

アドホックネットワークにおける推定精度を考慮した位置範囲推定法

佐藤 雅幸[†] 若山 公威[†]
松尾 啓志[†] 岩田 彰[†]

GPSなどの機器により絶対位置を取得可能な端末と可能でない端末が混在する環境においてアドホックネットワークを構成することにより他の端末から情報を取得して、位置の取得が可能でない端末が自身の位置を推定する手法 Othello を提案する。Othello は近隣端末との隣接関係に応じて推定精度を考慮する。また、過去の隣接関係を記憶しておくことにより位置推定の精度の向上を図る。本手法により特に移動性を持つ場合において有効な位置推定が可能であることを示す。本研究により、より容易で高精度な位置推定を実現することが可能となる。

Estimation of Mobile Nodes Position considering Accuracy for Ad-Hoc Networks

MASAYUKI SATO,[†] KIMITAKE WAKAYAMA,[†] HIROSHI MATSUO[†]
and AKIRA IWATA[†]

This paper presents a method, Othello, for estimating the self position of nodes. This estimation is performed under the circumstances in which there are some nodes that are capable and not capable of obtaining the position information from GPS and have formed Ad-Hoc network. Othello considers the relationship between the nodes and its vicinity. Depending upon the record of previous relationship, the improvement of estimation's accuracy is done. In this method, especially the case of nodes possessing mobility reveals the possibility of effectively estimating the position. This research helps in realization of high accuracy without much difficulty.

1. はじめに

無線端末における通信技術として現状のインフラである固定基地局利用型の通信体系とは異なり、複数の無線端末によって短期的に動的にネットワークを形成するネットワークはアドホックネットワークと呼ばれる。各無線端末間において、1ホップの無線通信半径外に離れている無線端末にもマルチホップによって通信を確立できる。

短期的に近隣の端末と通信するアドホックネットワークは既存の固定基地局の電波の届かない場所においてもネットワークの構築が可能であり、人が入りにくい場所において、無線センサ端末により地質や気候の調査を自動で取得し情報を取得すること、緊急災害時の救助活動において緊急情報の配布、地域ごとに異なる観光広告を一つの同じ端末への切替配信に利用できると期待されている。

各端末が短期的に近隣端末を経由して通信するとい

う性格のためにアドホックネットワークにおいては技術的な課題がいくつか残されている。中継端末によってマルチホップすることで通信されるアドホックネットワークでは、端末の移動によって通信が切断されることが頻繁にあることを想定しなければならない。そのため、ルーティングに関しても通信の切断を考慮しなければならず、通信の切断を認めるテーブル駆動型のルーティング (DSDV 他)、送信者始動型のテーブルを持たないルーティング (AODV, DSR 他) が研究されている。さらに、無線端末の電池残量や消費電力量を考慮して経路を動的に変更するルーティングの研究も行われている。

無線端末間の通信に必要な ID を一意に定めるアドレッシングやネーミングの技術も既存の固定 IP 網技術と異なる技術が必要になる。メディアアクセスプロトコルにおいては隠れ端末問題と呼ばれる競合の問題や、関係のない端末が関係のない情報を他の端末から傍受してしまうさらし端末問題がある。こうした技術的な問題と並行して、アドホックネットワークを利用する上での研究もなされており、特にアドホックネットワークを利用して端末の存在位置を推定する研究が

[†] 名古屋工業大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

行われている。この技術が確立されれば災害時の行方不明者の捜索に応用が期待される。

各無線端末の存在位置を特定する技術には、衛星からの電波を利用した地球測位システム GPS、赤外線を利用した Active Badges、超音波を利用した Active Bats、IEEE 802.11 無線 LAN を用いた RADAR があげられる。RADAR は屋内において無線強度を利用して強度と位置の関係から位置計測をする¹⁾。Active Badges、Active Bats は各利用者が装着した発信機から発信した赤外線、超音波をフロアの各所に設置された受信機で受信し、位置を特定する技術である²⁾。これらの方式には利用にあたって専用の受信機や基地局の設置が必要になる。

専用の受信機や基地局を設置しないで行う位置推定の研究にはアドホックネットワークを利用するシステムが考案されており、SpotON や Self-Organized Positioning Algorithm(SPA) があげられる。SpotON はアドホックネットワークを構成する端末に等しくタグを装着し、タグの接近を調べることで2 端末間の距離を推定する。端末の密度の変動に位置精度は大きく依存する⁴⁾。SPA は近隣 1 ホップ間の電波の伝搬時間差から各端末の距離を測定する Time of Arrival(TOA) 方式を利用して各端末間の距離を求める⁶⁾。この方式も SpotON 同様、位置推定を利用する全ての端末に予め電波検知機器を装備しておく必要がある。

