社団法人　情報処理学会　研究報告
IPSJ SIG Technical Report

2005－MBL－32（24）
2005－UBI－　7（24）
2005／3／18

# 無線アドホクネットワークによる自律的端末位置推定方式

滝沢泰久[†]　ピーター デービス[†]　岩井誠人[†]
小花貞夫[†]　川合　誠[††]

微弱電力の無線デバイスが添付された日常の一般的な物品や機器により構成されるユビキタスコンピューティング環境において，人の状況を把握した上で空間に遍在するアプライアンスを用いてサービスを提供するコンテキストアウェアシステムの研究が多く行われている．このシステムでは，人やアプライアンスの位置は重要なコンテキストであり，その位置情報の取得方式として，主に GPS や定点センシングを用いている．しかし，GPS は屋内での利用が困難であり，また定点センシングは測位センサーにより完全に構成された空間が必要となり，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，移動体によりアプライアンスを発見し，位置推定を行うパーソナルセンシングを提案する．本稿では，パーソナルセンシングを提案するとともに，パーソナルセンシングにおける位置推定方式のアルゴリズムとその性能特性について議論する．

# An Autonomous Terminal Location Estimation using Wireless Ad-hoc Network

Yasuhisa Takizawa,[†] Peter Davis,[†] Hisato Iwai,[†]
Sadao Obana[†] and Makoto Kawai[††]

In ubiquitous computing environment which is composed of daily goods attached wireless tag, one of the key issue is context-aware system which propose services based on human context. In context-aware system, location information of ubiquitous objects is 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 signal is not available. To obtain location information in indoor environment, several indoor positioning system have been researched. But these systems have problem for scalability and flexibility, because these systems need completely configured space. To solve this problem, we propose Personal-Sensing which is location sensing on movement, and estimate self-location. In this report, we propose Personal-Sensing, and location estimation algorithm of Personal-Sensing is described, furthermore performance characteristic of proposed algorithm is argued.

## 1. はじめに

近年の GPS を用いたカーナビゲーションシステムの普及や，携帯電話によるパーソナルナビゲーションサービスの開始などにより，位置情報に基づいたサービス（LBS: Location Based Service）がモバイル市場へ急速に展開されつつある．例えば，人，車，ペットなどの位置情報を使用して防犯に関わる各種サービスが提供されている．また、移動通信事業者では，メールで現在の位置情報を地図情報とともに送受信するサービスを提供している．今後は，さらに，多様な LBS が市場に展開されることが予想され，いわゆるロケーションビジネス市場が拡大することが期待されている．しかし，市場の拡大には，利用範囲が屋外や屋外にある設備だけでなく，屋内や屋内の設備・機器を対象とすることと，対象物の位置とともにその動的な状態を扱うことが必要不可欠となる．

一方、マイクロデバイスのコスト性能比の向上と無線通信技術の普及により，微弱電力で近接通信を可能とする無線デジタルデバイス（RFID タグ，Bluetooth，ZigBee など）が小型化・低価格化・高性能化し，多様な使用目的に対応可能になってきている．このような無線デジタルデバイスは，その特徴から，人間の日常活動における身近で多様な物品に添付され，大量に流通することが予想されている．無線デジタルデバイス

† （株）ATR 適応コミニュケーション研究所
ATR Adaptive Communications Research Laboratories
†† 立命館大学情報理工学部
Facutly of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

が，日常生活における一般的な物品に添付されることで，いままでは情報処理の対象になり得なかった多様な物品やそれらが偏在する広範囲な場所が情報処理の対象となり得る環境が構築されつつある．いわゆるユビキタスコンピューティング環境が整備されつつある．このユビキタスコンピューティング環境では，人間本位の情報処理が求められるため，人間と偏在する物品との間の位置関係およびそれらの状態からサービスを構築する LBS の研究や実験が多数行われている．これらの LBS の研究や実験には，センサーを完全に配置した自由空間 [7][8][6] を用いて，人や物品の位置と状態を正確に検知し，より緻密でリアルタイムなサービスを提供する高度な LBS が数多く含まれている．しかし，これらの LBS はセンサーが十分に配置された空間を必要とするため，その適用範囲は限定的な空間にとどまっている．

