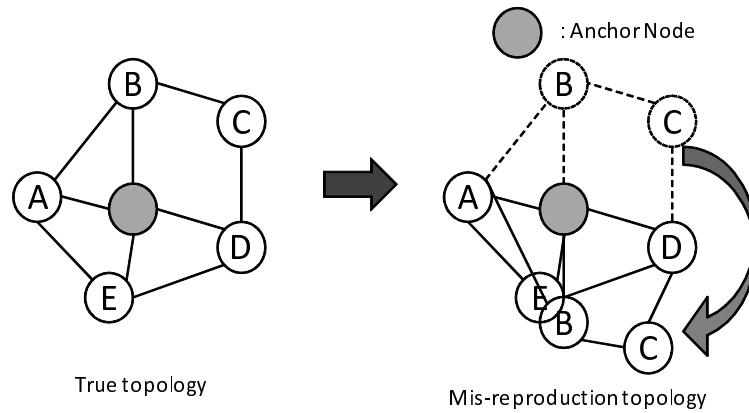


図 7 トポロジの誤再現発生数

Fig. 7 Number of Mis-reproduction with topology.

通信可能範囲のエッジ部分からの情報をロスし、自ノードに近いノードからの情報だけで位置推定処理を行うため、エッジノードとの相関が考慮できずに、トポロジの誤再現発生数が増加したことが原因であると考えられる。

4.5 アクセス制御方式と位置推定精度

ここでは、位置推定精度とアクセス制御方式の関係について説明する。図 8 にライスフェージングの K ファクターが 0.0, 10.0 (dB 表記では - , 20) さらに、フェージングなしの場合の総ノード数変化による位置推定誤差を示す。K ファクター以外の検証条件については、前で説明したとおりである。

図 8 からわかるように、総ノード数が増加するほど誤差が大きくなるという傾向がある。この傾向は、ライスフェージングの K ファクターを変化させた場合や、フェージングなしの場合でも、ほぼ同じように現れていることがわかる。以上のことから、この傾向は CSMA/CA 方式を利用した状態でノード数が増加することにより、パケット衝突によるパケットロスが増加したためであると考察できる。

そこで、パケット衝突によるパケットロスが増加していることを確認するため、パケットの平均到達率とノード数の関係について検証を行った。パケットの平均到達率 (Arrival) とは、ネットワークトポロジ内の特定の端末から送信されたブロードキャストパケットが正常に受信された割合で、式 (8) に示す。ただし、 N は総ノード数、 R_i はノード i へのブロー

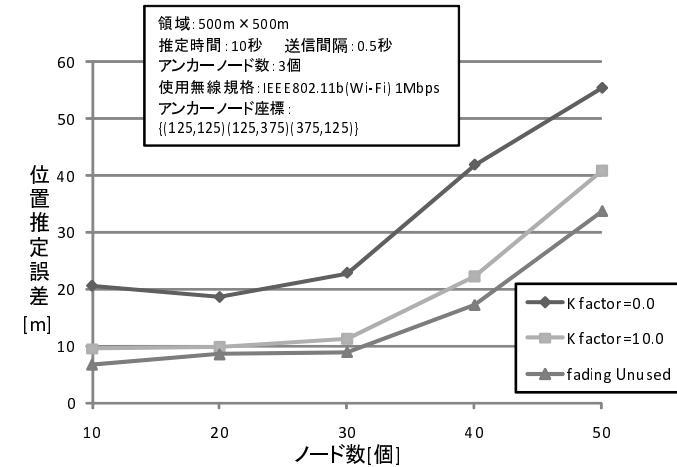


図 8 総ノード数と位置推定誤差の関係

Fig. 8 Relation between Number of total nodes and error.

ドキャスト受信回数、 M_i はノード i の近傍ノード数、 S_{ij} はノード i から、その近傍ノード j へのブロードキャスト送信回数とする。

$$Arrival = \frac{\sum_{i=1}^N R_i}{\sum_{i=1}^N (\sum_{j=1}^{M_i} S_{ij})} \quad (8)$$

図 9 から、ノード数が増加するとパケット到達率は減少するということがわかる。以上の結果から、前に示したような、総ノード数が増加するほど位置推定誤差が大きくなる傾向の原因は、CSMA/CA 方式を用いたことにより、パケット衝突によるパケットロスが増加したため、位置情報更新回数が相対的に減少したためであるということが分かる。

5. ま と め

本稿では、SOM を用いた位置推定方式において、ネットワークシミュレータ Qualnet を用いて位置推定シミュレーションを行うことで、

- アクセス制御方式 CSMA/CA 方式のパケット衝突に起因するデータ損失

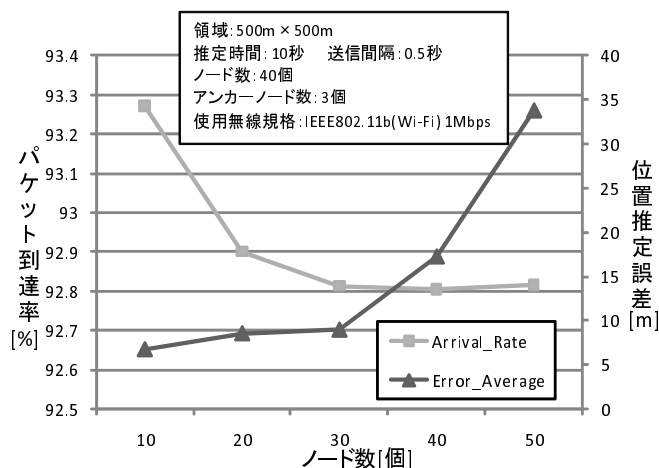


図 9 パケット到達率とノード数の関係

Fig. 9 Relations between packet arrival rate and number of nodes.

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) T.Kohonen: Self-Organizing Maps, 3rd edition, Springer (2001).
- 3) E.Bonabeau and F.Henau: Graph Partitioning with Self-Organizing Maps, Private Communication (1998).
- 4) 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).
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) A.Harter, A.Hopper, P.Steggles, A.Ward, and P.Webstar: The anatomy of a context-aware mobile applications, MOBICOM1999 (1999)
- 8) N.Priyantha, A.Miu, H.Balakrishman, and S.Teller: The cricket compass for context-aware mobile applications, MOBICOM2001 (2001)
- 9) D.Niculescu and B.Nath: DV-based positioning in ad hoc networks, Telecommun.Syst., vol.22, pp267-280 (2003)
- 10) A.Savvides, C.Han, and M.Srivastava: Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors, Proc.IEEE MobiCom 2000, pp1-14 (2000)
- 11) 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)
- 12) Beutel, J: Geolocation in PicoRadio Environment, ETH Zurich, Electronics Lab. (1999)

- 距離減衰による伝播ロスとライスフェージングモデルによる電波干渉に起因するデータ損失

による位置推定精度の評価結果について示した。この評価結果から、以下のような特性を確認した。

- 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。

- 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、位置推定精度は低下する。

以上のことから、今後は、SOM アルゴリズムの改良に加えて、ブロードキャスト送信を行う通信方式の改良も含めて検討し、位置推定精度の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。