

## 無線センサネットワーク環境上での利用を想定した 端末自己位置推定方式の提案

大野 翔平<sup>†1</sup> 安達 直世<sup>†2</sup> 滝沢 泰久<sup>†2</sup>

近年、大規模な無線センサネットワークの利用例として環境モニタリングなどの多様なサービスが検討されており、これらのサービスではセンサノードの位置情報を知ることが重要な要件となっている。位置情報を推定する方式としてはGPSが一般的であるが、無線センサネットワーク上での利用を想定した場合にはコスト面や消費電力の面で現実的ではない。また、無線センサネットワーク上での利用を想定した位置推定方式も考案されているが、位置推定精度や柔軟性に欠けるといった欠点がある。この問題に対応するため、我々は自己組織化マップ(SOM)を用いた位置推定方式を提案している。本方式は極少数の固定点と単純な処理の繰り返しにより高精度にノード位置を推定する。本報告では、多様なセンサネットワークに対応するために、本方式から測距機能を削除し、その位置推定の有効性を検証する。

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

SHOHEI OHNO,<sup>†1</sup> NAOTOSHI ADACHI<sup>†2</sup>  
and YASUHISA TAKIZAWA<sup>†2</sup>

Recently, large scale wireless sensor networks are aimed to apply to environmental monitoring system. The monitoring system requires the location where data is monitored. The conventional location estimation method, is GPS, however GPS is suitable for wireless sensor network because of its cost and power consumption. Therefore, many location estimation methods without GPS are proposed. However, they need a large number of anchor nodes for high accuracy on the location estimation. To solve the problem, we have proposed the node location estimation method using Self-Organizing Map (SOM). Our proposed method can estimate high accurate location with minimized number of anchor nodes. In this report, the omission of range function from our method is investigated to apply our method to any sensor networks.

#### 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、周囲の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の実現において、重要な技術要素である。無線センサネットワークを利用したサービスとしては、環境モニタリングや気象観測、がけ崩れ等の災害対策などが考えられており、このようなサービスを提供できる背景としては、センサノードの小型化や低コスト化、省電力化といった技術的要因が挙げられる。ただし、これらのサービスでは、センシングした情報の発生源を特定するために取得したデータの物理的な位置が重要な情報となるため、センサノードの位置を特定するための仕組みが必要となる。

位置情報を推定する方式としてはGPS(Global Positioning System)<sup>1)</sup>が一般的であるが、無線センサネットワーク上での利用を想定した場合にはコスト面や消費電力の面で現実的ではない。その理由としては、環境モニタリング等の無線センサネットワークを利用したサービスでは、広範囲に大量のセンシングデバイスを散布することが想定されており、各ノードの機能は必要最小限であることが望ましいためである。また、散布されたセンシングデバイスは使い捨てでの利用が想定されており、充電や電池交換による電力の確保は難しいという点もGPSが無線センサネットワークに不向きな理由である。

GPSを使用しない位置推定方式としては、RFIDなどを用いた定点センシングやCentroid方式<sup>2)</sup>、DV-Hop方式<sup>3)</sup>などが考案されている。これらの方式は、単純な処理とセンサノード間の通信のみを用いて位置推定処理を行っており、各ノードの機能は必要最小限に抑えられるため、無線センサネットワーク上での利用に適應できるものであるといえる。しかし、これらの方式は基本的に位置推定精度が悪く、位置推定精度を向上させるためには大量の位置情報が既知の固定点(以降、アンカーノードという)が必要となる。そのため、広範囲に大量のセンシングデバイスを散布することを想定した環境モニタリング等のサービスでは、利用することが難しい。

上記問題に対応するため、本研究では、少数のアンカーノードで高精度な位置推定を行うことができる方式としてSOM(Self Organizing Maps, 自己組織化マップ)を用いた位置推

<sup>†1</sup> 関西大学大学院 理工学研究科

Graduate School of Engineering, Kansai University

<sup>†2</sup> 関西大学 環境都市工学部

Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

定方式<sup>4)</sup>を使用する。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り、SOMを用いた位置推定方式は、この考えを応用し各ノードが周囲のノードとの情報共有により自己位置を推定する方式である。ただし、本方式は、位置推定にノード間の距離情報を用いるためセンサノードに測距機能が搭載されていることを想定しているため、現状では単純な機能のみを実装したセンサノードによる無線センサネットワーク上での利用は難しい。

従って、本研究では、SOMを用いた位置推定方式から測距機能を省略し無線センサネットワーク上での利用に適した位置推定方式の提案を目指す。そのために、本稿では、ノード間の距離情報を省略した場合でもSOMを用いた位置推定方式の改良により正確な位置推定が可能であることを示すための検証を行い、その結果について述べる。