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 LBS 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，物品や人の位置情報や状態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り，また日常の一般的な物品に適用するのは困難である．一方，センサーによる位置推定技術では，広域にわたり高い精度の位置情報を得るには，大量のセンサーを広範囲に，無線デジタルデバイスの通信制約を考慮して完全に配置する必要がある．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ために，パーソナルセンシングを提案する．パーソナルセンシングは，自己位置推定機能，無線デジタルデバイスの発見／検知する機能，および両機能から位置情報を合成する 3 つの機能から構成される（図 1）．これら機能を人が所持する携帯情報端末（または移動体）に待たせ，移動しながら自動的にモノを発見／検知し，さらに，その場所の自己位置推定を行うことで、モノの位置と状態を取得する新たな測位方式である．パーソナルセンシングは

- 固定された測位インフラ（位置が既知であるアンカーノードの数）が軽微である．
- 位置精度を補正する．
- 多様な環境で利用可能である．

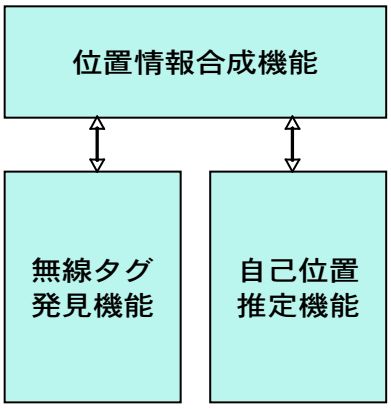



**図 1** パーソナルセンシングの構成
Fig. 1 Construction of Personal-Sensing.

を特徴とする．パーソナルセンシングの自己位置推定機能は，固定された測位インフラ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的に用いる．以上のことから，前述の特徴を実現する．本稿では，パーソナルセンシングを提案するとともに，パーソナルセンシングの自己位置推定機能とその性能特性について述べる．以下，2 章でパーソナルセンシングの自己位置推定機能の構成を概説し，その自己位置推定機能の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．さらに，3 章で組織化測位のシミュレーション評価からその性能特性を議論する．

## 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(Tome Of Arrival)，TDOA(Time Deference Of Arrival)，RTOF(Roundtrip Time Of Flight) などの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

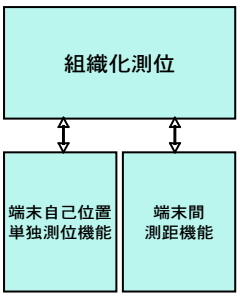



**図 2** 自己位置推定機能の構成
Fig. 2 Construction of Self-Location Estimation Function.

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．この仮の自己位置をノード識別子などとともに（以降，仮位置情報），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，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に実施する．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，定期的に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．従って，ノード間およびアンカーノードとの通信は，互いの状態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（図 3）．

### 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仮位置情報と距離を自己組織化マップ（SOM:Self-Organizing Maps）を用いて，自己位置を推定する．

SOM は、Kohonen[1] によって提案されて以来，高次元データの低次元化に変換する機能を利用して，各種研究が行われている．ネットワークトポロジーの再現への SOM の適用として，Bonabeau らにより定式化された手法 [2)3)] をもとにしたものが提案されている [4)5)]．しかし，これらの手法は

- 位置を推定するために通信可能な距離を事前に固定された値として与える必要があること．
- ノードにおける自己位置修正処理が近傍ノードの処理状況に強く依存するため，ノード間通信が同期通信となっていること．

の 2 点において実用上大きな問題となる．提案する組織化測位のアルゴリズムは，この手法をベースとして，

- 固定的な通信可能距離の代わりにノード間の通信で動的に計測された距離を用いる．ただし，このノード間の距離には，エラーが含まれていると想定する．
- 各ノードの自己位置修正処理が近傍ノードの処理状況に依存しないようにする．

のために，自己位置推定アルゴリズムを改修した．以下，Bonabeau らの SOM による手法 [2)3)] について説明し，その後，提案する組織化測位にアルゴリズムについて説明する．

#### 2.2.1 SOM アルゴアリズム

Bonabeau らのアルゴリズムを SOM アルゴリズとして概説する．

$G = (V, E)$ を $n$ 個のノード集合 $V = v_i | i = 1, \cdots, n$ とエッジの集合 $E$ を有する無向グラフとする．ノード $i$ には各要素に 0 以上 1 以下である位置ベクトル $w_i \in R$，ノード $i$ とのど $j$ とのリンク $e_{ij} \in E$ はスカラーの重み（$0 \geq e_{ij} \leq 1$）が割り当てられる．ただし，$R$ は実数集合である．ノード $i$ に接続しているノード集合をノード $i$ の 1 次近傍集合という．SOM アルゴリズムは，このような SOM ネットワークグラフの各ノードの位置ベクトルを，繰り返し

