

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

岩谷晶子[†] 西尾信彦[‡] 村瀬正名[‡] 徳田英幸^{†‡}

[†]慶應義塾大学環境情報学部 [‡]慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

本稿では、アドホックセンサネットワークにおけるノードの位置決定方式としてごましおを提案する。センサネットワーク上の各ノードは周辺の情報をセンサによって取得するため、その情報にはどこで取得したかという情報が不可欠である。しかし、すべてのノードが位置情報を取得するためのデバイスを備えるのは電力消費やノードの大きさの面から考えると適切な方法ではない。ごましおは、センサノードに必要最低限のデバイスを備えて、すべてのセンサノードの位置情報の取得を目的としている。ごましおのシミュレーション結果から、数mの粒度の位置情報の取得が可能であることがいえる。本研究によって、より容易で効率的なセンサノードの位置情報の取得を行うことが可能となる。

GOMASHIO : Model for Propagating Location Information in Sensor Networks

Akiko Iwaya¹, Nobuhiko Nishio², Masana Murase², Hideyuki Tokuda^{1,2}

¹Faculty of Environmental Information, Keio University.

²Graduate School of Media and Governance, Keio University

In this paper, we propose GOMASHIO, a model for propagating location information in sensor networks. It is essential for both applications and sensor nodes to know where the data from a sensor node was captured because nodes on sensor networks capture data any in a limited area around the sensors. It is not reasonable for all nodes to have a localization device like GPS which would result in increase of energy consumption and node size. GOMASHIO localize sensor nodes using measurements from radio signals which are usually equipped by sensor nodes.

1 はじめに

本節では、センサネットワークの説明とその問題点を挙げ、問題点を解決する手段として我々が取り組んでいる研究の概要と目的を述べる。

1.1 研究背景

近年、メモリやCPUなどの性能の向上に伴って、超小型コンピュータが登場している。これらは従来のデスクトップPCやサーバマシンとは全く異なった特徴と役割を持っており、新しいコンピューティング環境を実現する。例えば、小型端末を携帯し、移動環境において計算機資源を利用するウェアラブルコンピューティング環境や建物の壁や床などに超小型コンピュータを埋め込んで、ユーザが意識せずに計算機資源を利用することを実現するユビキタス

コンピューティング環境がある。

本稿ではその中でも、センサを持った小型コンピュータ(センサノード)によって情報を取得することを目的としたセンサネットワークに注目する。

センサノード単体が情報を取得する範囲は狭く、備わっているセンサの種類も限られる。しかし、多種多様なセンサノードを利用し、ネットワークを構築することによって、広い範囲での多様な情報の取得が可能となる。また、無線通信媒体によってアドホックにネットワークを構築するため、センサノードが移動する場合にも柔軟に対応可能である。

センサネットワークには集中制御をするサーバが存在しないため、単一のサーバで複数のセンサを制御するモデルに比べてスケラビリティがある。また、一つのノードが故障しても、各ノードが自律分

散的に動作するため、頑強なシステムを構築可能である。

センサネットワークの利用例として、汚染地域などの極限地帯における気候や環境の観察・調査、市街での渋滞情報の取得などさまざまな応用が可能である。また、センサ自体が小型であるため、人体や精密機器の内部など、通常は簡単に情報を取得できないような場所での利用が考えられる。

センサネットワークにおける先行研究は、アドホックネットワーク、センサの最適配置、位置情報の取得に分類できる。

アドホックネットワークではルータやケーブルなどのインフラストラクチャの無い環境における動的なネットワークの構築、ノードのネーミング、ルーティングなどに注目している。また、狭い通信帯域と低い計算処理能力への対応やノードがバッテリー駆動であるために電力消費を抑えた動作を考慮する必要がある。SPIN [2] は電力消費を抑えたルーティングプロトコルを提案し、バッテリーで駆動するセンサノードに適したネットワークを構築可能である。

センサネットワークはセンサノードで構築されたアドホックネットワーク上での情報の取得を中心に考えている。それゆえ、アドホックネットワークにおける問題点に加えて、センサ情報の取得に関する問題がある。例えば、Directed Diffusion [1] はアプリケーションが必要としている情報を効率よく集約するプロトコルの研究である。また、センサが情報を取得する範囲を最適化するためのセンサの配置の問題に取り組む研究 [3] [4] がある。