端末 1 台 1 台に高精度で位置を特定できる専用の電波発信機を取り付け、機器から得られるデータのある端末が集計し計算するような方法では計算端末の設置と各 1 台 1 台の発信機器の設置コストがかかり、大規模な範囲で構成されるネットワークにおいて位置推定する場合には不向きである。基地局の設置をせず、その場で短期的なネットワークを構成するアドホックネットワークの特徴をうまく利用し、また、特別なハードウェアを装着しないで、コスト削減すると共に高精度な位置推定を行えることが望ましい。

本稿ではアドホックネットワークを利用しメッセージ通信から各端末の位置推定を行う端末の移動に強い方式 Othello を提案し、その推定精度をシミュレーションにより明らかにする。

2. 研究目的

災害時の救助活動に利用されるような緊急な場合であっても簡易的に、アドホックネットワークを利用し、その隣接関係から各ノードの位置範囲を推定できるような手法が必要である。本研究では電波発信機器といった非実用的な専用の装置を装備させる必要もな

く、基本的には各端末のマルチホップの情報通信のみによってその場所にいる各端末の位置推定を行えるようにすることを目的とする。

アドホックネットワーク自体は互いの情報を各端末を経由して通信し合うことしかできないため、各端末が位置を取得するには絶対位置を取得できる端末に情報を享受してもらうが必要になる。そこで近年では簡単に絶対位置情報を取得できるものとして一般的になった装置、地球測位システム (GPS) を利用し絶対情報を保持する端末に絶対位置の拠り所を求める。すなわち、絶対位置情報を GPS により取得できる端末とそれらの端末から情報を集め、自身の位置を推定する端末とが混在してアドホックネットワークを構成する場合において、アドホックネットワークの特徴を活かした効率的な位置推定を行なう方式を構築することを本研究の目的とする。

3. 関連研究

本研究と関連の深いアドホックネットワークにおける位置推定システム、ごましおについて述べる。ごましおは Othello と同様無線の通信領域を利用して存在する可能性のある位置範囲を推定する方式である⁷⁾。ごましおはランドマークとなる GPS を有する端末が自身の位置情報を近隣端末へ広告して、位置範囲を推定する端末は広告された情報から自身の位置範囲を推定計算する方式である。位置推定をする計算は GPS の位置情報と GPS から自身までのホップ数をパラメタとし、配置の仕方によっては広範囲な推定範囲になる点が課題である。

ごましおはランドマークとなる GPS を有する端末がビーコンにより自身の位置情報を伝える。ごましおは位置を推定する端末が推定するタイミングについて考慮しておらず、タイミングによっては存在可能性のある位置範囲が極めて広くなることも問題である。さらにアドホックネットワークを構成する各端末は移動性を持っており、移動性を利用した方式にすることが望ましい。本稿で提案する Othello は位置の推定精度と移動性の利用を考慮し、推定精度の向上を目指す。

4. 提案方式 Othello

Othello は GPS を利用することで絶対位置を取得できる端末と、GPS を有する端末から情報を得て自身の位置を推定する端末がランダムな配置で混在する場合を前提としている。本節ではまず、高精度な位置推定を可能にするために精度を考慮した推定について触れ、次に、高精度な推定を可能にするためのノード

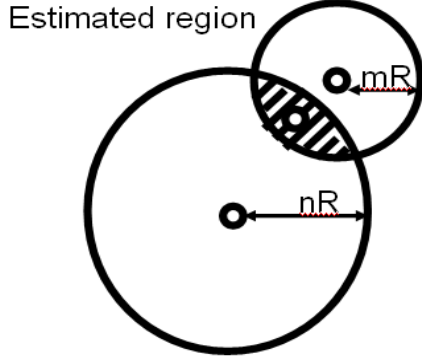


図 1 m,n ホップの通信圏内に存在する端末の位置推定

密度の条件を明らかにする。そしてこれらを踏まえて、移動性を利用して推定精度について考慮した位置推定的方式 Othello を説明する。最初にこれからの説明にあたって使用する用語を説明する。