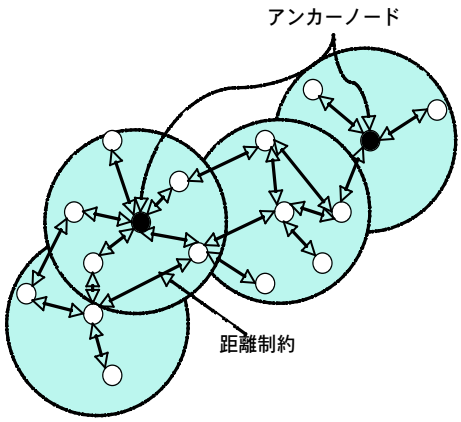



**図 3** 近傍ノード間通信による位置情報の伝搬
Fig. 3 Propagation of Location Information by Neighbor Node Communications.

入力される実際のネットワークグラフのトレーニングベクトルを用いて更新し，SOM ネットワークグラフに実際のネットワークを再現する．以下，その手順を説明する．

[Step. 1] 一様分布に従って，トレーニングベクトル $m$ を選択する．

[Step. 2] トレーニングベクトル $m$ にユークリッド距離において最も近いノードを選択し，これを勝者ベクトル $w_im$ と呼ぶ．

[Step. 3] 勝者ベクトル $w_{im}$ をトレーニングベクトル $m$ へ近づけため，次のように更新する．

$$w_{im}(t+1) = w_{im}(t) + \alpha(t) \cdot (m - w_{im}(t)) \quad (1)$$

[Step. 4] 勝者ベクトル $w_{im}$ の近傍集合に含まれるノード $j$ をトレーニングベクトルに塚づけるため，次のように更新する．

$$w_j(t) = w_j(t) + \frac{e_{ij} \cdot \alpha(t) \cdot (m - wj(t))}{f(t)} \quad (2)$$

$\alpha(t)$ は学習関数，$f(t)$ は近傍関数でそれぞれ次のように定義する．

$$\alpha(t) = \frac{\alpha_0 \cdot T}{\eta \cdot m + T} \quad (3)$$

$$f(t) = \left\lceil \frac{f_0 \cdot (T - \xi \cdot t)}{T} \right\rceil \quad (4)$$

ただし，$\alpha_0$ は学習学習の初期値，$\eta$ は学習関数の調整パラメータ，$f_0$ は近傍関数の初期値，$\xi$ は近傍関数の調整パラメータ，$T$ は総繰り返し回数である．

以上の手順を繰り返し実施し，SOM ネットワークの各ノードにより実際のネットワークのトポロジを再現する．

### 2.2.2 組織化測位のアルゴリズム

提案する組織化測位のアルゴリズムを SOM アルゴリズムと比較し，説明する．

[Step 1]　ノード $i$ は，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 $w_i(t)$ とする．$t$ は修正回数であり，仮の自己位置の生成時は $t = 0$ である．

[Step 2]　仮の自己位置 $w_i(0)$ を近傍ノードへ配信する．

[Step 3]　ノード $i$ が近傍ノード $j$ から近傍ノード $j$ の仮の位置 $w_j(s)$ を受信した場合，ノード $i$ に勝者ベクトルとしての修正を行う．先ず，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 $j$ との距離 $d_{ij}(t)$ と仮の自己位置により算出されるノード $i$ の位置をトレーニングベクトル $m_i(t)$ とする．ノード $i$ の仮の自己位置をトレーニングベクトル $m_i(t)$ に近づける．すわなち，ノード $i$ の仮の自己位置とトレーニングベクトル $m_i(t)$ の距離 $|m_i(t) - w_i(t)|$ を最小となるような修正ベクトル $V_i(t)$ を生成する．

$$V_i(t) = \frac{d_{ij}(t) - |w_i(t) - w_j(s)|}{|w_i(t) - wj(t)|}(w_i(t) - w_j(s)) \quad (5)$$

