

SOM アルゴリズムを用いた位置推定の 精度改善に関する検討

高屋 佑希[†] 岩井 誠人[†] 滝沢 泰久^{††} 笹岡 秀一[†]

自律分散的にノードの位置推定できる方法として SOM アルゴリズムを用いた位置推定方法がある。この方法の問題点として、アンカーノードの配置や2ホップノードの情報をを用いた位置推定の影響やノード間距離の測定誤差による影響がある。本研究ではこれらの問題を解決する方法を提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより定量的に明らかにする。

A Study of Accuracy Improvement of Location Estimation Method Using SOM Algorithm

YUKI TAKAYA[†] HISATO IWAI[†]
YASUHISA TAKIZAWA^{††} HIDEITI SASAOKA[†]

The location estimation method based on SOM (Self-Organizing Maps) algorithm, where positions of nodes can be estimated at nodes independently and autonomously, is considered in this paper. The estimation method has some technical problems. The estimation error increases in some environments where the placement of the anchor-nodes is a particular arrangement or where the estimation based on the locations the 2-hop nodes is inappropriate. Another problem is in the precision of distance measurement using wireless communication. In this paper, an improved method of the location estimation using SOM is proposed. The analysis by computer simulations is carried out to evaluate the improvement of the proposed system. As the results of the evaluation, the effectiveness of the proposed system is quantitatively presented.

1. はじめに

近年、位置情報を用いた種々のサービスが検討されている。これらのサービスの実現にはユーザの正確な位置情報の取得が重要となる。位置推定法の一つとして、SOM (Self-Organizing Maps) アルゴリズムを用いた位置推定法が提案されている[1]。しかし、この方法の問題として、既知のノードの配置や2ホップノードの情報をを用いた位置推定の影響などによって大きな位置推定誤差が生じる場合がある。また、この方法は各ノード間の距離測定を行うことが前提となるが、このノード間距離の測定に誤差があると当然ノード位置の推定精度に影響を与える。

本研究では、SOM アルゴリズムを用いた位置推定法において、これらの影響によって生じる誤差を改善する方法を提案し、有効性を計算機シミュレーションにより定量的に明らかにする。

2. SOM アルゴリズムを用いた位置推定法とその問題点

2.1 SOM アルゴリズムを用いた位置推定法

SOM アルゴリズムとは、同じ特徴を持つデータを引き寄せることで、データの特徴を表すマップを形成するアルゴリズムである[2]。SOM アルゴリズムを用いた位置推定法はこのアルゴリズムを用いて、ノード間の通信によって得られる近傍ノードの仮位置とノード間距離による多重制約をとり、この計算を繰り返すことで各ノードの位置を自律分散的に求める方法である[1]。ノードで構成されるネットワーク内に最低3つの位置が既知のノード(これをアンカーノードと呼ぶ)があれば、全てのノードの絶対位置を得ることができる。この方法は1ホップノードの情報による位置推定(以後、1次近傍ノードによる位置推定)と2ホップノードの情報をを用いた位置推定(2次近傍ノードを用いた位置推定)により構成されている。1次近傍ノードの位置推定では図1に示すように1ホップノードの仮位置と距離情報からノードの位置を修正する。2次近傍ノードを用いた位置推定は図2(a)のように2ホップノードの仮位置と2ホップノードまでの経路にあるノード間距離の和を利用して位置を修正する方法及び図2(b)のようにノードの位置と距離の関係に矛盾がないように位置を修正する方法によってなる。

この2次近傍ノードを用いた位置推定は推定中のノード配置を距離情報と矛盾がないようにノード配置に推定することができるが、場合によっては適切ではない位置に修正する場合もある。そのため、2次近傍ノードを用いた位置推定を用いる場合は周

[†] 同志社大学
Doshisha University
^{††} 関西大学
Kansai University

図のノード配置を考慮する必要がある。

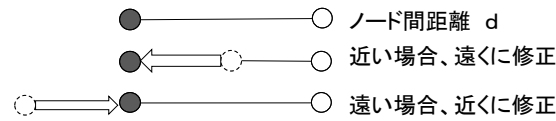
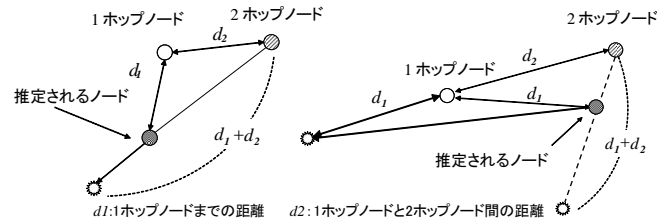


