

# 密なモバイルセンサネットワークにおける 地理的粒度を考慮したデータ収集のための エージェント制御方式

後藤 啓介<sup>1,a)</sup> 佐々木 勇和<sup>1</sup> 原 隆浩<sup>1</sup> 西尾 章治郎<sup>1</sup>

受付日 2011年5月23日, 採録日 2011年11月7日

**概要:** 近年, 都市センシングと呼ばれる, 一般ユーザの携帯する移動型センサ端末によって構成される, モバイルセンサネットワークへの関心が高まっている. 都市センシングでは, 自由に移動するセンサ端末が密に存在しており, 領域内の任意の位置に対して, その位置をセンシング可能な端末が複数存在する. そこで, センサデータ収集のためのトラフィックを削減するために, カバレッジやサービスの質を保証する必要最小限の端末のみからセンサデータを収集することが望まれる. 本論文では, 密なモバイルセンサネットワークにおける地理的粒度を考慮したデータ収集のためのエージェント制御方式を提案する. 提案手法では, 自律的にセンシング, 観測値の転送, および端末間の移動を行うエージェントを用いて, アプリケーションが要求する地理的粒度のセンシングを保証する. エージェントが動作する端末のみから, センサデータを集めることにより, 効率的にセンサデータを収集することが可能となる.

**キーワード:** モバイルセンサネットワーク, データ収集カバレッジ, エージェント, ジオルーティング

## A Mobile Agents Control Method for Sensor Data Gathering Based on Geographical Granularity in Dense Mobile Sensor Networks

KEISUKE GOTO<sup>1,a)</sup> YUYA SASAKI<sup>1</sup> TAKAHIRO HARA<sup>1</sup> SHOJIRO NISHIO<sup>1</sup>

Received: May 23, 2011, Accepted: November 7, 2011

**Abstract:** Recently, there has been increasing interest in mobile sensor networks that are constructed by mobile sensor nodes held by ordinary people, which has led to a new concept called *urban sensing*. In such mobile sensor networks, mobile sensor nodes densely exist, and thus, there are basically many sensor nodes for each geographical point that can sense the point in the entire sensing area. To reduce the communication cost for sensing operations, it is desirable to gather the sensor data from the minimum number of mobile sensor nodes which are necessary to guarantee the sensing coverage or the quality of services. In this paper, to achieve this, we propose a mobile agents control method for sensor data gathering based on geographical granularity in dense mobile sensor networks. The proposed method guarantees the sensing coverage of the entire area using mobile agents that autonomously perform sensing operations, transmit sensor readings, and move between sensor nodes. By gathering only sensor readings generated by sensor nodes where agents are running, our proposed method can achieve efficient gathering of sensor readings.

**Keywords:** mobile sensor networks, data gathering coverage, agent, geo-routing

### 1. はじめに

近年の半導体技術および無線通信技術の発展により, 小型で安価なセンサデバイスの開発が進み, 無線センサネットワークへの注目が高まっている [2], [22]. 多数のセンサ

<sup>1</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻  
Department of Multimedia Engineering, Graduate School  
of Information Science and Technology, Osaka University,  
Suita, Osaka 565-0871, Japan

<sup>a)</sup> goto.keisuke@ist.osaka-u.ac.jp

端末が環境情報をセンシングし、観測値、すなわちセンサデータをシンクへ送信する環境モニタリングは、無線センサネットワークの代表的なアプリケーションである。

また、無線通信技術の発展と計算機の小型化や高性能化にともない、ルータ機能を持つ無線通信端末のみで構成されるアドホックネットワークが、近年活発に研究されている [1]。アドホックネットワークでは、各端末がルータとして機能し端末間で通信する。最近では、無線センサネットワークとアドホックネットワークを統合し、センサデバイスを搭載した移動型端末により構成されるモバイルセンサネットワークが注目されている。

都市センシングはモバイルセンサネットワークの代表的なアプリケーションである。一般的に、都市センシングでは、インターネットなどのインフラを用いてデータ収集と通信を行うことを想定している。しかし、インターネットでは、多数のアプリケーションがインターネットの有限な通信帯域を共用しているため、モバイルセンサネットワークが大量のトラフィックを生成して、インターネットに投入することは好ましくない。さらに、都市センシングに対応できるようにインフラを設定するコストは非常に大きいと考えられる。これらの問題を解決するため、一般ユーザの携帯する PDA やスマートフォンといった移動型センサ端末により、インフラを必要としないモバイルセンサネットワークを構築することが都市センシングにおいて注目されている [4], [16], [17]。モバイルセンサネットワークにおけるセンサ端末は、音や温度といった環境情報をセンシングし、シンクはセンサ端末間、および自身の無線マルチホップ通信を用いて、観測値を収集する。