4.1 用語説明

以後使われる用語を定義する。

- 黒ノード:自身の絶対位置を GPS により取得できる端末を黒ノードと表す。黒ノードは同時にマルチホップの中継を行う。
- 白ノード:GPS を装備しない端末であり、自身の位置を黒ノードの位置情報から推定する。白ノードは同時にマルチホップの中継を行う。白ノードは位置を推定計算する能力を持つ。
- 状態:本手法は白ノードに状態を持たせることにより高度な推定を実現する。状態は白ノードの有するメモリに書き込む。ここでの状態とは隣接 1 ホップノードにおける黒ノードの個数を表す。状態 α は隣接 1 ホップ圏内に黒ノードを 1 つも含まない状態とし、状態 β は隣接 1 ホップ圏内に黒ノードを 1 つ含む状態とし、状態 γ は隣接 1 ホップ圏内に黒ノードを 2 つ以上含む状態とする。
- メモリ登録:黒ノードの ID と絶対位置を記憶する操作である。白ノードは情報を記憶できる能力を持つ必要がある。

4.2 精度を考慮した推定

アドホックネットワークを利用した位置範囲の推定は、ごましおにも使用される図 1 のように複数の黒ノードの通信範囲内に含まれる範囲の重複する部分を位置範囲と推定する。この方法は近隣黒ノードからメッセージを受信し、黒ノードの絶対位置と最短到達ホップ数から判断すればよい。そのため推定にかかるコストをメッセージ通信だけに軽減できる利点がある。

ただし、遠方にある黒ノードからの情報しか取得できない場合、例えば仮に位置推定する白ノードが自身から 4 ホップの範囲内にある黒ノードの情報しか取得できない場合は、最大 $16\pi R^2$ の面積に位置推定されることになる。これは 1 ホップの黒ノードから情報を取得する場合の最大 πR^2 の面積と比較すると、16 倍の面積となり推定範囲が極めて大きくなる。このことから、より近い黒ノードの情報をより多く得られることが高精度の推定につながるの明白である。したがって、位置を推定する白ノードが高精度な位置推定を行うためには、近隣 1 ホップにおける黒ノードの存在数と白ノードと黒ノードの隣接関係が精度に関係する。そこで、Othello では最も効率の良い推定を行うために、高精度に位置を推定するための条件を定義し、以下の条件を満たす場合において位置範囲の推定計算を行う。

推定する白ノードにおける近隣 1 ホップに存在する黒ノード数に着目して以下のように条件を大別する。

- 1 ホップ圏内に黒ノードを 2 つ以上含む場合
(条件 1) 半径 R の 2 つ以上の円の重複する部分に存在する可能性のある位置範囲を推定できるため比較的高精度に推定される。さらにこれに加え、2 ホップ圏内に存在する黒ノードの情報も加え推定することが可能となる。
- 1 ホップ圏内に黒ノードを 1 つ含む場合
(条件 2) 1 つの黒ノードから推定される面積は πR^2 になるため、高精度に推定するためには、さらに 2 ホップ圏内に存在する黒ノードからの情報も取得できることを条件とする。2 ホップ圏内の黒ノードから位置情報が取得できれば推定することが可能となる。
- 1 ホップ圏内に黒ノードを含まない場合
(条件 3) この場合は 2 ホップ以上離れた場所に存在する黒ノードの情報が最も精度がよくなる推定となるため推定の精度が低い。さらに 3 ホップ以上離れた黒ノードからの情報は $9\pi R^2$ の面積になり情報を取得するコストに比べ推定のヒントとするのは効率的でない。ある程度の高精度な推定を実現するためには 2 ホップ圏内の黒ノードが 4 つ以上必要であるとし、この場合に限り推定を行うことが可能となる。

基本的に、条件 1, 2, 3 の順に推定の精度が高い。この条件を満たさない場合は黒ノードからの情報を取得できても推定を行わない。

4.3 黒ノード密度と精度の関係

黒ノードからの情報をもとに推定を行う本手法は、

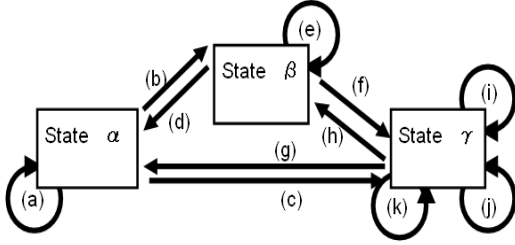


図 2 状態遷移図

黒ノードの数に比例して精度が向上する．ところが黒ノードの数を増やす事は，すなわち GPS 数を増やす事になりコスト面から好ましくない．黒ノードが全体の領域に対して少な過ぎる場合は，位置情報を獲得できずに推定精度が著しく低下する．そこで，本手法により推定を行う前段階として，ノード密度が精度に与える影響を調べるために，全領域に対し最低限必要な黒ノード数について検討する．

