

受信信号強度による自律的自己位置推定方式の位置精度に関する考察

滝 沢 泰 久[†] デイビス ピーター[†] 岩 井 誠 人^{††}
川 合 誠^{†††} 山 口 明[†] 小 花 貞 夫[†]

人の状況を把握した上で空間に遍在するアプリケーションを用いてサービスを提供するコンテキストウェアシステムの研究が多く行われている。コンテキストウェアシステムでは、情報の獲得位置は重要なコンテキストであり、その情報位置の取得方式として、主に GPS や定点センシングが用いられている。しかし、GPS は屋内での利用が困難である。また定点センシングは位置が固定化された多量の測位センサーにより構成された空間が必要であり、拡張性や柔軟性に欠けている。我々は、この問題点を解決するために、アドホックネットワークを用いた自律的自己位置推定方式を提案している。本稿では、受信信号強度から算出される精度の低い測距を用いた場合の自律的自己位置推定方式の位置精度について考察する。

A Study on Location Accuracy of Autonomous Self Location Estimation Method using Received-Signal Strength

YASUHISA TAKIZAWA,[†] PETER DAVIS,[†] HISATO IWAI,^{††}
MAKOTO KAWAI,^{†††} AKIRA YAMAGUCHI[†] and SADAO OBANA[†]

In ubiquitous computing environment, one of the key issues is the context-aware system which propose services based on human context. In the context-aware system, location information of ubiquitous objects is a very important context. In outdoor environment, we can obtain precise location information using GPS. However, indoor environment usually requires different kind of positioning system because GPS signals are not available. To obtain location information in indoor environment, several indoor positioning systems have been researched. But these systems have problems for scalability and flexibility, because these systems need completely configured space. To solve the problems, we propose a concept, Personal-Sensing which sense ubiquitous environment on movement, and estimate self-location. In this report, a estimation accuracy of self-location estimation method using Received-Signal Strength is shown.

1. はじめに

人間の活動空間は、その移動により、身近な空間が連続的に繋がった広範囲で屋内外が混在する多様な空間として考えられる。このような環境において、高度な Location-Aware サービスを展開するとともに、ロケーションビジネス市場の拡大を図るためには、人間が活動する広範囲で多様な空間にわたり、獲得した情報の位置を高精度にセンシングする技術が不可欠とな

る。しかし、GPS や携帯電話網による位置推定技術は、広域をカバーできるが、屋内での精度の高い位置推定は困難である。一方、屋内における位置推定技術²⁾³⁾⁴⁾は、屋内に測位センサーを配置し、GPS と同様の三辺測量に基づき高精度な位置推定を行うものが多い。しかし、測位センサーの通信距離が小さいため広域にわたり高い精度の位置情報を得るには、大量のセンサーが必要である。従って、拡張性や柔軟性に欠け、さらに、設備コストおよびその保守コストが高くなる問題点をもつ。

我々は、上記の問題を解決するコンセプトとして、パーソナルセンシングを提案している¹⁰⁾。パーソナルセンシングは、自己位置推定機能、センシング機能、および両機能から高精度な位置情報を持つ環境センシング情報を合成する3つの機能から構成される(図1)。これらの機能を人が所持する携帯情報端末(または移

[†] 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所
Advanced Telecommunications Research
Institute International

^{††} 同志社大学工学部
Faculty of Engineering, Doshisha University

^{†††} 立命館大学情報理工学部
Faculty of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

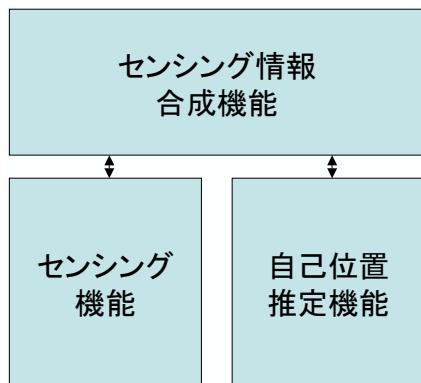


図 1 パーソナルセンシングの構成
Fig. 1 Construction of Personal-Sensing.