修正ベクトル $V_i(t)$ から，次のように仮の自己位置を修正し，更新する．

$$w_i(t+1) = \begin{cases} w_i(t) - e_{ij}(t) \cdot \alpha_i(t) \cdot V_i(t) & \theta \geq \Delta D_i(t) \\ w_i(t) + e_{ij}(t) \cdot \alpha_i(t) \cdot V_i(t) & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

上式の $e_{ij}(t)$ は $t$ 回目の修正時のノード $i$ とノード $j$ のリンク重み，$\alpha_i(t)$ は $t$ 回目の修正時のノード $i$ の学習関数，$\Delta D_i(t)$ は $t$ 回目の修正時のノード $i$ の近傍ノードのとの距離平均誤差の変化量であり，次のようになる．

$$e_{ij}(t) = \exp(\theta - \Delta D_i(t)) \quad (7)$$

$$\Delta D_i(t) = D_i(t) - D_t(t-1) \quad (8)$$

$$D_i(t) = \sqrt{\frac{1}{N_i(t)} \sum_{j=1}^{N_i(t)} (d_{ij}(t) - |w_i(t) - w_j(t)|)^2} \quad (9)$$

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} 1 & \theta \geq D_i(t) - Di(t-1) \\ \eta \cdot \alpha_i(t-1) & otherwise \end{cases} \quad (10)$$

ただし，$N_i(t)$ 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（以降，誤差しきい値），$\eta$ は減衰定数である．減衰定数 $\eta$ は $0 < \eta < 1$ の正の整数である．

SOM アルゴリズムでは，最適解を得られる保証がないため局所解に至る可能性がある．そのため，式 6 において反学習と同等の効果を提供する．すなわち，式 6 の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，その逆方向へ処理を向けて，局所解から抜け出す可能性を高める効果をもつ（図 4 のエネルギー関数を参照）．さらに，式 10 の上段では，その効果を高めるため，学習関数を初期化して多くの入力を受け入れるようにする．また，生成される勝者ベクトルは通信する各ノードの仮の自己位置から生成されるため，多くのエラーが含まれている．そのため，式 7 により，より誤差の少な

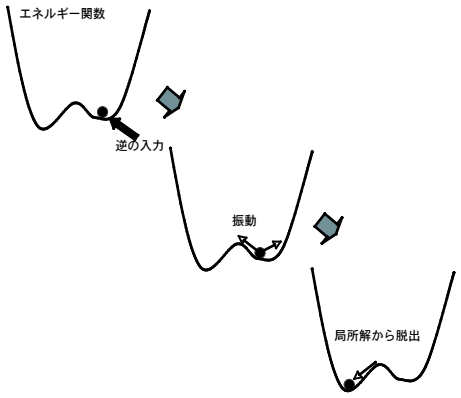



**図 4** 反学習の効果
Fig. 4 effect of unlearning.

い近傍ノードの仮自己位置よる修正を強調する．

[Step 4] 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 3] を実施する．SOM アルゴリズムにおける [Step 4] は，提案アルゴリズムにはない．その理由として，

- 近傍ノードも含めて自己位置を修正するには，近傍ノード数のオーダーで通信量が増加する．
- 近傍ノードに修正した仮の自己位置を配信し，それに基づいて近傍ノードが [Step 3] を実施することは SOM アルゴリズムの [Step 4] に相当する．

ためである．

以上により，Step3 と Step4 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，各ノードで自己位置を推定する．

## 3. シミュレーション評価と性能特性

前節で述べた組織化測位の測定精度に関して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性能特性について議論する．

### 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 $1.0 \times 1.0$ 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．また，端末間測距機能により得られる距離データはエラーを含むが，本稿では計測エラーをを対象とし，NLOS（Non-Line Of Sight）エラーは含まないものとする．計測エラーは正規分布として扱う．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する．これを 1 サイクルとし，各ノード毎にを 300 サイクル行った．

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ト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．

$$Err_{ave} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|W_i - w_i(t)|^2} \qquad (11)$$

ただし，$N$ はアンカーノードを含むノード数，$W_i$ 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 近傍ノード数と位置推定精度

本節では，位置推定誤差と近傍ノード数の相関について述べる．

図 5 は，アンカーノード数 2，通信可能距離を $\sqrt{2}$（定義されたネットワーク空間のすべてのノードが互いに直接通信できる距離），ノード間距離の誤差偏差は 0.01 の場合における近傍ノード数による位置推定誤差の変化を示す．