隣接関係によって高精度な推定ができる場合とできない場合があることは先に述べた．高精度な推定を行うためには，1 ホップ圏内に黒ノードが2つ以上存在することである．したがって，全領域のどの位置に推定ノードが存在したとしても，黒ノードが2つ以上と通信できると判断されるまで，黒ノードの密度を増加させることが高精度な推定のための条件である．

縦を X ，横を Y で表し，全領域面積を XY とする．黒ノードの通信半径を R ，黒ノードの存在個数を N 個とすると黒ノード全体の通信領域の総のべ面積は $N\pi R^2$ である．ランダムに均等に黒ノードが配置されているならば， $N\pi R^2$ が kXY より大きい時，全領域内において平均 k 個の黒ノードと通信できる領域になる．

4.4 Othello Algorithm

次に，移動性を利用した位置推定方式 Othello について説明する．アドホックネットワークは移動性を前提としたネットワークであり，頻繁に移動が発生するネットワークでは隣接関係が常に変動する．この性質を利用するために本手法では状態を各推定ノードに持たせる．図 2 に状態遷移を示す．尚，本手法はメッセージが伝搬する時間を考慮し，隣接 2 ホップまでの情報に限定し冗長な情報を削減する．

各推定ノードの初期状態は状態 α とする．アルゴリズムが開始されると各推定ノードは状態 α ， β ， γ のいずれかに属する．前回の位置推定から更新タイミング Δt 経過毎に次の処理を繰り返す．

推定ノードは，近隣 1 ホップ圏内のノードに対して Hello パケットをフラッディングする．圏内に存在する黒ノードは reply パケットを返し，自身の ID と位置を reply パケットに記載する．推定ノードは近隣 1 ホップにおける黒ノードの存在個数を知ることにより，前回の状態と現在の隣接 1 ホップ黒ノード数から以下の処理を行う．尚，Hello パケットを取得したノードは次に送るべき近隣ノードが存在する場合，自身を中継として Hello パケットを転送するものとする．2 ホップの黒ノードから Hello パケットに対する reply パケットが返る場合，1 ホップのノードを中継して reply パケットをもとの推定ノードに転送する．

- 前回は状態 α の場合

前回の状態が α の場合は現在の隣接関係をもとに異なる処理を行う．現在の 1 ホップ圏内の黒ノード数を調べる．

- － 黒ノードが 0 個の場合

(a) 状態は α のままである．位置推定は条件 3 に該当し，2 ホップ黒ノードの個数が 4 個以上ならば，位置を推定する．

- － 黒ノードが 1 個の場合

(b) 1 ホップ圏内の黒ノードの ID と位置をメモリに登録し，状態を β にする．位置推定は条件 2 に該当し，2 ホップ圏内に黒ノードが 1 個以上存在する時，位置を推定する．

- － 黒ノードが 2 個以上の場合

(c) 1 ホップ圏内の黒ノードのすべての ID と位置をメモリに登録し，状態を γ にする．位置推定は条件 1 に該当し，2 ホップ圏内の黒ノードの情報と共に位置を推定する．

- 状態が β の場合

直前の状態が β の場合は現在の隣接関係をもとに異なる処理を行う．現在の 1 ホップ圏内の黒ノード数を調べる．

- － 黒ノードが存在しなくなった場合

(d) 状態を α にし，メモリの登録を消去し，位置の推定計算は行わない．

- － 黒ノードが 1 つのままである場合

(e) 1 ホップ圏内に存在する黒ノードとの隣接関係はそのままである可能性が高い．状態は β のままにし，新たに受けとった ID，位置をメモリに書き換え，さらに 2 ホップ黒ノードが 1 個以上存在する時，条件 2 に該当するので 1 個の 1 ホップ圏内の黒ノードと 1 個以上の 2 ホップ圏内の黒ノードの情報から位置を推定する．