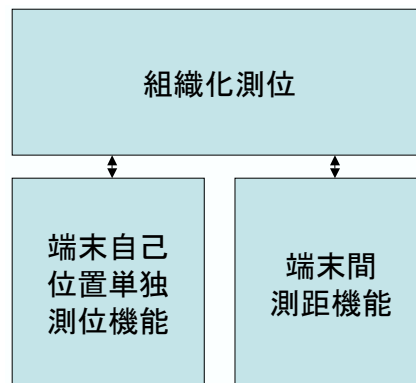


図 2 自己位置推定機能の構成
Fig. 2 Construction of self-location estimation function.

動体) に持たせ、移動しながら環境をセンシングし、さらに、その場所の自己位置推定を行うことで、センシング情報と位置を取得する移動センシング方式である。

パーソナルセンシングの自己位置推定機能は、固定された測位センサーへの依存度を低くするため、パーソナルセンシング端末間の協調により、個々の端末で自己位置を推定する。端末間の通信は無線アドホックネットワークにより実施し、アドホックネットワークの柔軟性と機動性を有効に用いる。本稿では、TDOA などの高精度な測距機能を想定しているパーソナルセンシングの自己位置推定方式に関して、受信信号強度による測距(大きな誤差を含み、精度が低い)を用いた場合の位置推定精度に関して考察する。以下、2章で、文献 10) に基づき、パーソナルセンシングの自己位置推定機能の構成と主要部分である組織化測位のアルゴリズムについて述べる。3章で、組織化測位において受信信号強度を用いた場合の位置推定精度についてシミュレーション評価から考察する。

2. パーソナルセンシングの自己位置推定機能

本章では、パーソナルセンシングの自己位置推定機能の構成について述べる。

2.1 自己位置推定機能の構成

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

から構成される(図 2)。端末自己位置単独測位機能は、例えば GPS などの機能により端末の位置を測位する機能である。単独測位での位置には多くのエラーが含まれていると想定する。この機能はオプションで省略可能である。端末間測距機能は、端末間の距

離を測定する機能である。この機能は、TOA(Time Of Arrival)、TDOA(Time Deference Of Arrival)、RTOF(Roundtrip Time Of Flight)などに基づいた測距機能を想定する。端末間組織化測位機能は、自己位置が未知またはエラーを含む位置情報をもつ多数の移動可能な端末(以降、ノード)と位置が固定され、自己位置が既知である少数の端末(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。各ノードは自己位置単独測位機能から位置情報(この機能がない場合は適当な自己位置を生成する)を取得し、これを仮の自己位置とする。この仮の自己位置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、近傍ノードへ送信する。近傍ノードは、直接通信できるノードである。従って、仮位置情報の近傍ノードへの送信は、最大ホップ数 1 のブロードキャストにより実施される。各ノードおよびアンカーノードはこの通信を定期的実施する。ノードは近傍ノードからの仮位置情報を受信した場合、その仮位置情報と端末間測距機能による該当近傍ノードとの距離により仮の自己位置を修正する。修正した自己位置は、定期的実施される仮位置情報の配信により近傍ノードへ送られる。すなわち、ノード間およびアンカーノードとの通信は、互いの位置推定状況に依存しないステートレスな通信であり、自己位置修正処理は各ノード毎に非同期/独立に行われる。このような通信と処理を再帰的に行うことにより、単独測位機能によるエラーを含む位置情報を修正しその精度を高め、また、アンカーノードと直接通信ができない端末においても、近傍ノードとの距離制約からネットワークトポロジーを再現させ、自己位置を推定可能とする。