一般ユーザの携帯するセンサ端末で構成されるモバイルセンサネットワークでは、センサ端末の数が非常に大きくなり、領域内の任意の位置に対して、その位置をセンシング可能な端末が複数存在する（これを密なモバイルセンサネットワークと呼ぶ）。一方、アプリケーションの観点からは、多数の同じ観測値は役に立たず、限られた通信帯域を浪費してしまう。むしろ、多くの場合、アプリケーションは、 $100\text{ [m]} \times 100\text{ [m]}$  の領域ごとの観測値などといった、地理的にある一定の粒度のデータを要求するケースが多いものと考えられる。このような環境では、シンクがすべてのセンサ端末から観測値を収集した場合、通信帯域と端末のバッテリーが浪費される。この問題を解決するために、アプリケーションが要求する地理的粒度を保証する必要最小限の端末のみからセンサデータを収集することで、センサデータの収集におけるトラフィックを削減することが望まれる。本論文では、アプリケーションがグリッド状の観測位置を指定することを想定しており、これらすべての観測位置のセンシングを保証することを「地理的粒度を保証する」と表現する。

ここで、センサ端末の自由な移動により、特定の位置を

センシング可能な端末は時間的に変化するため、要求された地理的粒度を継続的に保証することは容易ではない。これを解決する最も単純な方法としては、観測周期ごとに、シンクがセンシングおよび観測値の返信を行うセンサ端末を決定する方法が考えられる。シンクはこれらの端末と要求メッセージおよび応答メッセージを交換することでセンサデータを収集する。しかし、シンクとセンサ端末が地理的、もしくはネットワーク的に離れていた場合、このメッセージ交換にトラフィックと大きな遅延が発生する。

本論文では、密なモバイルセンサネットワークにおいて、センサ端末の管理をエージェントに行わせることにより、効率的にセンサデータを収集する手法を提案する。エージェントは、センサ端末上で自律的に動作し、センサ端末間を移動するアプリケーションプログラムである。提案手法では、エージェントはシンクによって生成され、要求された地理的粒度によって決定される、観測位置付近の端末に配置される。各エージェントは、端末の移動を受けて観測位置に最も近い端末へと移動し、観測位置付近にとどまり続ける。観測周期ごとに、エージェントが動作しているセンサ端末は、センシングを行い、観測値をシンクへ送信する。エージェントが、センシングおよび観測値の転送を制御することで、データ収集におけるトラフィックを削減できる。

以下では、2章で関連研究を紹介する。3章で本論文の想定環境について述べ、4章で提案手法について述べる。5章でシミュレーション実験の結果を示す。最後に6章で本論文のまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 関連研究

本章では、密な無線センサネットワークにおけるデータ収集、アドホックネットワークにおけるエージェントを用いた位置情報サービス、およびモバイル P2P システムに関する既存研究について述べる。

### 2.1 密な無線センサネットワークにおけるデータ収集

まず、密な無線センサネットワークにおけるデータ収集に関する既存研究を紹介する。文献 [10] では、無線センサネットワークにおける階層的なデータ収集方式を提案している。この方式では、センサ端末間に上下関係を設定し、下位のセンサ端末が上位のセンサ端末へセンサデータを送信し、最上位のセンサ端末はシンクへ集約されたセンサデータを送信する。上位の端末が下位の端末から受信したセンサデータを集約および圧縮することで、トラフィックを削減できる。文献 [8] では、無線センサネットワークにおけるエージェントを用いたデータ収集方式を提案している。エージェントはシンクによって生成され、センサ端末を訪問してセンサデータを収集する。この方法では、エージェントがセンサ端末を訪問するごとにセンサデータを圧縮す

ることで、データ収集におけるトラフィックを削減している。文献 [19] では、観測領域を格子状のセルに分割するトポロジ管理プロトコルを提案している。セルの大きさは、センサ端末の通信範囲に基づいて、隣り合う 2 つのセル上に存在するセンサ端末間で直接通信が可能ないように決定される。各セル上では、1 体の端末がルータとして機能しており、観測値はこれらの端末によってシンクへ転送される。これにより、他のセンサ端末は消費電力を削減できる。