以下、2章では、位置推定方式の関連研究について述べる。3章では、これまでに使用していたSOMを用いた位置推定方式について述べる。4章では、測距機能を省略したSOMを用いた位置推定方式において、位置推定処理が可能であるということを示す検証結果について述べる。最後に、5章では、まとめと今後の課題について述べる。

## 2. 関連研究

本章では、ノード位置の推定を行う関連技術について述べる。はじめに位置推定方式として最も一般的であるGPSについて説明し、その後、無線センサネットワーク上での使用を想定した位置推定方式についていくつか例を挙げ説明する。

GPS(Global Positioning System)<sup>1)</sup>を用いた位置推定方式は、4機以上のGPS衛星と通信を行うことで三辺測量を行い自身の位置を推定する方式である。測距機能にはTOA(Time of Arrival)方式を用いており、広範囲において高精度な位置推定を行うことができる。ただし、衛星からの通信を利用しているため、室内での位置推定は難しいといった問題点がある。この問題点を解決する方式としては、Active Bat<sup>5)</sup>やCricket<sup>6)</sup>などが提案されている。これらの方式は測距機能にTDOA(Time Difference of Arrival)方式を、位置推定には三辺測量を用いており、精度のよい位置推定を行うことができる。ただし、両方式とも正確な位置推定を行うためには領域内に大量のアンカーノードを配置する必要があるため、拡張性や柔軟性に乏しいといった問題点がある。

これらの方式では、高精度な位置推定を行うことが可能であるが、センサノードに測距デバイスを搭載する必要がある。そのため、個々のセンサノードにかかるコストや稼働時における消費電力の面において、無線センサネットワーク上での利用には不向きである。

一方、無線センサネットワーク上での利用を想定し、センサノードに測距デバイスの搭載を考えない位置推定方式も複数提案されている。ここではその中の例としてCentroid方式<sup>2)</sup>とDV-Hop方式<sup>3)</sup>について説明する。

Centroid方式<sup>2)</sup>では、まず、アンカーノードが自身の位置情報を含んだパケットを一定の時間間隔でブロードキャスト送信する。位置情報の推定を行うノードは、このパケットを受信することで自身と通信可能なノード(以降、近傍ノード)の位置情報を取得し、それらの重心を利用し自身の位置を推定する。アンカーノードによるブロードキャスト送信以外に特別な通信を行わないため、ノード自体の処理は必要最小限ですむが、GPS等の方式と比較すると位置推定精度は悪い。

その他の例としては、DV-Hop方式<sup>3)</sup>がある。この方式では、まず、アンカーノードからのホップ数と1ホップの平均距離情報から、各ノードがアンカーノードまでの距離を推定する。アンカーノードからのホップ数は、フラディングにより取得する。その後、3つ以上のアンカーノードとの距離を推定し、三辺測量を用いることで自身の位置を推定する。上記のCentroid方式よりは高精度であるが、アンカーノードとの推定距離は大きな誤差を含んでいる場合が多く、GPS等の方式と比較すると精度は悪い。

これらの方式に共通する特徴としては、単純な処理のみを用いているため無線センサネットワーク上での使用も想定されているが、位置推定精度を高めるためには十分な数のアンカーノードが必要となる。そのため、これらの方式では、多数のアンカーノードを設置することが難しい無線センサネットワーク環境には、適応困難であると考えられる。

## 3. SOMを用いた位置推定

本章では、はじめに提案方式のベースとして使用したSOM(Self Organizing Maps, 自己組織化マップ)を用いた位置推定方式<sup>4)</sup>の概要とアルゴリズムについて説明する。その後、本方式を用いた研究の状況と問題点について説明する。

### 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 Arival), TDOA(Time Deference Of Arrival), RTOF(Roundtrip

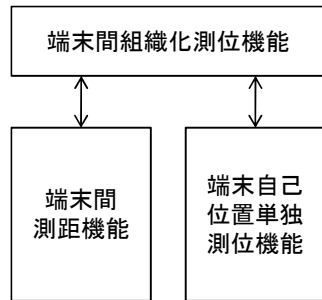


図 1 自己位置推定機能の構成  
Fig.1 Construction of self-location estimation function.