- 黒ノードを2つ以上含む場合
(f) 新たに黒ノードが通信半径内に加わったことがわかる．状態を γ にする．新たに受けとった全1ホップ圏内の黒ノードのID，位置をメモリに書き換え，条件1に該当するため，さらに2ホップ圏内の黒ノードの情報と合わせて位置を推定する．

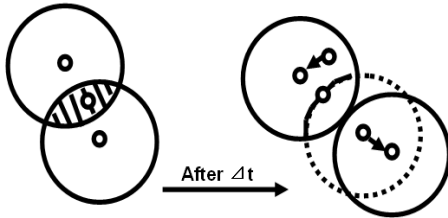


図3 (h) の場合

● 状態が γ の場合

直前の状態が γ の場合は現在の隣接関係をもとに異なる処理をする．現在の1ホップ圏内の黒ノード数を調べる．

- 黒ノードを含まない場合
(g) 複数の黒ノードが同時に通信範囲外に出た状態である．状態を α にし，メモリの登録を消去し，位置の推定計算を行わない．
- 黒ノードを1つ含む場合
(h) このタイミングは，過去に2つ以上の黒ノードが1ホップ圏内にあったはずであり，そのうちのある黒ノードが白ノードの通信圏内から離脱した直後の瞬間であると判定できる．実際にはメモリ中にある黒ノードIDのうち，現在の通信圏内には存在しない過去の黒ノードの情報を利用する．過去の黒ノードの円周付近に白ノードの存在範囲を推定できる．(図3参照) さらにあわせて，現在の黒ノードの情報から推定範囲をさらに狭めることができる．状態は β として，現在1ホップ圏内にある黒ノードのIDと絶対位置をメモリに書き換える．
- 現在の1ホップ圏内に含む黒ノード数がメモリに書き込まれたノード数と等しい場合
(i) 過去の状態と隣接関係が変わっていない可能性が高いので状態を γ にしたままで，位置の推定計算を行わない．ただし，黒ノードのID，位置はメモリに書き換える．

- 現在の1ホップ圏内に含む黒ノード数がメモリに書き込まれたノード数より増加した場合
(j) この場合は新たな黒ノードが1ホップ圏内に侵入したことがわかるので，1ホップ圏内の全黒ノードのID，位置をメモリに書き換え，状態は γ のままである．位置推定は条件1であり，さらに2ホップ圏内の黒ノードの情報を含めて位置の推定を行う．
- 現在の1ホップ圏内に含む黒ノード数がメモリに書き込まれた数より減少した場合
(k) この場合は，過去に2つ以上の黒ノードが1ホップ圏内にあったはずであり，そのうちのある黒ノードが白ノードの通信圏内から離脱した直後の瞬間であると判定できる．実際にはメモリ中にある黒ノードIDのうち，現在の通信圏内には存在しない過去の黒ノードの情報を利用する．過去の黒ノードの円周付近に白ノードの存在範囲を推定できる．(図4参照) さらにあわせて，現在の黒ノードの情報から推定範囲をさらに狭めることができる．状態は γ のままであり，現在1ホップ圏内にある黒ノードのIDと絶対位置をメモリに書き換える．

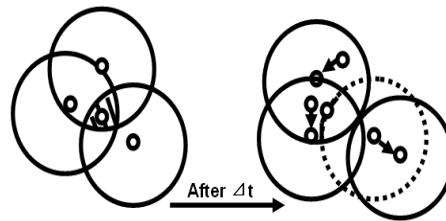


図4 (k) の場合

以上のようにして，Othlleoはオンデマンドの情報通信から現在の隣接関係を調べ，同時に過去の隣接関係との変化を調べることで最も高精度な推定が期待できる状態の時にのみ位置の推定計算を行う．

5. シミュレーション

本節では適正なノード密度でGPSを装備するノードとGPSを装備しないノードをランダムに配置する．その上でGPSを装備しないノードがGPSを装備するノードから位置の情報を取得し自身の位置を推定する方式をシミュレーションにより確認し，その精度を評価する．図5がそのサンプル画面である．画面は点