文献 [6], [23] では、無線センサネットワークにおいて、トポロジ情報やルーティングテーブルの代わりに端末間の位置関係を用いたルーティングプロトコルを提案している。シンクが宛先のデータパケット、すなわち観測値を持つセンサ端末は、シンクの位置情報を添付した RTS パケットをアクティブ状態の隣接するセンサ端末へブロードキャストする。RTS パケットを受信した各センサ端末は、自身とシンクの距離に基づいて自身の優先度を決定し、優先度の情報を添付した CTS パケットを返信する。RTS パケットを送信したセンサ端末は、最も優先度の高い CTS パケットを返信した端末へデータパケットを送信する。これにより、少ないホップ数で効率的に観測値をシンクへ送ることができる。さらに、各センサ端末がランダムに自身の状態、すなわちアクティブまたはスリープを切り替えることで、消費電力を削減できる。文献 [7], [9] では、冗長なセンサ端末をスリープ状態へ切り替えることで、トポロジの管理コストを削減するデューティサイクルアルゴリズムを提案している。文献 [7] のアルゴリズムでは、隣接端末が自身を経由せずに通信可能なセンサ端末が、自身のバッテリーを節約するために、一定時間スリープ状態へ切り替える。文献 [9] のアルゴリズムでは、各センサ端末は定期的に HELLO メッセージを隣接端末へ送信する。HELLO メッセージを事前に定められた回数以上受信したセンサ端末が、十分な数のアクティブ状態の隣接端末がいると判断して、スリープ状態へ移行する。

文献 [5], [18], [20] では、観測領域内の任意の位置について、少なくとも 1 体のセンサ端末がセンシングを保証している環境を想定し、領域全体のカバレッジを保証するネットワーク構築手法を提案している。文献 [5] では、各センサ端末は、自身の位置と状態の情報を添付した HELLO メッセージを、定期的に隣接端末へ送信する。バッテリー残量が少ないセンサ端末は、自身のセンシング領域が隣接端末によってカバーされている場合、バッテリーを節約するために次の観測周期までスリープ状態に切り替わる。文献 [18] では、文献 [5] と同様に、バッテリー残量の少ない端末がスリープ状態へ移行する。その際、コネクティビティについても配慮する。特に、この手法では、文献 [7] で提案されたコネクティビティを保証する技術を採用している。文献 [20] では、センサ端末は 2 つの動作フェーズとして、初期化フェーズとセンシングフェーズを持つ。初期化フェーズに

おいて、センサ端末は各端末の位置情報および隣接端末との時刻同期によって、ワーキングスケジュールを作成する。ワーキングスケジュールは、観測領域全体の任意の座標について、少なくとも 1 体のセンサ端末によってカバーしている状態を保証できるように決定する。センシングフェーズにおいて、センサ端末は、ワーキングスケジュールに基づいて、アクティブまたはスリープを切り替えることで、消費電力を節約できる。

しかし、これらの既存研究では、センサ端末の移動を考慮しておらず、ネットワークトポロジの動的な変化に対応できない。また、アプリケーションが要求するセンシングの地理的粒度を保証するデータ収集を想定していないため、本研究とは異なる。

## 2.2 アドホックネットワークにおけるエージェントを用いた位置情報サービス

次に、アドホックネットワークにおけるエージェントを用いた位置情報サービスを紹介する。著者らの知る限り、この課題に取り組んでいる既存研究は 1 つしかない。文献 [21] では、アドホックネットワークにおける位置情報サービスを想定し、エージェントが端末間を移動することにより、特定の地理的エリアに長時間にわたって存在し続け、データの収集および提供を行う手法を提案している。この研究では、配布端末によって生成された、位置依存情報を付近の移動型端末へ配布するサービスを想定している。この研究では、局所的な情報をその地点の近傍にのみ提供しており、観測位置から離れたシンクへのデータ送信を想定する本研究とは異なる。

## 2.3 モバイル P2P システム

最後に、モバイル P2P システムに関する既存研究を紹介する。文献 [13] では、モバイル端末が密に存在する環境で、データを地理的に固定させることで、データに効率的にアクセスする手法を提案している。データに対応する座標から通信半径の 1/2 の距離内にいる端末がそのデータを保持するように、端末間でデータを交換することで、データに対応する座標へのパケットルーティングによるデータへのアクセスを保証している。この研究では、端末はルーティングプロトコルとして GPSR [12] を備えていることを想定している。文献 [14] では、モバイルファイル共有システムのための P2P に基づく分散文書検索サービスを提案している。文書を検索するクエリが転送される際、クエリを転送する端末が自身の保持するクエリに該当する文書の情報をクエリに添付することにより、同一の文書を複数の端末が返信することを防いでいる。文献 [15] では、インターネットにアクセスできない状態のモバイル端末が無線マルチホップ通信によってホスト、つまりインターネットに接続可能な端末と接続することでインターネットにアク

セスする手法を提案している。ホストは自身で設定したインターバルで他の端末がインターネットにアクセスするためのインタフェース，すなわちクエリを配布することで，自身の消費電力を調整している。