図1 1次近傍ノードによる位置推定



(a) 位置と距離の関係に矛盾がない場合 (b) 位置と距離の関係に矛盾がある場合

図2 2次近傍ノードを用いた位置推定

2.2 SOM アルゴリズムを用いた位置推定法の問題点

(1) アンカーノード 1次近傍ノードの位置推定不成功の影響

SOM アルゴリズムを用いた位置推定法では、アンカーノードの配置と 2次近傍ノードを用いた位置推定の影響により正しい推定ができない場合がある。問題がある具体的な例として図3を示す。図3 (a) はアンカーノードの 1次近傍ノードが正しい位置に推定できなかったため、そのノードの周囲の配置が正しくない。原因としては、ノードの初期位置をランダムな値として位置推定を開始することや、位置修正に減衰定数を用いた影響による位置修正距離の減少[1]、2次近傍ノードを用いた位置推定回数などの複数の原因により、アンカーノードの 1次近傍ノードの位置が実際のノードの位置と異なる位置に配置されてしまうことがある。これらの影響により、位置推定精度が大きく劣化する場合がある。この影響を改善するには、アンカーノードの 1次近傍ノードの位置を正確に推定する必要がある。

(2) 2次近傍ノードを用いた位置推定回数の設定

SOM アルゴリズムを用いた位置推定法の問題点の一つとして 2次近傍ノードを用いた位置推定回数に問題があった。従来の SOM アルゴリズムを用いた位置推定法では 2次近傍ノードを用いた位置推定回数を固定していたが、アンカーノードの配置やネットワークの規模によってその適切な回数に変化することにより、回数設定が不適切な場合があった。

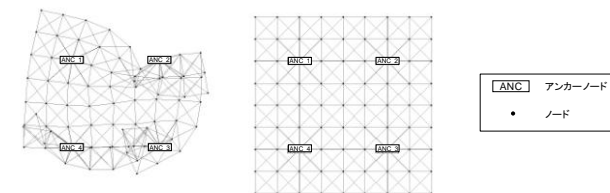
2次近傍ノードを用いた位置推定回数が少ない場合、推定するノードはノードの位

置と距離の関係に矛盾がないように位置を修正することができないため、全ノードの配置を正しく推定できない。これはネットワークの規模に対して、2次近傍ノードを用いた位置推定回数が不足していることが原因であると考えられる。逆に、2次近傍ノードを用いた位置推定回数を多くした場合、ノードの位置が正確なノードの位置よりも相対的に大きな位置に配置される。これは 2次近傍ノード間を経由するノード間の測定距離の和を用いて位置を修正するため、実際の配置よりも遠くに配置されることになるのが原因である。したがって、正しいノード配置を得るためには 2次近傍ノードを用いた位置推定を途中で停止し、1次近傍ノードによる位置推定だけで最終的な位置を推定することにより推定精度を向上できると考えられる。

以上の考察から、2次近傍ノードを用いた位置推定回数を多くして行った位置推定結果に対して、後に相対的な広がりに対する対策を行うことが必要となる

(3) 通信可能ノード数が多い場合の 2次近傍ノードを用いた位置推定の問題

SOM アルゴリズムを用いた位置推定法では、基本的には、通信可能距離が長くなるほど位置推定可能なノードが増加し、位置推定の精度も向上する。しかし、通信可能なノード数が増加することで、2次近傍ノードを用いた位置推定の回数が増加し、位置推定されたノードの位置の変更の頻度が増加する。その結果、上記の問題が生じる可能性が高くなる。これに対しては、通信可能なノード数に応じて、2次近傍ノードの位置推定の有無を判断することが必要となる。



(a) 位置推定結果 (b) 正しいノード配置

図3 位置推定の不成功例

2.3 無線通信を用いた距離測定とその誤差による位置推定精度への影響

SOM アルゴリズムを用いた位置推定法は、ノード間の距離を測定しその測定距離をもとにノード間の相互位置関係を構築し、アンカーノードの絶対位置情報を用いて最終的に全ノードの位置を推定する方法である。しかし、無線通信を用いて距離を測定した場合、実際のノード間距離よりも測定距離が大きくなる場合がある。実際の距離測定結果例を図4に示す[3]。廊下、室内見通し環境、室内見通し外環境などにおいて、無線通信の伝送時間をもとにした方法によりノード間の距離測定を行っている。誤差

は直線距離に対する増加分として示しており、結果として距離が増える方向で直線距離に対して一定の割合で増加する誤差があることがわかる。これは、無線通信の伝搬路が両ノードを結ぶ直線ではないこと、壁などからの反射によるマルチパスが存在すること、などによると考えられる。この測定距離を用いて SOM アルゴリズムを用いた位置推定を行うと、実際の位置よりも相対的に大きな位置になり、正しい位置を推定することができない。

そこで、屋内の距離測定の誤差を低減する方法として、本稿では全ノードにおいて位置推定に用いる距離として、測定距離に共通した補正係数を乗算する方法を検討する。ただし、この方法では最適な補正係数を求める何らかの制御が必要となる。