が白あるいは黒ノードであり，斜線領域が各推定ノードにより推定をされた領域である．各推定ノードが位置推定を行うスナップショットを表す．

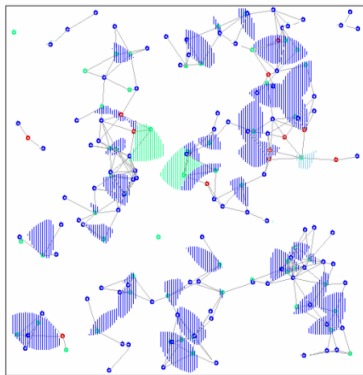


図 5 サンプル画面

5.1 ホップ数と推定精度の関係

ごましお手法では，GPS を有するノードから情報を獲得するホップ数の最大値を明確にしていない．メッセージの伝搬遅延を考えると，メッセージの伝搬ホップ数はできる限り少なくする事が望ましいため，2 ホップまでの黒ノードの情報を取得する場合と4 ホップまでの情報を取得する場合において，存在する可能性のある位置範囲を比較し，その結果を図 6，図 7 に示す．ただし，伝搬による情報は白ノード密度によってかわる為，白ノード密度を変えた状態でもシミュレーションを行った．測定パラメタは表 1 の通りである．尚，本研究は IEEE802.11 無線 LAN を想定し，通信半径 100m，全領域を縦 1km，横 1km としてシミュレーションを行った．

表 1 測定条件

全域	1km x 1km
GPS ノード数	50,70,90,110,130,150,170,190
通信半径	100m
測定回数	1000 回
推定手法	重複する部分を存在位置と推定する

図に示すとおり，同じ白黒ノード数ならば，2 ホップまでの情報よりも4 ホップまでの情報を取得した方が精度は高くなった．ところが，図から2 ホップまで情報を取得する場合でも十分な位置推定が行えることがわかる．4 ホップまで情報を取得することは生じる

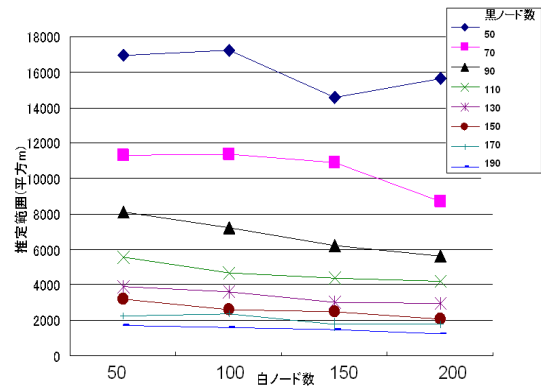


図 6 2 ホップまで情報を集める

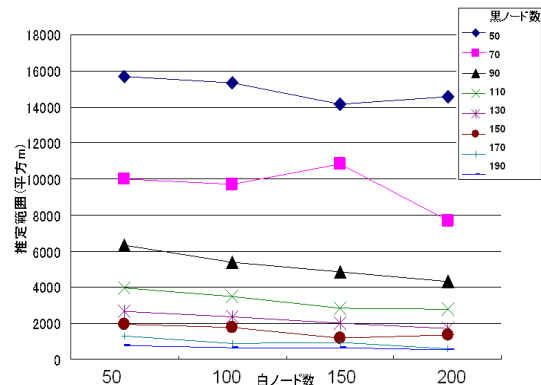


図 7 4 ホップまで情報を集める

遅延のために端末の移動時において誤差を含みやすい．したがって本手法では2 ホップまでの情報から推定を行う．

5.2 ノード密度と精度の関係

黒ノード数は全体の領域に対して密度が高い場合，GPS の設置コストが高くなる．したがって，適正なノード密度を調べる必要がある．まず，シミュレーションによりランダムにノードを配置し，黒ノードの密度の適正值を明らかにする．測定条件を表 2 で示す．

表 2 測定条件

全域	1km x 1km
GPS ノード数	50 から 200 まで 5 刻み
通信半径	100m
測定回数	100 回

全体的に平均 k 個 ($k=2,3,4,5..$) の黒ノードと通信するためにはそれぞれ概算すると， 1km^2 の領域には 64 個，96 個，128 個，160 個程度の黒ノード数が必要