無線電波を用いた位置情報取得に関するは、これまで数多くの研究がなされている。屋外においてはGPSを用いる方法がよく知られている。近年は屋内における位置情報の取得に対する要求が高まっており、例を挙げると、RADAR[8] は固定された802.11の基地局からの信号強度を利用して、ユーザの位置情報を取得する。また、BAT[9] や Active Badge [10] では超音波や赤外線発信機をユーザが携帯するデバイスに取り付け、各所に設置された受信機によって受信された電波を利用して位置情報を取得する方法である。

センサネットワークにおけるノードの位置情報の取得に関する研究として、AHLoS[5] などがある。

本稿では、ノードの位置情報の取得に関する問題に取り組んでおり、次節以降で問題の詳細を述べる。

1.2 研究概要

センサネットワークは、分散するセンサノードがセンサを通じて取得したデータをユーザまで伝搬することを目的とする。センサノードは高い計算処理能力を持たず、センサによるデータの取得と、デー

タの転送のみを行う。各ノードが取得したデータは、センサノードに比べてデータの処理能力の高いシンクノードへ集約される。

集約されたデータには、センサが獲得するデータ自体の他に、“いつ取得したか(時刻)”と“どこで取得したか(位置)”という情報がセンサネットワークという応用においては必要となる。時刻は容易に取得可能だが、位置情報の取得はノード単体では不可能な場合も多い。センサがあらかじめ決められた位置に配置されている場合には位置情報の取得は必要ない。しかし、大量のノードを上空からばらまいてセンサネットワークを構築する場合、あるいは自動車などの移動体にセンサを取り付けてデータを取得する場合には、位置をあらかじめ決定することは困難である。そのため、センサノードに位置情報を取得するための機構が必要となる。位置情報を取得するための機構は、以下に示すセンサノードの要件を満たした上で実現されなければならない。センサノードの要件としては以下のようなものが想定される。

- (a) 電力消費を抑えること: バッテリー駆動であるため、電力消費を抑えた動作が必要である。
- (b) ノード単体のコストを抑えること: 大量のノードの利用を想定しているため、必要の無いデバイスの利用を避け、ノード単体のコストを抑える必要がある。
- (c) 無線通信機能と計算処理能力を有すること: 各ノードが取得したデータを集約するために必要である。
- (d) ノードを小さくすること: センサノードは小型であるがゆえに大量のノードを広範囲に設置し、広域に渡ってデータの取得が可能となる。そのためノードはできる限り小型であるべきである。

位置情報を取得するための最も単純な方法は、すべてのセンサノードがGPSのような位置情報取得デバイスを装備することである。各ノードの位置情報を正確に把握するためには、この方法が最も適切である。しかし、センサノードにGPSデバイスを装着する場合、ノードあたりのコスト、電力消費量が増加し、アンテナとGPS本体の分ノードの大きさが増加する。GPSを全てのセンサノードに装着する方法は、先に述べたセンサノードの要件のうち、(a), (b), (d) を満たしていないため、センサネットワークへの利用に適さない。

これに対し、我々が提案する「ごましお」では、GPSなどで取得した正確な位置情報を持つ一部のノード(ごまノード)がセンサネットワーク全体に位置情報を伝搬する。GPSを持たないノード(しおノード)はごまノードからのホップ数を利用して自

分の位置情報を計算する。

ごましおを利用することにより、GPS を装備するノード数を減少させることが可能となり、先に述べたノードの要件を満たしたセンサネットワークの構築が可能となる。

本研究が想定するアプリケーションを以下に挙げる。

- 上空からばらまいて、極限地域における観察・調査の目的で利用する。
- 自動車にセンサノードを取り付けて、市街における、渋滞情報等の調査の目的で利用する。

上記のアプリケーション例の共通点は、数 cm 単位での細かい粒度での位置情報を必要としないことである。

1.3 本研究の目的

本研究の目的は、センサネットワークにおいて、先に述べたノードの要件を満たし、センサネットワークの特性を利用して位置情報の取得を実現することである。

この目的を達成するための要件を以下に挙げる。

- ノードの位置情報を算出する場合に、ノードが存在する可能性のある面積を小さくすること
 - ノードの位置情報は範囲として取得される。ノードが算出する存在する可能性のある面積の値を小さくすることによって、ノードの位置情報として取得される範囲を狭め、位置情報の精度を高められる。
- アプリケーションの目的に沿ったデータ取得を可能にするための指標を与えること
 - アプリケーションの目的に沿ったデータの取得のためには、アプリケーションが要求する位置情報の粒度とデータを取得するフィールドの面積に応じたノードの個数が必要となる。そこで、常に適切なノード数で位置情報を取得するためにノード数の指標を作成することが必要である。