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ノードごとに非同期、かつ独立に行われる。

### 3.2 位置推定アルゴリズム

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<sup>7)</sup>。この SOM の高次元データを低次元に変換する機能を利用し、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<sup>8)</sup>。本文献でベースとして利用したアルゴリズムは、Bonabeau の手法をもとにさらに改良されたものである<sup>4)</sup>。以下に、そのアルゴリズムを説明する。

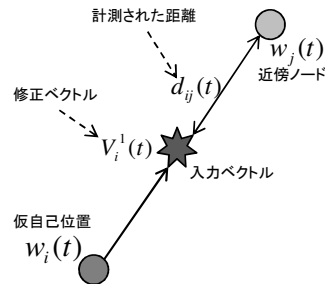


図 2 近傍ノードによる入力ベクトルと修正ベクトル  
Fig.2 Input vector and correction vector by neighbor node.

[ 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)。

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

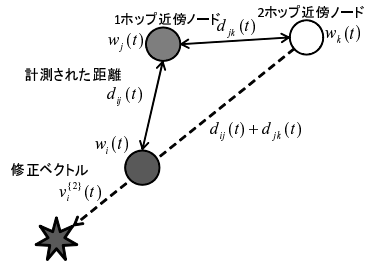


図3 2ホップ近傍ノードによる位置修正 1  
Fig. 3 Positional correction with 2 hop neighborhood node 1.

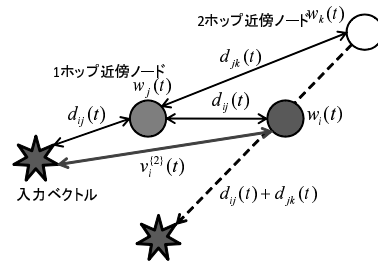


図4 2ホップ近傍ノードによる位置修正 2  
Fig. 4 Positional correction with 2 hop neighborhood node 2.

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

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  $\tau$  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， $\theta$  は近傍ノードとの距離平均誤差に関するしきい値， $\eta$  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に関する研究状況

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<sup>4)</sup>と，無線センサネットワーク環境を考慮した条件下の精度評価を目的としたもの<sup>9)</sup>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  $1.0 \times 1.0$  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の精度評価を目的としたシミュレーション評価の主な条件を以下に示す．

- 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。

この特性に対して、文献<sup>10)</sup>では、以下の二点の方式を実装し問題点の解決を行った。

- 近傍ノード数に応じた SOM アルゴリズムの制御
- 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

これらの提案方式をネットワークシミュレータ Qualnet 上に実装し、評価・検討を行った結果、従来方式より位置推定精度が向上することが確認された。

#### 4. 検証方式と評価

##### 4.1 検証方式について

前章で述べたように、SOM を用いた位置推定方式では無線センサネットワーク環境上でも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。しかし、無線センサネットワークを利用したサービスとして考えられている環境モニタリング等では、個々の無線センサノードは低コスト、低電力消費であることが求められている。そのため、従来の SOM を用いた位置推定方式において想定されている測距機能の搭載は、無線センサネットワーク上での使用を想定した場合には困難である。

従って、本研究では、SOM を用いた位置推定方式から測距機能を省略し無線センサネットワーク上での利用に適した位置推定方式の提案を目指す。測距機能を省略するということは、3.1 節で述べた自己位置推定機能の構成要素である端末間測距機能を取り除くことになる。自己位置推定機能の構成要素である端末自己位置単独測位機能に関しては以前の検証から省略されていたため、端末間測距機能を省略した場合、端末間組織化測位機能のみで位置推定処理を行うことになる。つまり、各ノードの仮位置情報とそこから求めたノード間仮距離から位置推定処理を行うことになる。ここでいうノード間仮距離  $\tilde{d}_{ij}(t)$  は、自ノード  $i$  の仮位置情報  $w_i(t)$  と近傍ノード  $j$  の仮位置情報  $w_j(t)$  から以下の式で求められるものとする。ただし、 $f(x)$  は距離推定機能のアルゴリズムを示す。

$$\tilde{d}_{ij}(t) = f(|w_i - w_j|) \quad (7)$$

本稿では、ノード間仮距離を各ノードの最大通信可能距離として SOM を用いた位置推定方式に与え、そのうえでネットワークポロジの再現が可能であるかに注目する。この時、



図 5 位置推定と距離推定  
Fig. 5 location estimation and distance estimation.