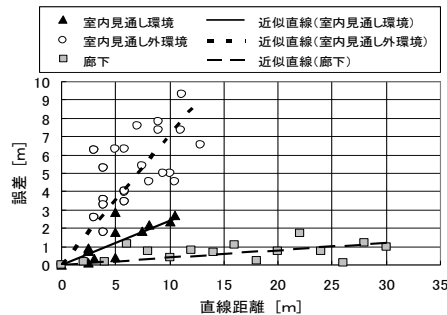


図4 屋内環境における距離測定誤差特性

3. アンカーノードの1次近傍ノードを利用した位置精度改善方法

前章で述べた問題点を改善する方法として、アンカーノードの1次近傍ノードを利用した位置精度改善方法を提案する。最初に、アンカーノードが周囲の1次近傍ノードの位置を推定する。次に全ノードが1よりも小さい補正係数を用いて位置を推定する。そして、推定した二つのノード配置を組み合わせてアンカーノードの1次近傍ノードの位置を補正する。さらに、アンカーノードの1次近傍ノードを利用して補正係数を増加しながら、2次近傍ノードを用いた位置推定の補正係数を決定する。最後に1次近傍ノードによる位置推定の更新距離を用いて最終的な補正係数を決定し、それを用いて位置を推定する。

以下、各段階の処理内容を記述する。ここでは、位置推定中にノードの位置は変化しないと仮定する。また、従来の SOM アルゴリズムを用いた位置推定法にあった誤差しきい値は、推定するネットワークの規模によって値を変更する必要があるため、提案方法では用いないことにする。

3.1 アンカーノードによる1次近傍ノードの配置の推定

SOM アルゴリズムを用いた位置推定法を行う場合、各ノードは自らの仮位置とともに、通信範囲内にあるノードとの距離情報を送信している。アンカーノードは1次近傍ノードからの情報をもとに、アンカーノードの1次近傍ノードの位置を求めることができる。このアンカーノードが求めた1次近傍ノードの配置と全ノードが位置推定した場合のアンカーノードの1次近傍ノードの位置を正しく配置することによって、アンカーノードが誤った位置に配置されることを防ぐ。しかし、アンカーノードが位置を推定する1次近傍ノードの中に他のアンカーノードがない場合、推定された1次近傍ノードの配置は正確なノードの配置を回転さらには反転した相対的なものとなる。したがって、何らかの補正が必要である。そのために以下の方法を用いる。

全ノードが1よりも小さい補正係数 α_0 を乗算した測定距離を用いて位置推定を行う。このとき、ノードの位置修正とアンカーノードに対する位置修正の影響で、ノード密度が高い場所にノードが集中するとともに、アンカーノードに引き寄せられる。結果的に全てのノードがアンカーノードに囲まれた部分に配置される傾向がある。

ここでは、図5に示すアンカーノードの1次近傍ノードの配置に注目する。アンカーノードの内側のノードはノード密度の高い中央部分に引き寄せられる。アンカーノードの外側のノードも同様にして中央部分にある程度引き寄せられ、アンカーノードの内側に入る可能性が高い。ただし、その影響が比較的に弱いので、アンカーノードの内側にあるノードよりも、アンカーノードに近い位置に配置される可能性が高い。この特性を用いてアンカーノードにより推定された配置の回転もしくは反転を修正する。図6はこの方法を概念的に示している。1よりも小さい補正係数を用いて全ノードにより位置推定した配置におけるアンカーノードとある1つの1次近傍ノード j との距離を d_j 、アンカーノードにより位置推定した配置におけるアンカーノードとある1つの1次近傍ノード j との距離を D_j とする。ここで、アンカーノードの1次近傍ノードの内、 $(d_j - D_j)$ が最大となるノードをノード A とする。ノード A は上記で述べた中央部分に引き寄せられるため、他の1次近傍ノードよりも中央部分に近い配置となる。

次に同図において、アンカーノードからノード A の方向をアンカーノードからの基準方向とする。この基準方向は2種類の位置推定においてそれぞれ異なる角度となる。1よりも小さい補正係数で位置推定した配置において、基準方向に向かって右半面にあるノード群をノード b 群、左半面にあるノード群をノード c 群とする。アンカーノードが位置推定した1次近傍ノードの場合も同様に、基準方向に向かって右半面にあるノード群をノード B 群、左半面をノード C 群とする。このとき、ノード b 群とノード B 群、ノード c 群とノード C 群にあるノード ID を比較し、同じノード ID が過半数を超える場合は同じ配置とし、過半数を超えない場合は図6のようにアンカーノードが推定した配置をノード A 方向を軸として、左右を反転させる。この方法により、アンカーノードの1次近傍ノードの配置の反転を修正する。