本稿の構成は次の通りである。第 2 節ではアドホックネットワークにおける位置情報取得システムの関連研究を紹介する。第 3 節ではごましおの前提条件とアルゴリズムの詳細を述べる。第 4 節ではごましおのシミュレーション結果を述べ、ごましおの有効性を検証し、最適なアプリケーションや利用方法について考察する。第 5 節ではごましおの今後の課題を述べ、第 6 節で本稿をまとめる。

2 関連研究

本節では、本研究と関連の深いアドホックネットワークにおけるノードの位置情報取得システム、

AHLoS(Ad-Hoc Localization System) [5] について述べる。AHLoS はごましおと同様、一部のノードが GPS などによって取得した位置情報を利用して、全てのノードの位置情報を特定する。複数のノードから受信する信号の時間差を利用して、自分自身の位置情報を多辺測量を用いて位置情報を特定する。

ごましおと異なる点として、多辺測量を行うために、超音波デバイスを用いていることである。AHLoS では全てのノードが超音波デバイスを装備しており、超音波と無線電波を同時に発信し、受信側での二つの電波の時間差から距離を算出する。この方法を ToA(Time of Arrival)[7] という。しかし、この方法では距離の測定のために全てのノードに超音波デバイスを装備する必要がある。これは先に述べたセンサノードの要件 (b) を満たしていない。

これに対して受信した無線の信号強度を利用して距離を測定する SS(Signal Strength) 方式がある。無線の信号強度は環境の影響を受けやすいため距離の測定に不向きであると言われているが、RADAR [8] や“位置情報システムにおける無線 LAN 信号強度の利用に関する考察”[11] など、SS を用いた位置情報システムの研究によって、距離の測定は可能であることが実証されている。ごましおでは、SS 方式を用いた距離の測定を考慮する。

3 ごましお

本節では、本稿で利用する用語説明とごましおを利用する環境についての前提を述べ、ごましおによる位置決定方式について述べる。また、必要なごましおノード数を少なく抑えるための機能として、しおごましお変異について述べる。本節の最後にはごましおを用いる際に必要なノードの個数について言及する。