2.2 組織化測位

組織化測位は、2.1 節で述べたノードおよびアンカー

ノード間の通信により得られる近傍ノードの仮位置情報と距離による多重制約を自己組織化マップ (SOM: Self-Organizing Maps)¹⁾ を用いて解き、自己位置を推定する。

提案する組織化測位のアルゴリズムは、ノード間の距離を有効に用いるため、次の2つの戦略でネットワークのトポロジを再現する。

- (1) 修正処理の初期段階ではホップ数が2以内のノード (比較的広範囲のノード、すなわち近傍関数の値が大きい) からの仮位置情報から修正処理を行う。修正処理はノード間の距離関係を強調して処理し、ノード間の距離特徴を優先してトポロジ形成する。
- (2) 初期段階から移行し、ホップ数が1のノード (近傍ノードに絞る、すなわち近傍関数の値を小さくする) からの仮位置情報から修正処理を行う。修正処理では、局所最適に近傍ノード間の距離誤差の最小化を図り、トポロジの形を整える。

また、修正処理の処理単位に必要な仮位置情報を任意の単一ノードからの仮位置情報とするために、入力ベクトルと勝者ベクトルを次のように選択および取得する。

- ネットワークトポロジの特性を示す入力ベクトルは、近傍ノードとの通信により取得した近傍ノードの仮位置情報と距離および自己位置の相関から動的に生成する。
- 勝者ベクトルは、近傍ノードから仮位置情報を受信したノードとする。

このような方針に基づく提案アルゴリズムを以下に説明する。

[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、これを含む仮位置情報を近傍ノードへ配信する。 t は修正回数であり、仮の自己位置の初期値では $t = 0$ 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 、すなわち勝者ベクトルであるノード 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 の仮の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 の仮の自己位置と入力ベクトル $m_i(t)$ の距離 $|m_i(t) - w_i(t)|$ を最小となるような修正ベクトル $V_i^{\{1\}}(t)$ を生成する (図3)。

$$V_i^{\{1\}}(t) =$$

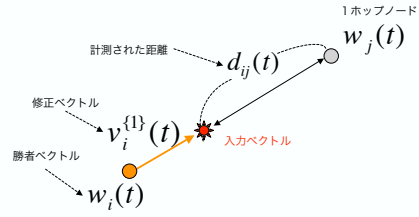


図3 近傍ノードによる入力ベクトルと修正ベクトル
Fig. 3 Input vector and victory vector by neighbor node.

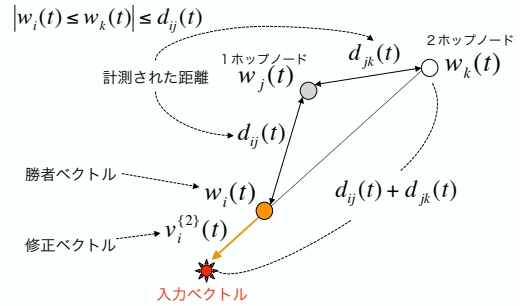


図4 2次近傍ノードによる入力ベクトルと修正ベクトル
Fig. 4 Input vector and victory vector by neighbor node 1.

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

修正処理の初期段階 (繰り返し回数が少ない) 場合、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。入力ベクトルは距離を強調した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 (図4) を生成する。

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

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5)。

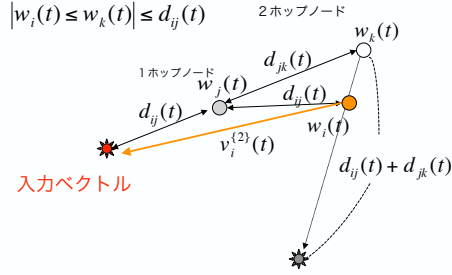


図5 2次近傍ノードによる入力ベクトルと修正ベクトル 2
Fig. 5 Input vector and victory vector by neighbor node 2.