これらの研究では，インターネットあるいは端末が保持する既存データへのアクセスを想定しており，アプリケーションが要求するセンシングの地理的粒度を保証したデータ収集を想定する本研究とは異なる。ただし，文献 [13] におけるデータを特定位置の周辺にとどまらせる手法は，本論文におけるエージェントを観測位置にとどまらせる手法に近いアイデアを用いている。

### 3. 想定環境

本論文では，一般ユーザの携帯する無線通信機能を搭載した移動型センサ端末が構成する，密なモバイルセンサネットワークを想定する。センサ端末は，温度や光などの物理現象の定期的な観測，すなわちセンシングを行い，互いに無線マルチホップ通信で接続している。アプリケーションの要求に基づいて，シンクは定期的もしくは不定期に，観測領域をある一定の地理的粒度を保証するように観測する。具体的には，ある特定のタイミングで，地理的粒度から決定される観測位置付近に位置するセンサ端末から観測値を収集する。

#### 3.1 観測領域と観測位置

対象とする観測領域は縦横が  $M:N$  の整数比となる 2 次元平面を想定する。アプリケーションは， $k^2 \cdot M \cdot N$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) の整数値として，地理的粒度を指定する。シンクは観測領域を  $k \cdot M \times k \cdot N$  の格子状のサブ領域に分割し， $k^2 \cdot M \cdot N$  個あるサブ領域の各々の中心点をセンシング対象となる観測位置と定める (図 1)。

#### 3.2 端末の構成

先述のように，一般ユーザの携帯する移動型センサ端末によって構成されるモバイルセンサネットワークを想定する。シンクは端末間で構成される無線アドホックネットワークを用いてセンサデータを収集する。各端末の無線通信範囲は等しく，半径  $r$  とする。各端末は GPS あるいは

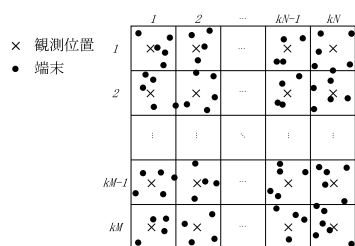


図 1 観測領域と観測位置

Fig. 1 Sensing area and sensing points.

それに類する測地装置を備えており，位置情報に基づくマルチホップ通信，すなわち 3.3 節で述べるジオルーティングを可能とする。位置情報は経度と緯度で表され，観測領域全体を表す  $M:N$  の矩形領域のマップは，すべての端末およびシンクが共有しているものとする。また，観測位置を決定する値  $k$  はアプリケーションによって指定され，シンクのみが知っているものとする。端末は  $k$  の値を知ることによって，マップ情報からサブ領域の 1 辺の大きさを求めることができ， $k^2 \times M \times N$  のグリッド状のマップを一意に計算することができる。

各端末は領域を自由に移動するが，シンクは，固定されているものとする。また，領域内には，多くのセンサ端末が存在し，領域内の任意の位置に対して，その位置をセンシング可能な端末が複数存在するものとする。

#### 3.3 ジョルーティング

センサ端末は，文献 [11] で提案された手法をもとにした，ジオルーティングプロトコルを備えており，端末ではなく特定の目標位置までデータを転送できる。

このプロトコルでは，目標位置および送信端末の位置情報からなるパケットヘッダを用いて転送処理を行う。送信すべきデータパケットを持つ発信端末は，目標位置および自身の位置情報をパケットヘッダに書き込み，隣接端末へパケットをブロードキャストする。パケットの受信端末は，パケットヘッダ内の目標位置および送信端末の位置情報から，自身が転送エリアにいるかどうかを判定する。ここで，転送エリアとは，送信端末よりも目標位置に近く，かつ転送エリア内の端末が互いに直接，すなわち 1 ホップで通信可能な領域である。図 2 に転送エリアの例を示す。転送エリアはセンサ端末の通信半径  $r$  を直径とする斜線領域で表される。

転送エリア内にいる端末は，待ち時間を設け，待ち時間内に他の端末からのパケットの転送が確認できなかった場合，自身がパケットを転送する。待ち時間 ( $WT$ ) は次式で与えられ，距離  $P$  は目標位置により近い端末ほど，小さい値をとる。

$$WT = Max\_delay \cdot \left( \frac{r - P}{r} \right) \quad (1)$$

ここで  $Max\_delay$  は待ち時間の最大値である。

このようにすることで，転送エリア内において目標位置

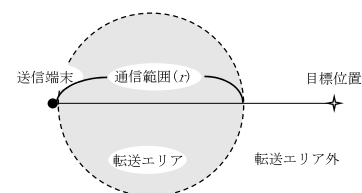


図 2 転送エリアの例

Fig. 2 An example of forwarding area.