3.1 用語説明

本稿で利用する用語についての定義を行う (図 1)。

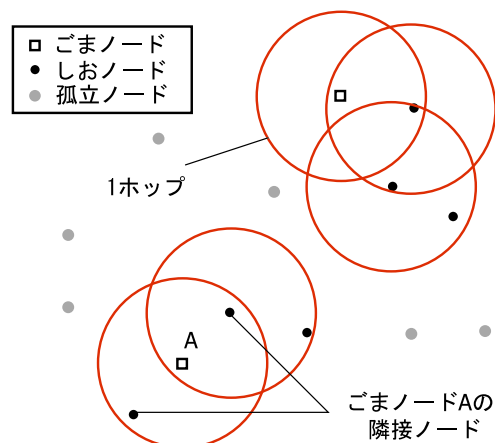


図 1: 用語説明

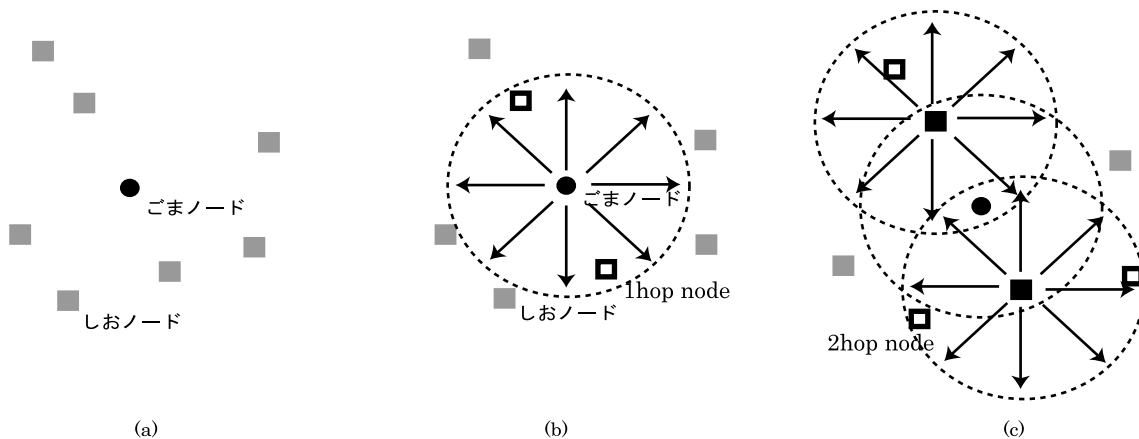


図 2: 位置情報の宣伝

- **ごまノード**: ごましおにはノードの役割に応じて二種類のノードが存在する。ごまノードは、GPSなどの正確な位置情報を取得するためのデバイスを持つ、もしくは特定位置に固定されたランドマークとなる特殊なノードである。
- **しおノード**: しおノードは、環境情報を取得するセンサノードである。センサの種類は温度センサ、風力センサ、光量センサ、カメラなどが考えられる。
- **孤立ノード**: 我々が想定するセンサネットワークでは、センサの配置は不規則である。そのため、ごまノードへの接続性を持たず、位置情報を取得できないしおノードが存在し得る。このようなしおノードを孤立ノードとよぶ。
- **隣接ノード**: 隣接ノードとは無線電波が届く範囲内に存在するノードを指す。また、本稿では無線電波が届く範囲内を1ホップと呼ぶ。
- **ノード密度**: ノード密度とはセンサネットワーク上で用いる全ノード数を情報を取得する対象となるフィールドの面積で割った値である。

3.2 前提

ごましおを説明する前に、ごましおを利用する環境に関する前提を述べる。

- **Self-configurable systems**: ごましおは、ネットワークの構築、ノードのアドレッシング、ルーティングなどを自律分散的に行うアドホックネットワークシステム (self-configurable systems[6]) 上での動作を前提とする。
- **Sink nodes**: センサネットワーク上には複数のシンクノード (sink nodes[2]) が存在する。シンクノードとは、強力な計算処理能力とストレージ、有線ネットワーク (WAN, LAN など) へのコネクティビティを持つノードである。このノード

は非力なセンサノードの代わりにアプリケーションを実行し、データの処理を行う。センサノードが取得したデータは、シンクノードへ集約される。

- **1ホップの半径**: ごましおでは、同一センサネットワーク上に存在するノード全てが同じ種類の無線通信媒体を利用して通信することを前提としている。そして、本研究では無線障害などは考慮せず、すべてのノードの1ホップが等しいと仮定する。
- **ノードの移動性**: センサノードは移動する可能性がある。例えば、ノードが自動車に積まれている場合、あるいは海や川などの水面にセンサネットワークを構築する場合などがある。

3.3 位置決定方式

ごましおでは各ノードの計算量をおさえた位置決定方式を用いる。以下に位置決定の流れを示す。

位置情報の宣伝

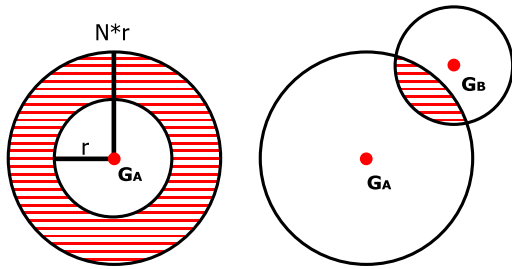
ごまノードは自身が持つ正確な位置情報をビーコンとして定期的に発信する。

ごまノードのビーコンを受信したしおノードはごまノードから1ホップであると認識する。次に、このしおノードはごまノードから1ホップにいるという情報をビーコン信号にのせて隣接ノードに宣伝する (図 2)。この作業を全てのノードが反復し、最終的にはごまノードからのホップ数を位置情報として保持する。

存在する可能性のある面積の計算

しおノードは、1つ以上のごまノードから何ホップであるかという情報から、存在する可能性のある面積を計算する。複数のごまノードからのホップ数が取得できる場合、しおノードの存在する可能性のある面積をより狭めることが可能である。

■ しおノードが存在する可能性のある範囲



(a) ごまノードaからNホップの場合 (b) 複数のごまノードが見えている場合
図 3: 存在する可能性のある面積

以下に面積の計算方法について述べる. あるしおノード A がごまノード a から N ホップである場合を想定する (図 2).

- ごまノード a から N ホップであるということは, しおノード A はごまノード a を中心とし, $N*r$ (r は 1 ホップの半径) を半径とした円の中にある
- $N > 1$ の場合, 1 ホップの範囲に存在することは無いので, r を半径とした円の面積を除く
- 複数のごまノードからのホップ情報を持っている場合, それぞれの存在する可能性のある範囲が重複している部分を求め, しおノード A の存在する可能のある面積とする. 面積はアプリケーションが要求する粒度を最小単位として求める. 例えば, 1m 四方を最小単位とする場合, 一つの円の内部における 1m 四方に関して, それぞれ, 他の円の内部であるかどうかを判定する.