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

以上に述べた修正ベクトル $V_i^{(1)}(t)$ と $V_i^{(2)}(t)$ から、次のように仮の自己位置を修正し、更新する。

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

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（以降、誤差しきい値）、 η は減衰定数である。減衰定数 η は $0 < \eta < 1$ の正の整数である。

式 (4) から分かるように、近傍関数は繰り返し回数しきい値 τ による単純なステップ関数とする。近傍関数は凹型の関数である場合、アルゴリズムが収束する



図6 評価関数における勾配上昇の効果
Fig. 6 Effect of gradient ascent for evaluation function.

ことが知られているが⁶⁾、このステップ関数はそれを満たしている。

提案アルゴリズムの評価関数として、式 (6) を用いるが、本来、SOM アルゴリズムは最適解を得られる保証がないため局所解に至る可能性（勾配降下と同様）がある。局所解から脱出手法は、GA、SA などいくつかの手法があるが、いずれも分散環境／アドホックネットワーク環境に適用するにはノード間をまたがる制御が必要となり、ノード間通信が増加する。従って、提案方式ではノード内に閉じ、ノード間通信が不必要である方式⁹⁾として、式 (4) の学習関数 $\alpha_i(t)$ により勾配を上昇する効果により実現する。すなわち、学習関数の式 (5) において上段の式により近傍ノードとの距離誤差が修正／更新処理により改善されない（誤差しきい値を超える）場合、アルゴリズムが局所解に至っている、または誤った方向に処理が進んでいると判断し、修正ベクトルを距離として反転させるため逆方向へ向けて、勾配を上昇させて、局所解から抜け出す可能性を高める効果をもたせる（図6の評価関数を参照）。さらに、式 (5) の上段では、その効果を高めるため、学習関数を大きな絶対量として多くの入力を受け入れるようにする。この手法は、必ず局所解から脱出できるという保証を与えるものではないが、シミュレーションを通して実用的には十分な性能を実現することを確認している⁹⁾。

[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が経過している場合、修正された仮の自己位置を含む仮位置情報を近傍ノードへ配信する。この情報を受信した近傍ノードが [Step. 2] を実施する。

以上により、[Step. 2] と [Step. 3] を繰り返し、ノード間で通信と仮の自己位置修正処理を再帰的かつ非同期に行うことにより、自己位置を推定する。

2.2.1 通信モデル

アンカーノードを含むノード間の通信により送信される仮位置情報は、次のデータから構成される。

- 自己の仮位置（アンカーノードの場合は固定の自己位置）とノード識別子
- 近傍ノードとの通信により取得した近傍ノードの

仮位置

- 近傍ノードとの通信により計測した近傍ノードとの距離
- 上記近傍ノードのノード識別子

近傍ノードの仮位置と距離は近傍ノード数分の複数のデータが仮位置情報に含まれる。

また、アンカーノードを含むノード間の通信は、定期的に仮位置情報を最大ホップ数1のブロードキャストにより近傍ノードへ配信する。この情報を受信したノードは自己の仮位置の修正処理を実施する。すなわち、近傍ノードの処理状況に関わらず、各ノードは仮自己位置の修正に応じて単独で仮位置情報を定期的に配信だけの通信モデルである。従って、ステートレスの通信であり、通信制御に関わるコストは非常に軽微である。

3. シミュレーション評価と考察

前節で述べた組織化測位の測位精度に関して受信信号強度を用いた場合のシミュレーション評価を行った。本章では、その結果とそれによる組織化測位の位置推定精度について考察する。

3.1 評価方法

シミュレーションを実施するにあたり、ネットワーク空間を 1.0×1.0 の平面として定義し、この空間にノードおよびアンカーノードをランダムに配置したネットワークトポロジーを定義する。