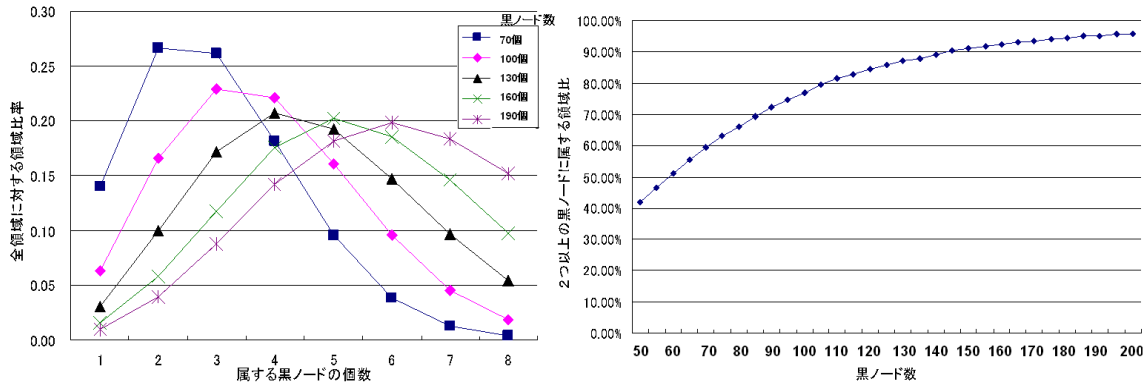


図 8 複数の黒ノードに属する領域の比率 (左) と 2 個以上の黒ノードに属している領域の比率 (右)

になる。ランダムに配置することを考えると配置に偏りは必ず生じるため、測定ノード数の幅を 50 から 200 と変化量を大きく設定し黒ノードの密度と通信が重複する黒ノードの個数との関係をシミュレーションにより算出した。結果は図 8 より、全体の 90 % が 2 個以上の黒ノードに属している領域になるのは 150 個以上黒ノードを配置した時になった。したがって、 1km^2 の領域に 150 個の GPS を有する端末を配置すれば、推定する端末の 1 ホップ圏内に 2 個以上の GPS を有する端末から情報を得られることになる。

5.3 Othello の位置推定

以上の結果を踏まえて、適正なノード数をランダムに配置させ 2 ホップまでの情報を各推定ノードが Δt 毎にオンデマンドに情報を取得する。全ノードに移動性を持たせた場合の Othello の位置推定結果を図 9 に示す。4 ホップまでの情報を取得するごましおの位置推定結果を図 10 に示す。測定パラメタは表 3 の通りである。

表 3 測定条件

全域	1km x 1km
GPS ノード数	50,70,90,110,130,150,170,190
通信半径	100m
移動	0 m/s から 5 m/s のランダム移動
測定時間	4000s
取得更新タイミング Δt	4s
推定手法	精度考慮、移動性利用 (Othello) 4 ホップまでの情報取得 (ごましお)

結果より、Othello はごましおより 5 分の 1 から 2 分の 1 程度まで推定範囲を狭めることが可能であった。特に GPS を有するノードの数が少ない時において精

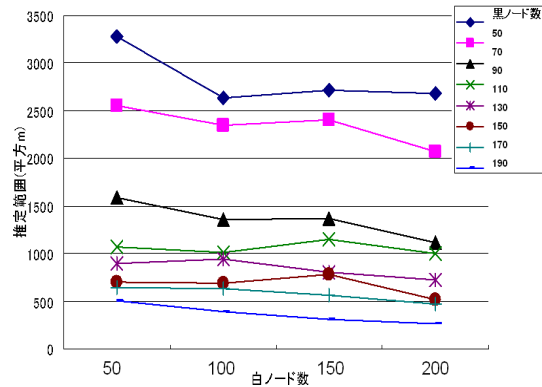


図 9 Othello 位置推定結果

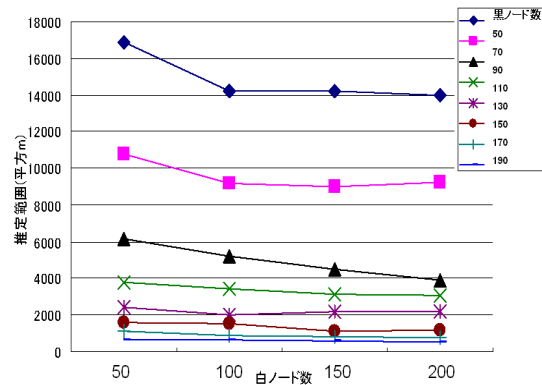


図 10 ごましお移動位置推定結果

度の差が明瞭である。このことから、ごましおの推定の方法は与えられた情報全てに推定計算を行うため精度面、効率面で問題があることがわかる。Othello では推定に適したタイミングに位置を推定をすることで冗長な情報を無視することができ、さらに過去の状態を利用することでノードの移動をうまく利用することができた。さらに Othello では推定計算の回数を減ら