3.4 しおごま変異

ごましおでは, 全ノードに対するごまノードの割合が大きいく程, より正確なしおノードの位置情報が取得可能となり, また孤立ノードの個数を減少させることが可能であると考えられる. しかし, ごまノードの割合を増加するという事は 1.2 項で述べたノードの要件のうち (a), (b), (d) を満たさないノード数を増加させることになり望ましくない. そこで, しおノードの存在する可能性のある面積が小さい場合, そのノードが位置情報を発信するごまノードとして機能することによってより多くのノードの位置情報を取得することが可能であると考えられる.

しおノードは, 隣接ノードからの位置情報を取得するたびに存在する可能性のある面積を計算する. 閾値となる値を決めて, 存在する可能性のある面積がそれより小さくなった場合に, しおノードからごまノードに変異する. 隣接ノードやしおごま変異したノード自身が移動することによって, 存在する可能性のある面積が大きくなった場合は再びしおノードに戻る.

3.5 適切な全ノード数, 適切にごまノードの割合

1.2 項の第 2 の目的で述べたように, ごましおを利用するには, アプリケーションが必要な位置情報の粒度に適切な全ノード数とごまノードの割合を求める必要がある. 以下に述べるパラメータを用いて全ノード数とごまノードの割合を求める指標を作成する.

- 1 ホップの半径
- 測定するフィールドの大きさ
- 必要な位置情報の粒度

1 ホップの半径は利用する無線機器によって異なる. 例えば, 802.11b の場合は約 100m, Bluetooth の場合には 10m である. また, アプリケーションが必要とする粒度は数百 m の単位と数 m の単位とでは必要なごまノード数や全ノード数が大きく異なる.

次節では, フィールドの大きさと全ノード数, ごまノードの割合を変更して行ったシミュレーションの結果を示す.

4 シミュレーション

本節では, ごましおについて行ったシミュレーションの目的と結果を述べる.

シミュレーションの目的は以下の通りである.

- 孤立ノードを最小限に抑えるために, フィールドに対する最適な全ノード数とごまノード数の割合を調べる.
- 取得可能な位置情報の精度を調べるために, しおノードが存在する可能性のある面積の最小値と平均値をノード密度 (全ノード数/フィールド面積) とごまノードの割合をパラメータにして調べる.