図 5 に示すように位置推定を行う際には各ノードの仮位置情報からノード間仮距離を算出し、これを位置推定処理にフィードバックする。

本検証では、距離推定機能は使用せずノード間の最大通信可能距離を仮距離とする。これに従い、SOM を用いた位置推定方式のノード間距離情報への依存性を低めるために、2 次近傍ノードによる位置情報修正処理を次のように改良する。

- 2 次近傍ノードを用いた修正処理の閾値を超えた後も例外的に修正処理を行う
- 例外的な修正処理は距離制約に矛盾がある場合のみ行う

ここでいう距離制約に矛盾があるとは、自ノード  $i$  の仮位置情報  $w_i(t)$  と近傍ノード  $j$  の仮位置情報  $w_j(t)$ 、2 次近傍ノード  $k$  の仮位置情報  $w_k(t)$  において、2 次近傍ノード  $k$  が近傍ノード  $j$  より近い  $(|w_i(t) - w_j(t)| \geq |w_i(t) - w_k(t)|)$  場合とする。また、修正処理を行う修正ベクトルは図 3 で示したものを使用する。

##### 4.2 評価条件

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 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 200 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、本検証ではかならず位置推定処理が終了するようシミュレーション時間を多めにしているため、位置推定処理の終了までに必ずしも 200 秒かかるというものではない。また、本シミュレーションでは端末間測距機能は省略し、代わりに各ノードの通信可能距離をノード間仮距離情報として利用している。

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 200 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、端末間測距機能はないものと想定
- ノード間仮距離情報はノードの通信可能距離とする

#### 4.3 端末間測距機能を省略した場合の位置推定結果

ここでは、端末間測距機能を省略した場合の位置推定処理結果について評価を行う。4.1 節で示した評価条件を用いて総ノード数 100 個での位置推定を行った結果が以下の図 6 である。また、図 7 は、ネットワークのオリジナルトポロジ (以降、真値という) を示している。両図を比較すると、おおまかなネットワークトポロジの再現が可能であることが確認できる。ただし、細かい部分を見た場合には誤差が多く、真値と一致するということはなかった。

また、図 6 と図 7 を比較すると、全体的にノード間距離が広がった状態で位置推定処理が行われていることも確認できる。これは、ノード間仮距離を各ノードの最大通信可能距離としているためであると考えられるが、図 6、図 7 からでは定量的な判断が難しい。そこで、以下の式に示す  $r_{ij}$  を用いて位置推定処理により求められたネットワークトポロジとネットワークのオリジナルトポロジとの相似性検証を行う。

$$r_{ij} = \tilde{d}_{ij} / d_{ij} \quad (8)$$

ここでいう  $\tilde{d}_{ij}$  は位置推定処理後のネットワークトポロジにおけるノード  $i$  とノード  $j$  の距離 (推定距離) を、 $d_{ij}$  はネットワークのオリジナルトポロジにおけるノード  $i$  とノード  $j$  の距離 (真値) を示している。各ノードにおいて全てのノードとの  $r_{ij}$  を求め、それらの分布を調べることで位置推定処理により求められたネットワークトポロジとネットワークのオリジナルトポロジとの相似性を判断する。また、 $r_{ij}$  の分散が小さい場合ほど、ネットワークのオリジナルトポロジとの相似性が高く、正確なトポロジを再現できていると判断できる。さらに、 $r_{ij}$  は推定距離が真値に近いほど 1 に近い値を取るため、 $r_{ij}$  の平均値が 1 に近かつ分散が小さい場合ほど、高精度な位置推定処理が行われていると判断できる。

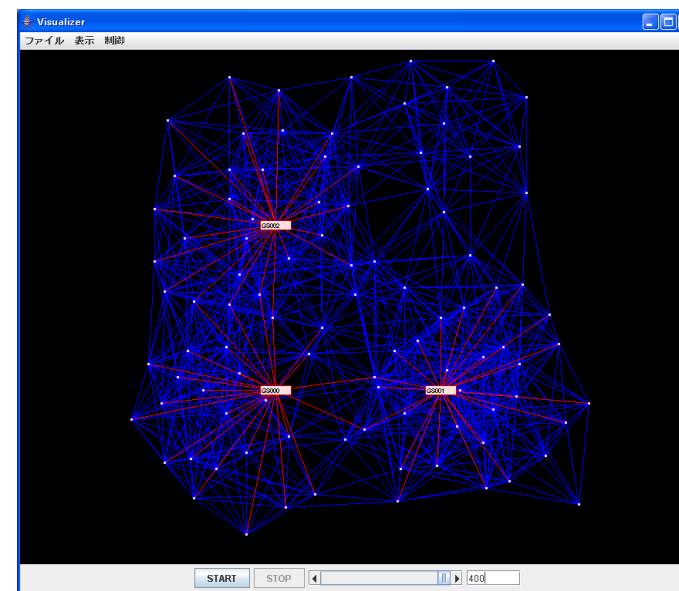


図 6 位置推定結果  
 Fig. 6 location estimated result.