端末間測距機能は受信信号強度により距離を算出する。距離算出は、次式に示す LOS (見通し内伝搬) の電波伝搬モデルに従い算出する。

$$P_r = P_t - L_p + G_r + G_t + A_r \quad (7)$$

$$L_p = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (8)$$

P_r は受信電力 [dB], P_t は送信電力 [dB], P_t は自由空間伝搬損失 [dB], G_r は受信アンテナ利得 [dB], G_t は送信アンテナ利得 [dB], A_r はフェージングによって発生する相対的な信号強度変動である。また、フェージングによって変動する相対的な瞬時受信電力の包絡線振幅 $r (= 10^{A_r/20})$ は、次のようなライス分布の確率密度関数に従うものとする。

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp \left(-\frac{r^2 + A^2}{2\sigma^2} \right) I_0 \left(\frac{Ar}{\sigma^2} \right) \quad (9)$$

$$A^2 + 2\sigma^2 = 1 \quad (10)$$

$$K = \frac{A^2}{2\sigma^2} \quad (11)$$

A は直接波電力, σ は散乱波電力, $I_0()$ は第1種0次変形ベッセル関数, K はライス係数である。

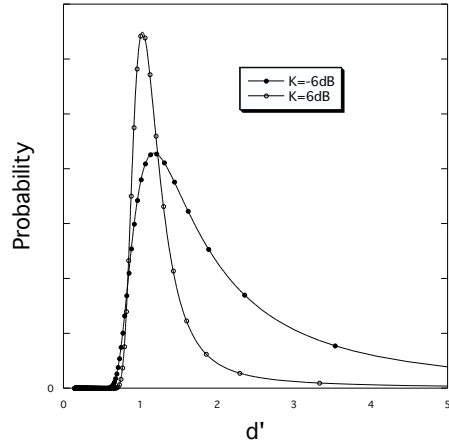


図7 ライスフェージング下で測距距離の分布
Fig. 7 Distribution of calculated distance for rice fading.

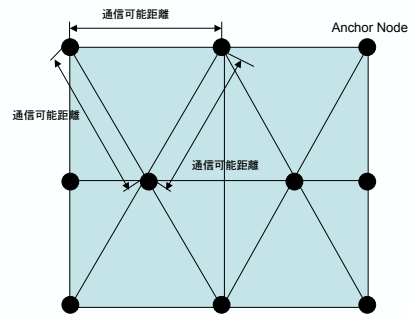


図8 三辺測量1のアンカーノード配置
Fig. 8 Anchor node position of triangulation-1.

以上の式から、ライスフェージングの影響下で算出される距離 d' は次のように求まる。また、ライス係数 K が -6dB の場合の距離 d' の分布を図7に示す。

$$d' = \frac{d}{\sqrt{r}} \quad (12)$$

本稿の評価では、単独測位機能はなしとし、仮の自己位置の初期値はランダムな値とする。ノードが修正した仮の自己位置を近傍ノードへ配信する間隔は、すべての近傍ノードと通信して仮の自己位置の修正を行った度毎とする。これを1サイクルとし、各ノード毎に300サイクル行った。

また、提案方式の比較評価対象として、距離により位置推定を行う三辺測量を用いた。比較評価に用いた三辺測量は電子航法研究所 (ENRI) で公開されているプログラム⁵⁾ を利用した。三辺測量のアンカーノードの配置は、各ノードから3つアンカーノードと通信可能であるケース (図8の triangulation-1, 一辺の長さ

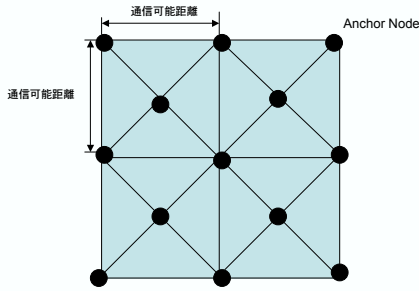


図9 三辺測量2のアンカーノード配置
Fig.9 Anchor node position of triangulation-2.