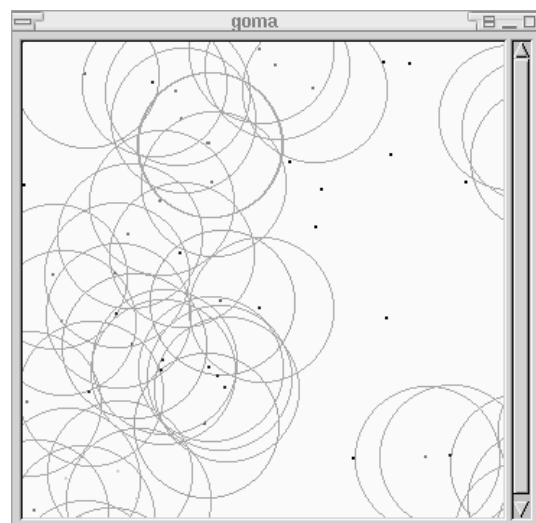


図 4: シミュレータ

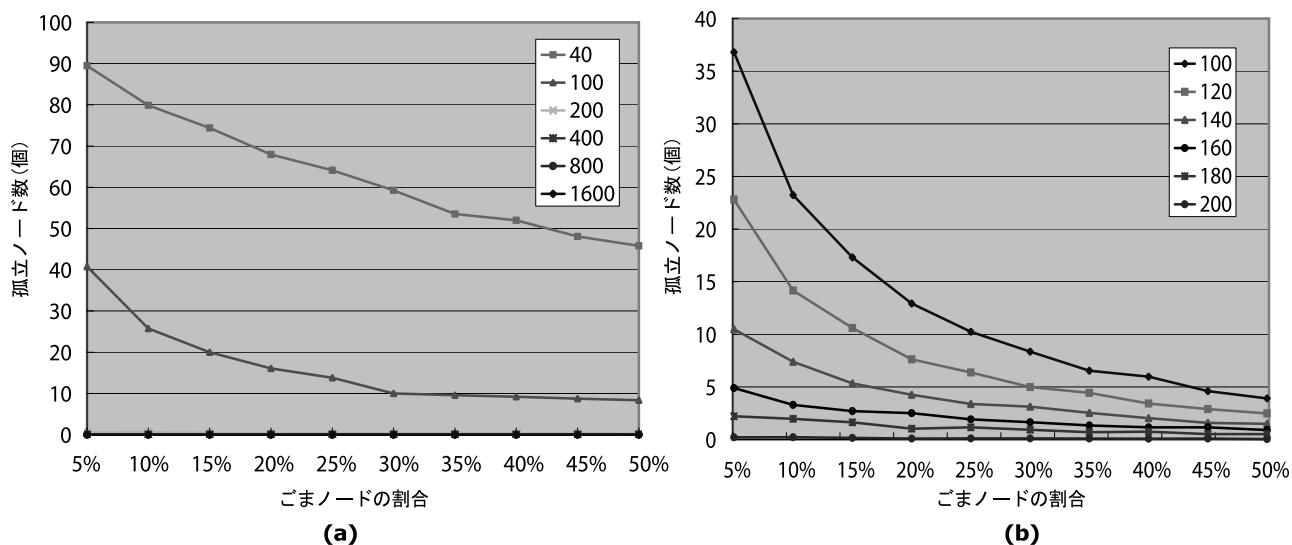


図 5: ノードが静止している場合の孤立ノード数

- フィールドのサイズと 1 ホップの半径, そして取得したい位置情報の粒度をもとに最適なノード数とごまノードの割合を導き出す指標を作成する. シミュレータは我々が実装したセンサネットワークシミュレータを利用している (図 4).

4.1 ノードが静止している場合

ノードが静止している場合の測定条件を表 1 に示す.

表 1: 測定条件

フィールドサイズ	500x500, 1000x1000 のトラス空間
全ノード数	40, 100, 200, 400, 800, 1600
1 ホップの半径	100
ごまノードの割合	全ノード数の 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 50%
測定回数	各条件において 10000 回

しおノードのしおごま変異機能は本シミュレーションでは用いていない. 各グラフの値は, 10000 回行ったシミュレーションの孤立ノード数としおノードが存在する可能性のある面積の平均値である. 以下に, シミュレーション結果の分析を示す.

4.1.1 孤立ノードの割合

図 5(a) の分析を以下に述べる.

- 1000 x 1000 のフィールドに対して, 全ノード数が 200 個以上の場合, 孤立ノードはほぼ生じない

- 全ノード数が 100 から 200 の間での変化が大きく, 孤立ノード数がほぼ 0 になるため, 1000 x 1000 のフィールドにおける全ノード数は 100 から 200 の間が適切であると考えられる.

図 5(b) は全ノード数を 100 個から 200 個の間を 20 きざみに設定し測定した結果である. 孤立ノード数がほぼ 0 の場合において, ごまノード数をもっとも少ないのは, 全ノード数が 200 でごまノードの割合が 5% (10 個) の場合である.

4.1.2 存在する可能性のある面積

図 6 はしおノードの存在する可能性のある面積の平均値である. この結果の分析を以下に述べる.

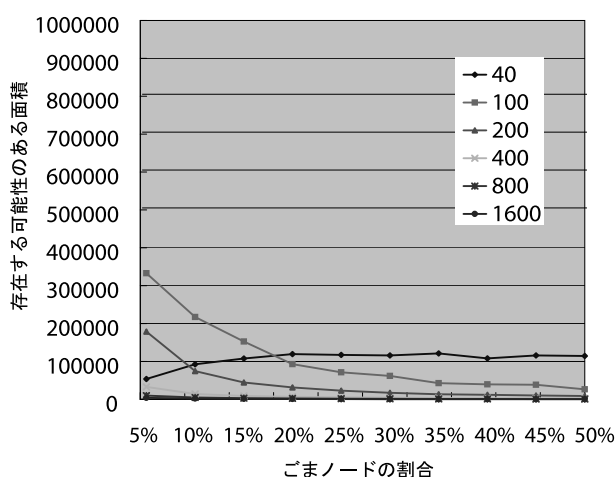


図 6: 存在する可能性のある面積

- ノード数が 400 において, 存在可能面積は 5000 以下, つまりフィールド面積の 200 分の 1 以下

になる。

- 1600 ノードにおいてごまノードが 50 % の場合、面積の平均は 200 まで減少する。1000m x 1000m のフィールドと考えた場合、14m 四方まで存在可能エリアを減少させたことになる。