次に、アンカーノードによって推定された1次近傍ノードの配置の回転を修正する。ここでは次式に示す評価関数 $E(\psi)$ を最大とするような ψ を求める。

$$E(\psi) = \sum_{j=0}^n \cos(\theta_j - \phi_j + \psi) \quad (1)$$

n はあるアンカーノードの通信範囲内にあるノード数、 θ_j はそのアンカーノードが推定したアンカーノードからノード j への角度で、 ϕ_j は全ノードにより位置推定したそのアンカーノードからノード j の角度である。このように求めた ψ を用いてアンカーノードが推定した1次近傍ノードを配置し、全体でもとめたノード配置を修正する。

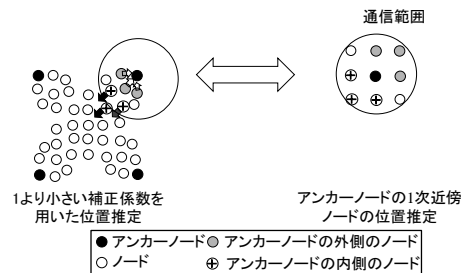


図5 1より小さい補正係数を用いた位置推定

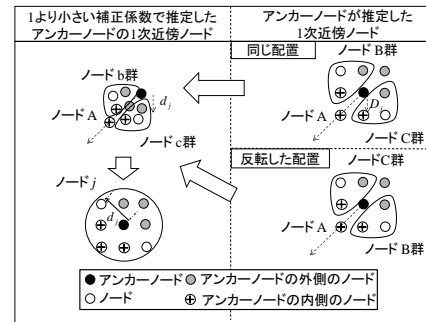


図6 アンカーノードの1次近傍ノードの配置決定法

3.2 アンカーノードの1次近傍ノードを利用した補正係数の制御

次に3.1節のアンカーノードの1次近傍ノードの配置を利用した補正係数の制御方法を説明する。この方法の処理手順を図7に示す。また、2次近傍ノードを用いた位置推定回数や減衰定数などのパラメータを変える理由について述べる。

3.2.1 アンカーノードの1次近傍ノードの利用と補正係数の増加方法

3.1節では小さい補正係数 α を用いて位置推定を行った。次に、正確なノードの位置を推定するために、変化量を $\Delta\alpha$ として補正係数を徐々に増加させる。しかし、補正係数を増加させて位置推定を行う場合、補正係数の変化量 $\Delta\alpha$ が大きいとノードの位置修正距離が大きくなってしまい、その影響として実際とは異なるノード配置になる可能性があるため、再び2.2節の問題が生じる可能性がある。そこで、ノードの位置修正距離が大きくなるないように、 $\Delta\alpha$ を小さい値とし、3.1節に示したアンカーノードの1次近傍ノードの位置の修正を定期的に行うことでこの問題を回避する。

また、 $\Delta\alpha$ が小さく最終的に正しい補正係数までに多くの計算回数を必要とする場合、3.1節に示した処理を $\Delta\alpha$ を変化させるごとに行うと測定完了までの時間が増大する。

そこで、位置推定回数を減らすために、位置推定回数ごとにノードの位置修正距離を減衰させる減衰係数 η の値を変更する。これにより、位置修正距離がほぼ0となるまでの位置推定回数が少なることで、それ以降の位置推定が必要にないため、トータル計算時間を削減することが可能となる。

以降では、アンカーノードによる1次近傍ノードの位置訂正回数を M とし、 M は α の初期値を α_0 としてそこから $\Delta\alpha$ ずつ α を増加させ、 α の値が1以上になるまでの増加回数とする。この位置訂正回数 M と位置推定回数 T の関係は、 T 回の位置推定を行った位置にアンカーノードによる1次近傍ノードの訂正を行うことを M 回繰り返すことになる。

この制御方法において、2次近傍ノードを用いた位置推定回数と通信可能なノード数に応じた2次近傍ノードを用いた位置推定の変更点について以下で述べる。

(1) 2次近傍ノードを用いた位置推定の回数

2.2節では2次近傍ノードを用いた位置推定回数の不足によって位置推定誤差が生じる可能性を示した。そのため、2次近傍ノードを用いた位置推定回数を十分な回数を行う。これにより、2次近傍ノードを用いた位置推定の回数不足による位置推定誤差の発生を防止できる。

しかし、2.2節において述べたように2次近傍ノードで推定した結果は実際の配置よりも相対的に大きな位置に配置される。この対策として、2次近傍ノードを用いた位置推定を十分な回数を行った後に停止し、その後で2次近傍ノードを用いた位置推定における相対的に大きな配置となる影響を排除した適切な補正係数を、各ノードごとに求める方法を3.3節で述べる。なお次に示すように通信可能ノード数が多い場合にはこの推定(2次近傍ノードを用いた位置推定自体)を行わない。

(2) 通信可能なノード数に応じた2次近傍ノードを用いた位置推定

上述のように、2次近傍ノードを用いた位置推定の回数を多く行うので、2.2節(3)で通信可能なノード数が多い場合の問題が生じる可能性が高くなる。そのため、通信範囲にあるノード数が多い場合は、2次近傍ノードを用いた位置推定自体を行わないことにする。2次近傍ノードを用いた位置推定を行わずによい理由として、1次近傍ノードによる位置推定可能なノード数が増えているため、比較的遠いノードまで推定できるからである。