$y$ 軸の値は，100 回シミュレーションを実施し，その位置推定誤差の平均値（以降，推定平均誤差）とした．図から分かるように推定平均誤差（図中の黒丸／実線）は近傍ノード数が増えるに従い，減少する．近傍ノード数が 60 ををを超えると推定平均誤差はノード間距離の誤差偏差と同等の値となる．推定平均誤差が 0.1 を下回る場合を正しく位置推定ができたもの（以降，正解推定）として，その割合とその場合の推定平均誤差（以降，正解誤差）をそれぞれ破線／三角，破線／四角で表している．

これから分かるように，近傍ノード数が少ない場合は正解推定の占める割合が 8〜9 割であり，良い結果が得られない．そこで 300 サイクルの推定処理後に式 8 の近傍ノードとの距離誤差の平均（位置推定誤差は各ノードで知ることができないため，近傍ノードとの距離誤差の平均を用いる）が期待する誤差より大きい場合，そのノードは推定した位置を破棄し，ランダムな位置を生成して再度 300 サイクルの処理を行うようにアルゴリズムを変更する．今までの推定位置を破棄することは，式 6 と同様の効果を提供するが，破棄する方がより大きな変動を与える．図 6 はその結果を示す．図 5 と図 6 を比較して分かるように，近傍ノード

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

| | |
|---|---|
| 誤差しきい値 $\theta$ | 0.1 |
| 減衰定数 $\eta$ | 0.95 |

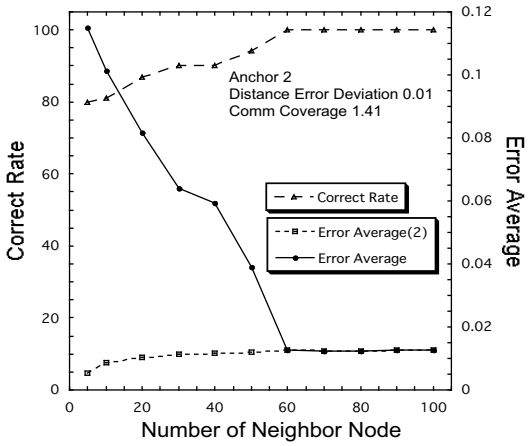



**図 5** 近傍ノード数に応じた位置推定誤差
Fig. 5 Location Estimation Error on Number of Neighbor Node.

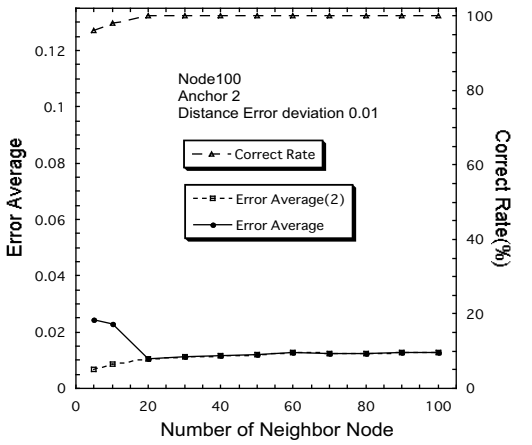



**図 6** 近傍ノード数に応じた位置推定誤差（2）
Fig. 6 Location Estimation Error on Number of Neighbor Node (2).

数が少ない場合でもほぼ正解推定が可能となった．

以上のことから，近傍ノード数および処理回数により位置推定誤差を制御することが可能であると考える．

また，アンカーノード数が 3 に満たない場合でも，適切な数の近傍ノードと通信可能であれば，位置を推定することが可能である．

### 3.3 アンカーノード数と位置推定精度

本節では，位置推定誤差とアンカーノード数の相関について述べる．

図 7 は，総ノード数 100，通信可能距離 0.35 および 0.2，ノード間距離の誤差偏差 0.01 の場合におけるアンカーノード数による推定平均誤差の変化を示す．