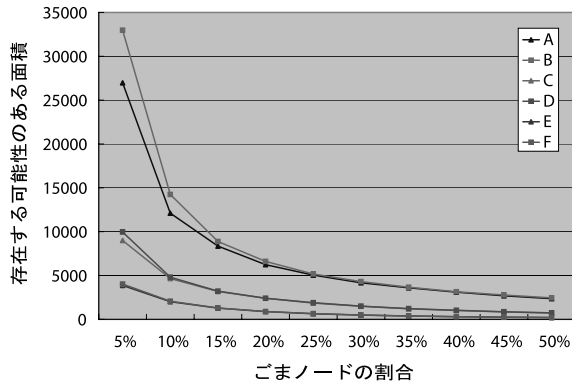


図 7: 異なるフィールドの大きさでの存在する可能性のある面積の比較

図 7 は 1 ホップの半径を同一にしたまま、異なる大きさのフィールドでの、存在する可能性のある面積の測定結果の平均を比較したものである。図中、A, C, E は 500x500 における測定結果で、ノード数は 100, 200, 400 である。B, D, F は 1000x1000 における測定結果で、ノード数は 400, 800, 1600 である。今回のシミュレーションでは 1 ホップの半径は 100 で固定し、各フィールドの大きさでの測定を行った。

ノード密度 (全ノード数 / フィールド面積) が等しいため、A と B, C と D, E と F は近似したグラフを描いている。特に全ノード数が多い E と F のグラフは非常に近似している。

4.2 ノードが移動性を持っている場合

本項ではノードが移動性を持っている場合のシミュレーションの結果を示す。

表 2 はシミュレーションの測定条件である。このような条件下において、各ごまノードの割合に関して 10 回ずつ実行した。

図 8 は上記の条件で行ったシミュレーション結果である。存在する可能性のある面積の平均値のグラフと先に示した静止している場合のノード数が 200 におけるグラフを重ねたものである。図からもわかるように、ノードが移動性を持つ場合と、静止している場合のしおノードが存在する可能性のある面積の平均値はごまノードの割合にかかわらずほぼ同じである。

図 9 はごまノードの割合別の存在する可能性のある面積の平均値を表すグラフである。ごまノードの割合が全ノードの 10 % の場合、10 回の平均値の最

表 2: 測定条件

フィールド	1000x1000
全ノード数	200
1 ホップの半径	100
ごまノードの割合	全ノード数の 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 %, 50 %
移動パターン	ランダムに停止または上下左右斜めの 8 方向のいずれかへの移動
ノードの移動速度	5/s (一定)
測定時間	900 秒間

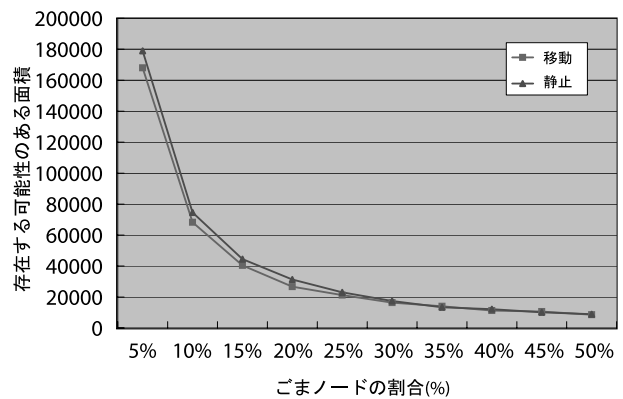


図 8: 移動性を持つ場合と静止している場合の比較

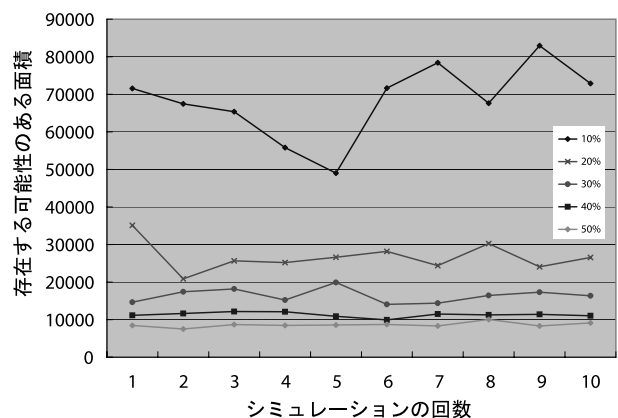


図 9: 移動性を持つ場合の測定結果

小値と最大値の差が 33916 あるのに対し、50% の場合、2534 である。このことから、ノードが移動性を持つ場合、ごまノードの割合が小さいと存在する可能性のある面積の変動が激しいことがわかる。