3.2.2 アンカーノードによる補正係数の決定

3.2.1節の方法では正しい補正係数の値となっていない。最適な補正係数を決定する方法として、アンカーノードが推定した1次近傍ノードの配置と全ノードが推定したアンカーノードの1次近傍ノードの配置を利用する。

正しい補正係数を $\bar{\alpha}$ とする. 図 8 (a) は補正係数 α が $\bar{\alpha}$ より小さい場合, (b) は等しい場合, (c) は大きな場合のアンカーノードの 1 次近傍ノードの配置である. 3.1 節の定義と同様に d_j および D_j とする. このとき, $(d_j - D_j)$ が最大となるノードをノード p , $(d_j - D_j)$ が最小となるノードをノード q とする. 図 8 では, アンカーノードとノード p の距離を d_p と D_p , ノード q との距離を d_q と D_q と示している.

図 8 (a) では, アンカーノードの内側のノードは全体のノード配置の中央部分に近づいており, 外側のノードはアンカーノードに近づいた配置になっている. 図 8 (b) では, 両方とも正しい位置に配置されている. 図 8 (c) では, 内側のノードはアンカーノードに近い位置に配置され, 外側のノードはアンカーノードよりも遠い配置になっている. これにより, $\varepsilon = |d_p - D_p| + |d_q - D_q|$ の和が最小となる場合の補正係数 α' が 2 次近傍ノードを用いた位置推定において正しい値に近いと考えられる. この補正係数はアンカーノードでのみ決定することができるため(この補正係数を以下では「アンカーノードによる補正係数」と呼ぶ), アンカーノードにおいて, 補正係数決定後に周囲のノードへ補正係数を送信し, それを受信したノードがさらにその周囲のノードに送信する. このようにして, 補正係数を伝搬させ, 最終的に全ノードに行き渡らせ, 各ノードにおける位置推定に用いる.

ここで, 図 7 では補正係数を 1 まで増加させている. これは ε の最小値を求めるために, 一旦補正係数を 1 まで増加させた後, 全体的な変化の傾向から最小値を求める方法を用いるためである.

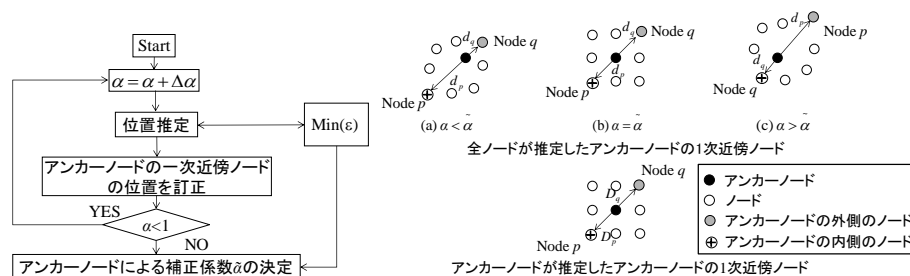


図 7 補正係数制御の処理手順 図 8 アンカーノードによる補正係数決定

3.3 ノードの更新距離に基づいた補正係数制御

本節では, 前節で示したアンカーノードによる補正係数の決定の際に生じる影響を述べ, より最適な補正係数を求めるために行う, 1 次近傍ノードの更新距離に基づいた補正係数の制御方法を説明する. なお, 2 次近傍ノードを用いた位置推定を行わない場合にはこの処理を行わなくとも補正係数は適切な値になっている.

3.3.1 アンカーノードによる補正係数の決定

アンカーノードによる補正係数を用いると全体的に広がった位置推定結果となる. これは 2.2 節で述べた 2 次近傍ノードを用いた位置推定を多くの回数を行うことによる影響のため, 測定距離が増加したような配置になる. ノードのより正確な位置を推定するためには, 2 次近傍ノードを用いた位置推定を終了した後, 1 次近傍ノードによる位置推定のみで位置推定を行う.

アンカーノードによる補正係数を用いて 1 次近傍ノードのみの位置推定を行うと, 2 次近傍ノードを用いた位置推定の影響がなくなるため, 測定距離が正確なノード間距離より小さい配置になる. したがって, 1 次近傍ノードによる位置推定に対して適切な補正係数を得る必要がある.

3.3.2 ノードの更新距離に基づいた補正係数決定

1 次近傍ノードによる位置推定でより適切な補正係数を求める方法として, 更新距離に基づいた補正係数の決定方法を示す. 更新距離とは, 周囲のノードとの通信によって自位置を更新した場合の更新延べ距離である. ノードの位置が正しい場合はノードの更新距離が最小となる特性を用いることにより, 正しい補正係数を求めるものである. この方法の処理を図 9 で示す. 同図における各ノードの更新距離を L , L_{\min} は各ノードが保持している更新距離の最小値, I は補正係数 α を変化させた際に最小値を更新する最大回数とする. 位置推定を行うネットワークの規模によって更新距離の最小値は変化するため, たとえば閾値を設けて L を最小とするような α を求めることは困難である. そこで, 補正係数を変化させた場合の更新距離の最小値を通過した回数をカウントし, その数が I 以上になった場合に停止させている.