を通信距離とする正三角形の頂点にアンカーノードを配置したパターン、以降三辺測量1)と4つのアンカーノードと通信できるケース(図9の triangulation-2, 対角線の長さを通信距離とする正四角形の頂点にアンカーノードを配置したパターン、以降三辺測量2)の2つの配置を準備した。また、各ノードにおいて三辺測量による測位処理を50回試行し、各試行により得られた位置の重心を自己の推定位置とした。

位置推定精度の評価関数としては、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、次のように定義し、位置推定誤差と呼ぶ。

$$Err_{ave} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |W_i - w_i(t)|^2} \quad (13)$$

ただし、 N はノード数、 W_i はノード i の実際の位置である。

また、シミュレーションの各調整パラメータは表1に示す値を用いた。

3.2 ネットワークノード数と位置推定精度

本節では、位置推定誤差とネットワークノード数の相関について述べる。

図10に、アンカーノード数3、通信可能距離0.5、ライスフェージングにおける直接波散乱波の比(以降、ライス係数 $K = 10 \log(A^2/2\sigma^2)$)を6dB(3.98)の評価条件でのネットワークノード数による位置推定誤差を示す。ただし、三辺測量1はアンカーノード数が14(図8の配置パターンを 1×1 の空間に埋め込むと、上から図8の1列目、2列目、3列目と配置すると、4列目が必要となる。4列目は2列目と同じパターンの配

表1 シミュレーション調整パラメータ
Table 1 Simulation parameter.

繰り返し回数しきい値 τ	50
誤差しきい値 θ	0.01
減衰定数 η	0.99

置となるので、 $3 + 4 + 3 + 4 = 14$)、三辺測量2はアンカーノード数が17(図9のパターンでは4点のアンカーノードと通信できない領域が、 1×1 の正四角形の頂点と頂点を共有する8つの三角形の領域となり、この三角形において、辺を共有している4つの組毎に、接する辺上にアンカーノードを配置すれば、4点のアンカーノードと通信可能となるため、 $13 + 4 = 17$)となる。

各ネットワークノード数毎に各ノードをランダムに配置した50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施し、その位置推定誤差の平均値(図10の Error Average, 以降、推定平均誤差)をプロットした。図から分かるように、提案方式の推定平均誤差(図中の黒丸)はネットワークノード数が少ない場合精度が低い。これは近傍ノード数が少なく、距離制約が不十分であるため正しいポロジを再現することができないことを示している。ネットワークポロジとしては線状、環状、複数の部分に分離した形態であった。しかし、ノード数が増えるに従い、急速に精度が向上する。ネットワークノード数が10を超える(平均近傍ノード数10.4)と三辺測量1(図中の白丸)より高い精度を示す。三角測量1はネットワークノード数が増えると、精度が極僅かであるが劣化する。これは、アンカーノードに非常に近い位置にノードがある場合、3つのアンカーノードと通信可能ではあるが、非常に近いアンカーノードの距離が0に近づくため大きな計算誤差となるか、または測位不能となる(誤差が非常に大きい場合、および測位不能の場合は通信可能なアンカーノードの重心を推定位置とした。そのため図中ではその影響が表面化していない)。ノード数が増えると、アンカーノードに近いノードが現れる可能性が高まり、精度劣化となる。一方、三角測量2(図中の白三角)は、前述のような状況が発生しても、その他3つのアンカーノードの距離により高い精度の位置を算出できる。従って、三角測量2は、三角測量1より精度が高く提案方式より精度は低い。従って、提案方式はアンカーノード数3であることから、三辺測量1のアンカーノード数の約21%、三辺測量2のアンカーノード数の約18%で三辺測量1および2より高い精度を実現する。

次にノード間のライス係数 K を-6dB(0.25)とし、その他は同じ条件における各方式の位置推定誤差を図11に示す。図から分かるように、ネットワークノード数が5以外のネットワークにおいて提案方式は三辺測量1および三辺測量2より高い精度を示す。三辺測量1および2は、ライス係数 K が-6dBでは約20%程度