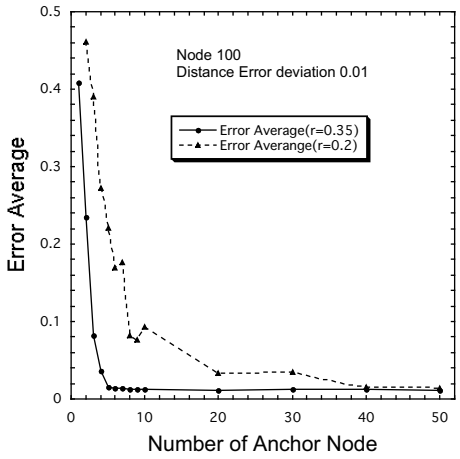



**図 7** アンカーノード数に応じた位置推定誤差
Fig. 7 Location Estimation Error on Number of Anchor Node.

図から分かるように，通信可能距離が 0.35，0.2 のいずれも，アンカーノード数の増加に伴い推定平均誤差が急速に減少する．通信可能距離が 0.35 の場合は，アンカーノード数が 5 を超えると推定平均誤差がノード間距離の誤差偏差と同等の値となる．この場合の平均近傍ノード数は 29.32，直接通信可能なアンカーノード数の平均は 1.19 である．通信可能距離が 0.2 の場合は，アンカーノード数が 40 から同等の精度になる．この場合の平均近傍ノード数は 10.14，直接通信可能なアンカーノード数の平均は 4.23 である．通信可能距離が 0.2 の位置推定誤差を減少させるためには，多くのアンカーノードが必要である理由は，通信可能距離が短いため近傍ノード数が少ないためであると考えられる．また，送信可能距離も影響していると考えるが，これは次節で説明する．

### 3.4 距離エラー分布と位置推定精度

本節では，位置推定誤差と距離エラー分布の相関について述べる．

図 8 は，通信可能距離 0.5 において，総ノード数とアンカーノード数が，それぞれ，50/6，50/3，20/3 の 3 つのネットワークに関するノード間距離の誤差偏差よる位置推定誤差の変化を示す．

この図から分かるように，エラー分布を大きくするとそれにほぼ比例して，位置推定誤差も拡大する．3 つのネットワークにおいて，ノード数／アンカーノード数が多いネットワークが少ない位置推定誤差となっている．しかし，各ネットワークの位置推定誤差には著しい違いはなく，距離エラーによる位置推定誤差の変化はネットワークのノード数およびアンカーノード数