また, 上記の処理以外に, 通信範囲のノードの補正係数と自身の補正係数を比較し, 同じ補正係数になるように変更しながら位置推定を行う. これは通信範囲のノードと異なる補正係数になった場合にノード配置が崩れてしまう影響を低減させるためである.

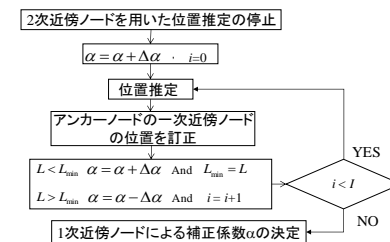


図 9 更新距離に基づいた補正係数制御の処理手順

4. 提案方法の有効性の評価

前章において提案したアンカーノードの1次近傍ノードを利用した精度改善方法について計算機シミュレーションを行い、その有効性を評価する。また、実際に屋内環境での距離測定結果を用いて位置推定を行った。その結果についても示す。

4.1 シミュレーションモデル

シミュレーションにおけるノード配置は格子状配置とする。9×9の81個のノードを5m間隔で配置する。アンカーノードの配置による影響を比較するために、図10の①の4か所にアンカーノードを配置した場合を配置1、②を配置2、③を配置3とする。距離測定実験は図11に示す屋内環境において行った。この環境は椅子や机などの什器が配置されているが、各ノード間はほぼ見通し環境であった。測定を行ったノード配置を同図に示す。

シミュレーション及び実験データに対して用いた提案方法の各パラメータを表1に示す。表1の提案方式のシミュレーションパラメータは提案方法の3.1~3.3節によって異なる。そのため、3.1~3.3節で用いた値を(3.1)~(3.3)のように表記している。2次近傍ノードを用いた位置推定を行うかどうかを決定する通信範囲内のノード数の閾値 n_{2-hop} は位置推定を行うネットワークのノード配置によって変化することが考えられる。本シミュレーションでは、ノード配置1~3に適した値として15とした。

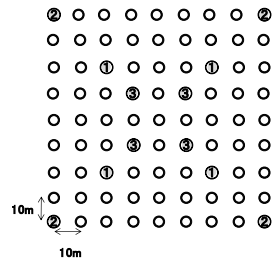


図10 シミュレーションモデル

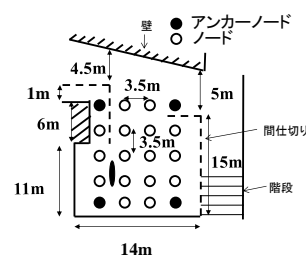


図11 実験で用いた屋内環境

表1 シミュレーションパラメータ

パラメータ	従来方法	提案方法
減衰係数 η	(3.1) (3.2, 3.3)	0.99 0.8
補正係数の変化量 $\Delta\alpha$	(3.2) (3.3)	0.02 0.01
補正係数の初期値 α_0		0.2
更新距離の最小値を更新する最大回数 l		3

4.2 従来方法と提案方法の比較

評価は、従来方法および提案方法による位置推定を100回行い、その場合の位置推定誤差の累積確率分布を示す。

4.2.1 アンカーノードの配置と2次近傍ノードの位置推定による影響の評価

(1) アンカーノードの配置の影響

2.2節において述べたように、アンカーノードの配置によって位置推定の精度が劣化する場合がある。アンカーノードの配置による影響を調べるために、ノード配置を変化させた場合の位置推定精度を評価する。このとき、従来方法の位置推定回数を300回とし、2次近傍ノードを用いた位置推定回数を100回とする。これに対して提案方法の位置推定回数は3.1節の位置推定回数300回と3.2節の位置訂正回数の40回×位置推定回数の10回、3.3節の位置訂正回数60回×位置訂正回数10回の合計の1300回となり、従来方法の約4.4倍の回数となる。以下の評価のシミュレーションでも同じパラメータを用いる。また、通信可能距離を25mとする。結果を図12(a)に示す。同図において、従来方法ではアンカーノードの配置に依存して位置推定精度が変化することがわかる。これに対して、提案方法ではアンカーノードの配置によらず、約1m以内の位置推定誤差となっている。