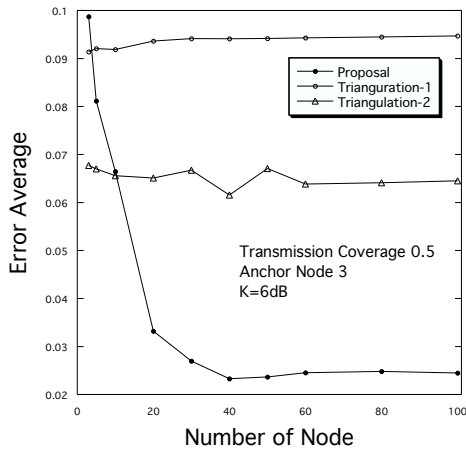


図 10 ノード数に応じた位置推定誤差
Fig. 10 Dependence of location estimation error on number of node.

が測位不能または非常に大きな誤差を算出する。一方、提案方式は測位不能になることなく、また十分なネットワークノード数（ネットワークノード数が 10 以上、平均近傍ノード数が 6 以上）であれば、ライス係数 K が -6dB と小さい（受信電力が直接波より散乱波により支配され、大きな減衰が発生する可能性が高い）場合でも、平均誤算が約 0.06（通信可能距離は 0.5）で位置推定が可能である。

以上のことから、提案方式は近傍ノード数が 10 以上であるネットワーク規模である場合、三辺測量 1 および 2 と比較して、少量のアンカーノード数（三辺測量 1 の 30%、三辺測量 2 の約 17%）で、それ以上の精度で位置推定可能である。

3.3 ライス係数と位置推定精度

本節では、位置推定誤差とライス係数の相関について述べる。

図 12 は、通信可能距離 0.5、アンカーノード数 3 において、ノード数が、それぞれ、50、20 の 2 つのネットワークにおける提案方式のライス係数に応じた推定平均誤差、およびノード数 50 の三辺測量のライス係数に応じた推定平均誤差を示す。

この図から分かるように、3 方式ともライス係数が大きくなる（受信電力が直接波により支配されて、大きな受信電力低下の発生可能性が低くなる）と推定平均誤差も小さくなるが、提案方式は三辺測量 1 および 2 と比較して、いずれのライス係数においても、推定平均誤差が低く抑えられている。三辺測量 1 および 2 では、ライス係数が小さくなるに従い、測位不能となるノードが急増する。三辺測量 1 においては、ライス

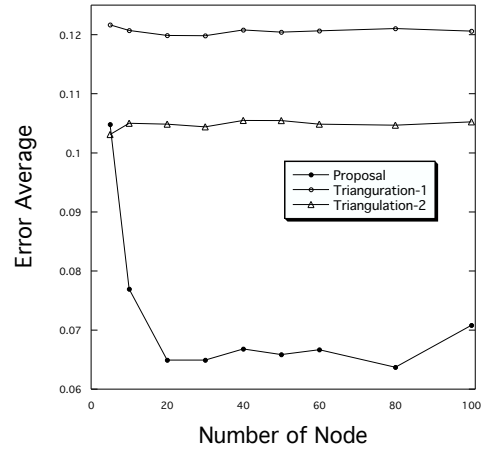


図 11 ノード数に応じた位置推定誤差 (2)
Fig. 11 Dependence of location estimation error on number of node (2).

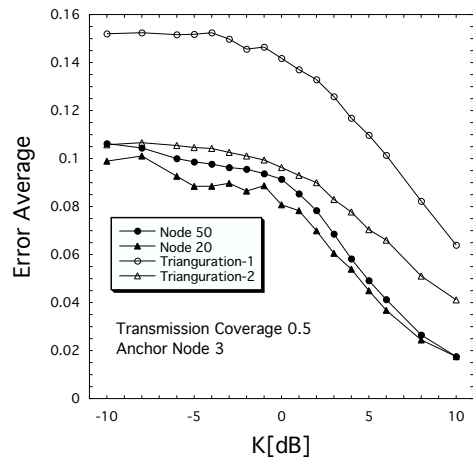


図 12 ライス係数 K に応じた位置推定誤差
Fig. 12 Location estimation error on rice K paramter.