上記の式を用いて図 6、図 7 で示した条件と同じノード数 100 個での相似性の検証を行った結果が図 8 である。この図から、 $r_{ij}$  は 1 から 1.7 の範囲に多く分布していることが分かる。また、本評価では  $r_{ij}$  の分散は 0.20、平均値は 1.36 となった。この結果から、分散は比較的小さな値を取っているためトポロジの再現は可能であるが、平均値が 1 より大きい値を示しているためネットワークのオリジナルトポロジと比較すると全体的にノード間距離が広がった状態で位置推定処理が行われていることが確認できる。

## 5. ま と め

本稿では、無線センサネットワーク上での利用を想定し、従来の SOM を用いた位置推定方式から測距機能を省略した方式の提案を行うための検証・評価を行った。この評価から、推定絶対位置は誤差が大きい、ネットワークトポロジの形状はほぼ再現 (相似形) できることを確認した。以上のことから、提案方式は距離推定機能が無い場合、すなわち、距離推定機能により与えられる仮距離がノード間の最大通信可能距離であった場合でも相似性の高

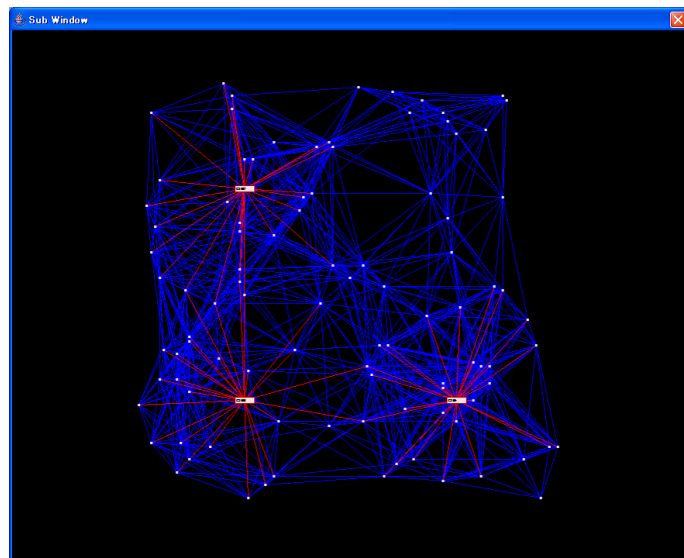


図 7 ネットワークのオリジナルトポロジ  
Fig. 7 original topology on network.

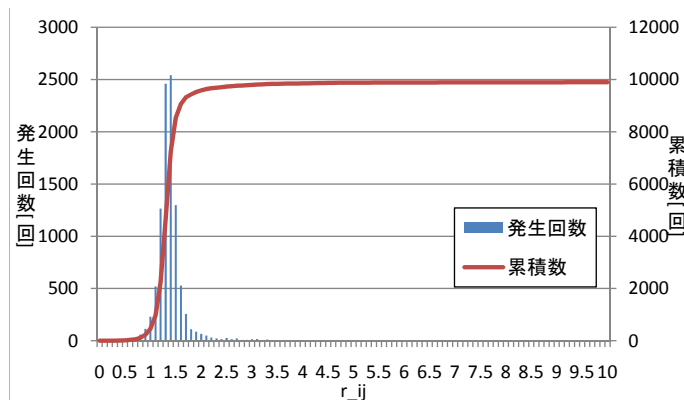


図 8 相似性検証  
Fig. 8 Similar verification.

イトポロジ (同じ形状のトポロジ) を再現できる。従って、距離推定機能を改善すれば、高い精度で絶対位置を推定可能であると考えられる。

### 参考文献

- 1) B.Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger, and J.Collins : Global Positioning System; Theory and Practice, 4th ed. (1997).
- 2) N.Bulusu, J.Heidemann, and D.Estrin : GPS-less low cost outdoor localization for very small devices, IEEE Personal Communications Magazine (2000).
- 3) D.Niculescu and B.Nath : DV-based positioning in ad hoc networks, Telecommun.Syst, vol.22,pp267-280 (2003).
- 4) 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).
- 5) A.Harter, A.Hopper, P.Steggles, A.Ward, and P.Webstar : The anatomy of a context-aware mobile applications, MOBICOM1999 (1999).
- 6) N.Priyantha, A.Miu, H.Balakrishnan, and S.Teller : The cricket compass for context-aware mobile applications, MOBICOM2001 (2001).
- 7) T.Kohonen : Self-Organizing Maps, 3rd edition, Springer (2001).
- 8) E.Bonabeau and F.Henau : Graph Partitioning with Self-Organizing Maps, Private Communication (1998).
- 9) 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).
- 10) 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を考慮した端末自己位置推定方式の提案, 情報処理学会研究報告 DPS146 No.21 (2011).