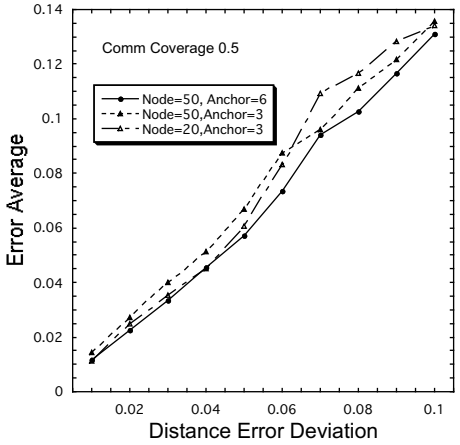



**図 8** ノード間距離誤差分布に応じた位置推定誤差
Fig. 8 Location Estimation Error on Inter-Node Distance Error.

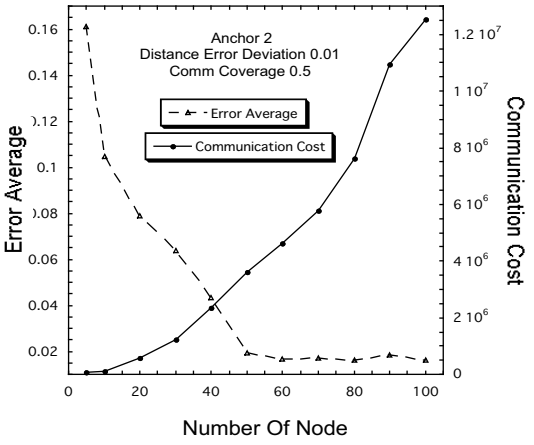



**図 9** 位置推定誤差と通信コスト
Fig. 9 Location estimation error vs Communication cost.

に強く依存していない．

一方，図 7 において，送信可能距離が 0.35 のネットワークと .0.2 のネットワークでは，位置推定誤差において明らかな違いがあるのが分かる．送信可能距離が 0.35 のネットワークでは，その位置推定誤差が距離エラーと同等となるのは，アンカーノード数が 5 の時である．この場合の，平均近傍ノード数，および直接通信可能な平均アンカーノード数は，それぞれ，29.32, 1.19 である．送信可能距離が 0.2 のネットワークの場合，アンカーノード数が 30 における平均近傍ノード数，および直接通信可能な平均アンカーノード数は，10.14，3.04 である．これを比較すると，送信可能距離が 0.2 のネットワークは近傍ノード数は少ないが，アンカーノード数が高い値となっているので十分に高い精度を期待できるネットワーク構成となっているが，推定平均誤差は 0.032733 である．従って，位置推定誤差は，送信可能距離にも依存すると考える．すなわち，送信可能距離が小さいと距離エラーの影響が受けやすく，結果として位置推定誤差が大きくなると思われる．

### 3.5 位置推定処理遅延

組織化測位における位置推定処理は，ノード数×近傍ノード数のオーダーで増加する．処理遅延は修正処理遅延と近傍ノードとの通信遅延により構成される．しかし，修正遅延は，通信遅延と比較してその処理時間が非常に微量である．従って，修正遅延は近傍ノードとの通信遅延に強く依存することは明白である．図 9 に，アンカーノード数 2，通信可能距離 0.5，ノード間の距離誤差 0.01 の場合におけるノード間通信総数と位置推定誤差の相関を示す．この図から分かるように，ノード数を増やすと位置推定誤差が小さくなるが，ノード間通信総数が増えて推定処理遅延が大きくなる．図 10 は，同じ条件の結果を $x$ 軸に位置推定平均誤差，$y$ 軸にノード間通信総数で表したものである．この図から分かるように，位置推定の精度を保証するには適切なノード数が存在すると考える．

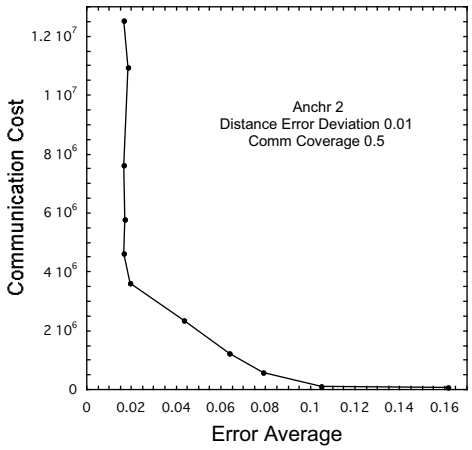



**図 10** 位置推定誤差と通信コスト（2）
Fig. 10 Location estimation error vs Communication cost 2.

## 4. おわりに

本稿では，無線タグデバイスの新たな測位方式としてパーソナルセンシングを提案し，パーソナルセンシングの自己位置推定機能について述べた．さらに，自己位置推定機能の組織化測位においては，SOM アルゴリズムをネットワークトポロジ推定に応用したアル

ゴリズムを提案し，その基本的な性能特性を示した．

今後は，組織化測位において，その基本的性能特性に基づき

- ノード数，アンカーノード数，通信可能距離（送信電力）をメトリックとして用いた測位精度の制御
- NLOS を軽減するネットワークメカニズム／トポロジ
- 移動性（人の歩行速度を想定）への対応

を検討する予定である．

## 参 考 文 献


1) T. Kohonen: Self-Oranizing Maps 3rd ed, *Springer*, (2001).
2) E. Bonabeau and F. Henaux: Self-organizing maps for drawing large graphs, *Information Processing Letters*, Vol. 67, No. 4, pp. 177–184 (1998).
3) E. Bonabeau and F. Henaux: Graph Partitioning with Self-Organizing Maps, *Private Communication*, (1998).
4) 保坂，呉谷，梅原，川合: SOM アルゴリズムを用いたネットワークトポロジーの再現，電気通信学会電子・情報システム部門誌, Vol. 122-C, No. 2, pp. 208–216 (2002).
5) 朝倉，梅原，川合: SOM アルゴリズムを用いた移動端末の分散型位置推定法，電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J85-B, No. 7, pp. 1042–1050 (2002).
6) N. Priyantha, A. Miu, H. Balakrishman, and S. Teller: The Cricket Compass for Context-aware Mobile Applications, *MOBICOM2001*, (2001).
7) A. Harter, A.Hopper, P. Steggles, A. Ward, and P. Webster: The Anatomy of a Context-aware Application, *MOBICOM1999*, (1999).
8) 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).