4.3 考察

本節ではシミュレーション結果に関する考察を述べる。

4.1.1 項の結果より孤立ノードを最小限に抑えるためには、フィールドの面積：全ノード数：1 ホップの半径の比を 5000 : 2 : 1 に設定するとごまノード割合とノード密度を最小に抑えることが可能である。しかし、しおノードが存在する可能性のある面積を最小とするためには、ごまノードの割合、ノード密度ともにより大きくする必要がある。

4.1.2 項の分析でも述べたとおり、1000x1000 における、全ノード数とごまノードの割合を最大に設定した測定結果においても、存在する可能性のある面積の平均は 200 でフィールド面積との比は 5000:1 である。ごまノードの存在する面積を 1 と考えた場合、しおノードの位置情報は 200 倍精度が劣るということになる。

ごましおは、しおノードの位置情報を数 cm 単位の細かい粒度で取得する目的への利用には適していない。広範囲にわたる気候や環境の観察など、取得するデータへ附属する位置情報の粒度が大きいものに対して利用する場合に適切である。

5 今後の課題

本節では、今後の研究課題について述べる。

- しおノードが存在する可能性のある面積をより狭める必要がある。そのために第 2 節で述べた SS 方式を利用して距離を測定する。
- 本シミュレーションでは 1 ホップの半径を固定にして行った。指標作成のためには 1 ホップの半径を変更したシミュレーションの必要がある。
- ノードが移動性を持つ場合、しおノードにしおごま変異機能を備える。また、しおごま変異機能を用いる場合、しおがごまに変異する閾値として適切な値をシミュレーションによって求める。

6 まとめ

本稿では無線によるアドホックセンサネットワークにおけるノードの位置情報の取得手段としてごましおを提案した。

ごましおでは、一部のごまノードが取得した位置情報を利用してセンサネットワークを構成するしおノードの位置情報を算出する。ごましおは無線電波の特性を利用して位置情報の算出を行うため、ごまノードが持つ位置情報取得デバイス以外にはデバ

スを必要としないという利点がある。

ごましおのシミュレーションでは、さまざまな条件におけるノードの存在する可能性のある面積と孤立ノードの割合を測定した。この結果から、センサネットワーク上でごましおを用いる場合、数 m 単位の粒度での位置情報を要求するアプリケーションに対して適切である。

今後の課題として、センサネットワークによって情報を取得したい面積に対して、最適なごまノードとしおノードの個数を与える指標を作成する。また、存在する可能性のある面積を狭めるために SS 方式を利用した距離の測定を利用する。

参考文献

- [1] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks", ACM/IEEE Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking (Mobicom 2000)pp. 56-67(2000).
- [2] W. R. Heinzelman, J. Kulik and H. Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks", ACM/IEEE Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking (Mobicom '99)pp. 174-185(1999).
- [3] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak, M. Srivastava, "Coverage Problems in Wireless Ad-Hoc Sensor Networks", IEEE Infocom 2001, Vol 3, pp. 1380-1387(2001).
- [4] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, Gang Qu, M. Potkonjak, "Exposure In Wireless Ad-Hoc Sensor Networks", ACM/IEEE Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking (Mobicom 2001), pp. 139-149(2001).
- [5] A. Savvides, C. Han and A. B. Strivastava, "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors", ACM/IEEE Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking (Mobicom 2001), pp. 166-179(2001).
- [6] L. Subramanian and R. H. Katz, "An Architecture for Building Self-Configurable Systems", ACM/IEEE Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, (2000).
- [7] J. Gibson, The Mobile Communications Handbook IEEE Press 1999
- [8] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System", Proceedings of the IEEE Infocom 2000, vol.2, pp. 775-784, Tel-Aviv (2000).
- [9] A. Harter and A. Hopper, "A New Location Technique for the Active Office", IEEE Personal Communications, vol.4, (No.5), pp. 42-47(1997).
- [10] R. Want and A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons, "The Active Badge Location System", ACM Transactions on Information Systems, vol.10, (No.1), pp. 91-102(1992).
- [11] 岩谷 晶子, 古坂 大地, 西尾 信彦, 徳田 英幸, "位置情報システムにおける無線 LAN 信号強度の利用に関する考察", 情報処理学会全国大会, vol.3, pp. 501-502(2001).