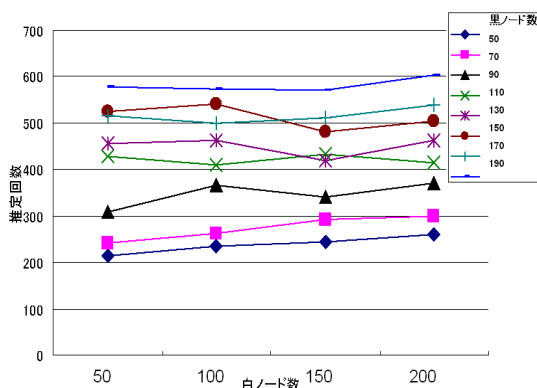


図 11 Othello の推定回数

すことが可能であることは図 11 から確認できる。ごましおの推定回数は情報取得時に毎回位置範囲の推定をするためほぼ 1000 回である。これに対し、Othello では GPS ノード数が少ないときには得られる情報が少ないために推定する回数は少ないが、GPS ノードが 190 になる時でも、推定回数を最大でも 600 回程度に削減することができる。したがって Othello は効率良く位置を推定できることが確認できた。

6. 考 察

アドホックネットワークは瞬間的に接続関係が変わるネットワークであり常に安定して GPS を装備したノードから情報を取得できる場合を除き、その推定結果はバラツキが生じている。あるノードは GPS を装備するノードからの情報がたくさん取得できるが、別のあるノードは全く孤立した状態であり、推定できないといった配置による格差が生じる。得られる情報が少ない場合でも本手法によると隣接関係を調査することにより端末の移動時に発生する過去と現在の隣接関係の変化を知ることが可能になり推定精度の向上がした。シミュレーションでは平均の推定範囲を最良時において 1 ホップの通信領域の 150 分の 1 に相当する $250m^2$ 程度にまで狭めることができた。

7. 今後の課題

本手法だけで数 cm 単位の高レベルの推定ができるものではない。そこで、Othello に TOA 方式や端末間距離検知の手法を採り入れることで、さらなる精度の向上を目標とする。そして、システムを無線 LAN, IEEE802.11 を用いて実装することが今後の課題となる。実装を行うことで通信遅延や障壁による電波妨害といった通信品質について詳細な調査が可能となる。

さらに通信品質が劣化する場合においても対応できるようにするようなフレームワークを考案することや本システムにおける情報取得更新時間値 Δt を最適に動的に変更設定する仕方にするべきである。また、通信半径が異なるネットワークや、端末をランダムの方法以外で配置する場合においても高精度な推定ができることが期待される。

8. ま と め

本稿では GPS により位置を取得できるノードとできないノードが混在する環境において適切な位置推定を行うための条件を算出した。また、近隣ノードとの隣接関係によっては高い精度で位置を推定することが可能であることを示した。その場合を位置推定を行う条件と定義し、精度を考慮した位置推定を行う位置推定手法を提案した。また提案した手法では端末の移動に関しても考慮した。隣接関係の状態を記憶させておくことにより、位置推定の更新タイミングにおいて前回と今回の隣接関係を比較することでより高い精度での位置推定が可能となった。提案手法はシミュレーションにより従来の位置推定法よりも有効であることを確認した。今後の課題はさらなる精度向上と実装上生じる問題を対処してゆくことである。

参 考 文 献

- [1] P.Bahl and V.N.Padmanabhan:RADAR:An In-Building RF-based User Location and Tracking System,Proceedings of the IEEE Infocom 2000,vol.2,pp. 775-784,2000.
- [2] 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
- [3] J.Hightower and G.Borriello:Location Systems for Ubiquitous Computing,IEEE Computer,pp.57-66,2001
- [4] J.Hightower ,C.Vakili, G.Borriello and R.Want:Design and Calibration of the SpotON Ad-Hoc Location Sensing System,UW CSE 2001-08 ,University of Washington,Seattle,Aug 2001.
- [5] <http://www.terminodes.org>
- [6] S.Capkun,M.Hamdi and J.P.Hubaux:GPS-free positioning in mobile Ad-Hoc networks,Journal of Cluster Computing,2001
- [7] 岩谷晶子, 西尾信彦, 村瀬正名, 徳田英幸:ごましお:アドホックセンサネットワークにおけるノード位置決定方式, 情報処理学会, モバイルコンピューティングとワイヤレス通信研究会 Vol.2001(108),pp.22-30,2001