(2) 2次近傍ノードの位置推定回数の影響

従来のSOMアルゴリズムを用いた位置推定法では、2次近傍ノードを用いた位置推定回数によって位置推定の精度が変わる。ノード配置1で2次近傍ノードを用いた位置推定回数が増えた場合の推定精度を評価する。従来方法の位置推定回数を300回とし、2次近傍ノードを用いた位置推定回数は50回~300回の50回刻みとする。また、通信可能距離は25mとする。結果を図12(b)に示す。同図において、従来方法は2次近傍ノードを用いた位置推定回数を100回程度まで増やせば、提案方法と同じ程度の位置推定誤差を得ることがわかる。しかし、2次近傍ノードを用いた位置推定回数が50回と少ない場合や逆に250回、300回と多い場合は位置推定精度が劣化している。これに対して、提案方法では全ノードの位置推定誤差が2m以内となっており、位置推定精度が改善されている。

4.2.2 ノード数による精度の評価

SOMアルゴリズムを用いた位置推定法はノード数の増加によって、位置推定の精度が向上する。しかし、通信可能なノード数が増加することで、2次近傍ノードを用いた位置推定の回数が増加する場合、2.2節(3)の問題が生じ、位置推定精度が劣化する。そこで、ノード配置1においてノード数が増えた場合の推定精度を評価する。この場合の従来方法の位置推定回数を300回とし、2次近傍ノードを用いた位置推定回数は100

回とする。結果を図13に示す。従来方法では、通信範囲が拡大し通信可能ノード数が増加することにより位置推定の精度が向上している。しかし、通信可能ノード数の増加にともなう2次近傍ノードを用いた位置推定の影響により、通信可能距離30m以上で位置推定の精度が劣化している。これに対して提案方法による推定は、通信可能距離によらず高い精度を実現していることがわかる。

4.2.3 距離測定誤差が生じた場合の位置推定精度の評価

既に述べたように、無線通信ではマルチパスなどの影響により測定距離誤差が生じ、その誤差によって位置推定の精度が劣化する問題がある。この誤差は一般にプラス方向の誤差となる。ここでは、測定距離に誤差が生じた場合の従来方法と提案方法の位置推定誤差を比較する。

測定距離の誤差として、測定距離に一定割合のプラスの誤差が生じる場合と、ランダムな誤差が生じた場合を考える。ノード配置は配置1とする。従来方法の2次近傍ノードの位置推定回数は100回とし、通信可能距離は25mとする。

ある二つのノード、ノード*i*およびノード*j*間の測定距離を d_{ij} とし、測定距離の相対誤差を e として、測定されたノード間距離 r_{ij} を次式のようにモデル化する。

$$r_{ij} = d_{ij} \times (1 + e) \quad (2)$$

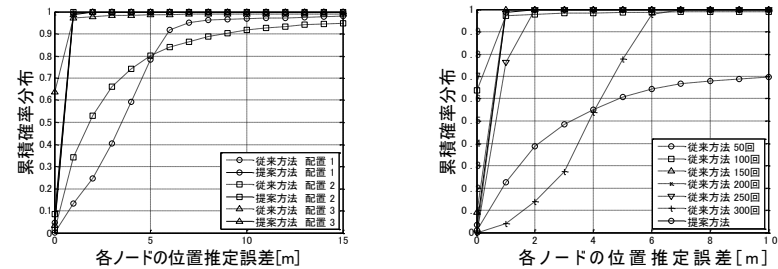
ここで、相対誤差 e は、無線通信におけるプラス方向の誤差を対象とすることから、平均値が μ 、標準偏差が σ の正規分布の正の値のみを用いることとする。

(1) 測定距離に対して一定の誤差が生じる場合の位置推定の評価

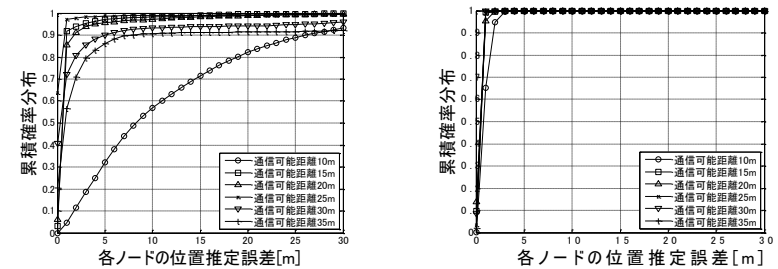
測定距離に対して一定の誤差が生じる場合として、平均値 μ を0.0~0.4の0.2間隔で変化させ、標準偏差 σ を0とした場合の位置推定誤差の特性を図14(a)に示す。従来方法では誤差の増加につれて、位置推定誤差も増加している。これに対して、提案方法では、測定距離誤差が増加した場合でも2m以内の推定誤差となっている。