係数が -1dB で約 20% のノードが測位不能となり、ライス係数が -1dB 以下ではほぼ機能しなくなる。三辺測量 2 においては、ライス係数が -3dB で約 20% のノードが測位不能となり、ライス係数が -3dB 以下ではほぼ機能しない結果となった（三辺測量 1 および 2 のいずれも、測位不能となった場合は、アンカーノードからの重心を測位点としているため、三辺測量が機能しない図中のライス係数が小さい区間では、推定平均誤差が実際の値より低い値として表示されている）。これは、距離変動が大きく、またその誤差が大きいため、三辺測量の計算に必要なトポロジ（三角形）を形成できないのが原因と考えられる。

一方、提案方式は測定に用いたいずれのライス係数

K においても、三辺測量1および2より高い精度を実現する。しかし、提案方式において、ライス係数 K が4dB以下になると、推定平均誤差と通信可能距離の比が10%を超える結果となり、精度は大きく劣化する。ライス係数 K が低く、受信電力変動が激しい場合、算出される距離も大きく変動する(図7参照)ため、提案方式は取束せずに、距離の変動とともに振動し続ける結果となった。

以上のことから、提案方式は、三辺測量が測位困難である受信信号強度レベル(大きく減衰する可能性が高い)においても位置推定が可能であるが、位置推定誤差が通信可能距離の10%を超え、その精度は大きく劣化する。

4. おわりに

本稿では、SOM アルゴリズムを応用した自律的自己位置推定方式を説明し、さらに、受信信号強度を用いた場合の自律的自己位置推定方式の位置推定精度に関して、そのシミュレーション結果から次のことを示した。

- 三辺測量では測位困難な受信信号強度レベルにおいても測位可能である。
- しかし、その精度は受信電力の変動とともに大きく劣化する。

今後の予定として、受信電力の変動が大きい場合の位置推定精度の改善方式を検討する。

参 考 文 献

- 1) T. Kohonen: Self-Organizing Maps 3rd ed, Springer, (2001).
- 2) N. Priyantha, A. Miu, H. Balakrishman, and S. Teller: The Cricket Compass for Context-aware Mobile Applications, *MOBICOM2001*, (2001).
- 3) A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, A. Ward, and P. Webster: The Anatomy of a Context-aware Application, *MOBICOM1999*, (1999).
- 4) R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons: The Active Badge Location System, *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 10, No. 1, pp 91-102., (1992).
- 5) http://www.enri.go.jp/~fks442/K_MUSEN/
- 6) E. Erwin, K. Obermayer, and K. Schulten: Self-organizing maps: Stationary states, metastability and convergence rates, *Biol. Cybern.*, Vol. 67, pp.35-45., (1992).
- 7) P. -C. Chen: A Non-Line-of-Sight Error Mitigation Algorithm in Location Estimation, *In Proc. IEEE Wireless Communications Net-*

working Conference, Vol. 1, pp. 316-320., (1999).

- 8) L. Cong and W. Zhuang: Non-Line-of-Sight Error Mitigation in TDOA Mobile Location, *In Proc. IEEE Globecom*, pp. 680-684., (2001).
- 9) 滝沢, 芝, 大久保: VBR ストリーム処理のための適応的スケジューリングポリシーとその性能評価, *情報処理学会論文誌*, Vol.42, No.SIG14, pp.50-63 (2001).
- 10) 滝沢, Davis, 岩井, 小花, 川合: 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, *情報処理学会研究報告*, Vol.2005, No.28, pp.171-178 (2005).