(2) 測定距離にランダムな誤差が生じる場合の位置推定精度

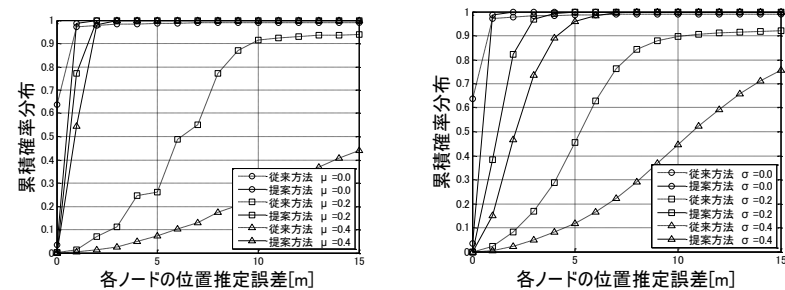
測定距離にランダムな誤差が生じる場合として、平均値 μ が0、標準偏差 σ が0.0~0.4の0.2間隔で変化させた場合の位置推定誤差の特性を図14(b)に示す。ランダムな誤差が生じる場合にも、提案方法は従来方法に比べて推定精度が改善されている。今回の評価では無線環境における誤差を想定して距離測定誤差 e を正規分布の正の部分のみとしている。そのため、平均的にはプラス方向の誤差となっている。これに対して、提案方法が効果を有しているものと考えられる。



(a) アンカーノードの配置の影響 (b) 2次近傍ノードの位置推定による影響
 図12 アンカーノードの配置と2次近傍ノードの位置推定による影響の評価



(a) 従来方法 (b) 提案方法
 図13 通信可能距離が変化した場合の影響



(a) 一定の誤差が生じる場合 (b) ランダムな誤差が生じる場合
 図14 測定距離誤差が生じる場合の位置推定精度

4.3 実測距離データを用いた提案方法による位置推定

最後に、実際の無線通信により測定したノード間距離を用いて、従来方法と提案方法により位置推定を行った場合の位置推定精度を示す。各ノード間の距離測定は、2ノード間の往復の伝送時間によって距離を測定する装置を用いた。この装置は 2.4GHz 帯 Bluetooth を無線システムとして用いており、測定可能最大距離は見通し環境で数十 m、見通し外で十数 m 程度である。位置推定に用いる測定距離は、100 回の距離測定を行った平均値とする。アンカーノードの配置は図 11 に示す 4 つのノードとした。

位置推定結果を図 15 に示す。同図から従来方法の位置推定では一部のノードが全体のノードの外に配置されている。これは測定距離がノード間距離よりも大きいことが原因により推定位置に誤差が生じていると考えられる。これに対して、提案方法では測定距離に補正係数を乗算しているため、この影響が低減されている。また、全ノードに対する平均誤差には、従来方法では 1.80m、提案方法では 1.20m となり、位置推定の精度が向上していることがわかる。

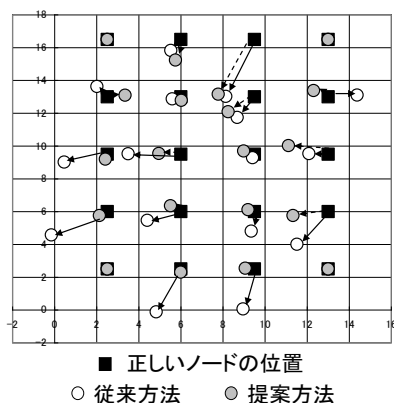


図 15 屋内環境での位置推定結果

4.4 提案方法に関する今後の技術課題

提案方法により、アンカーノードの配置と 2 次近傍ノードを用いた位置推定の影響による位置推定精度の劣化を改善することができ、安定して高い位置推定精度を実現することが可能となった。しかし、提案方法ではアンカーノードの 1 次近傍ノードを正しく配置させるために、補正係数を少しずつ増加させながら位置推定を繰り返している。そのため、補正係数の増加量に応じて、位置推定回数が多くなるという問題がある。前節のシミュレーションによる定量評価では、提案方法は従来方法の約 4.4 倍

の位置推定回数となっており、位置推定時間が増加している。特に、アドホックネットワークではノードの移動の考慮も必要であるため、それに追従可能な速度で処理を完了する必要もある。しかし、無線通信の発展による通信速度の向上と信号処理技術の発展による向上により、このような回数・時間の問題は将来的に解消される可能性がある。

5. おわりに

自律分散的なノード位置推定法である SOM アルゴリズムを用いた位置推定法を対象とし、その推定精度の改善法について検討・提案し、提案方法の推定性能についてシミュレーションにより評価した。評価の結果、提案方法により位置推定精度の改善が可能であることを明らかにした。

今後の課題としては、位置推定方法の複雑化にともなう位置推定時間の増加などがあるが、将来の技術の発展によりこれらの課題も解決されると期待できる。

参考文献

- 1) 滝沢, デービス, 岩井, 川合, 小花: 無線アドホックネットワークによる自立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, pp.2903-2914 (2005).
- 2) Kohonen, T.: Self-Organizing Maps, 3rd ed., Springer (2001).
- 3) 高屋, 加藤, 岩井, 笹岡: 無線通信を用いた距離測定に関する屋内環境における実験的特性評価, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, No.260, AP2007-101, pp.81-85 (2007).