に最も近い端末が最初にパケットを転送でき、さらに、1つのパケットが複数の経路で送信されるのを防ぐことができる。転送エリア内の他の端末は、このパケットを検知できるため、転送処理を中止する。同様の処理を繰り返すことにより、パケットは目標位置付近へと転送される。

送信端末が目標位置から  $r/2$  以内に存在する場合、パケットを受信した端末は、パケットを転送する代わりに ACK を送信する。目標位置から  $r/2$  以内の端末が送信したパケットは、目標位置を中心とする半径  $r/2$  以内のすべての端末が検知できるため、目標位置、すなわち観測位置に最も近い端末を把握することができる。送信端末自身は、他の ACK を受信しなかった場合、自身が最も近い端末と判断できる。

#### 4. 地理的粒度を考慮したデータ収集のためのエージェント制御方式

本章では、まず提案手法の設計方針とエージェントについて述べる。その後、提案手法について説明する。

##### 4.1 設計方針

一般ユーザの携帯する移動型センサ端末によって構成されるモバイルセンサネットワークでは、多数のセンサ端末が自由に移動しており、トポロジが頻繁に変化する。このような環境において、ビーコンを用いたトポロジ情報の管理やルーティングテーブルの維持は、ビーコンの交換により大量のトラフィックが発生し、パケット衝突が頻繁に発生するため、現実的ではない。そのため、3.3 節で述べた、センサ端末の位置情報に基づいて転送端末を選択し、目標位置、すなわち観測位置付近の端末へパケットを転送するジオルーティングプロトコルを用いてデータを収集する。

また、一般ユーザの携帯するセンサ端末は、シンクの位置やアプリケーションの要求する地理的粒度、すなわち観測粒度といったデータ収集に関する情報は知らないことが自然である。そのため、シンクはこれらの情報を観測位置付近に位置する端末へ配布する必要がある。しかし、この情報を観測周期ごとにすべてのセンサ端末に配布することは、データ収集のための遅延と大きなトラフィックが発生するため、効率的ではない。この問題を解決するため、提案手法におけるシンクは、観測位置付近のセンサ端末上で動作し、観測位置をカバーするエージェントを用いてセンサデータを収集する。エージェントが観測位置のセンシングが可能な端末上でのみ動作することで継続的にセンシングを保証する。これにより、観測粒度を保証する必要最低限の端末のみから観測値を収集することができ、また、シンクは、観測周期ごとにデータ収集のための情報を送信する必要がない。その結果、提案手法はセンサデータを収集するための遅延とトラフィックを削減できる。

##### 4.2 エージェント

提案手法におけるエージェントは、センサ端末上で自律的に動作し、センサ端末間を移動するアプリケーションプログラムである。センサ端末は、観測粒度、観測周期、シンクの位置情報からなるエージェントデータを用いてエージェントを起動する。エージェントの役割は観測周期ごとに観測値をシンクへ送ることである。エージェントは、観測粒度の観点からアプリケーションの要求を保証可能な端末上に配置される。

##### 4.3 提案手法

提案手法では、まずシンクによるエージェントのデータの生成、および配置が行われる。シンクは、3.1 節で述べた方法で決定した  $k^2 \cdot M \cdot N$  個の観測位置を目標位置として、エージェントデータを送信する。その後、4.3.1 項の手順に従って、観測位置に最も近い端末はエージェントデータを受信し、エージェントを起動する。

エージェントは、4.3.2 項の方法に従って、観測値をシンクへと転送する。また、エージェントが動作中のセンサ端末が観測位置から離れた場合、4.3.3 項の方法に従って、エージェントは観測位置に最も近い端末へと移動する。

##### 4.3.1 エージェントの配置

提案手法は少ないトラフィックでネットワーク内にエージェントを配置する。具体的には、シンクは観測位置間の地理的關係に基づいて作成される、転送木に沿ってエージェントデータを送信する。以下では、エージェントを配置するためのシンクおよびエージェントの動作について述べる。

- (1) シンクは、エージェントデータを生成し、自身が存在するサブ領域の観測位置へ、3.3 節の方法に基づいてエージェントデータを送信する。
- (2) 観測位置に最も近い端末は、エージェントデータを受信した後、エージェントを起動する。初期動作として、エージェントは隣接サブ領域の観測位置にエージェントデータを再転送する。表 1 は、格子状のサブ領域にエージェントデータを転送する際の方向を表している。たとえば、エージェントデータがシンクから送られた場合、エージェントは上、下、左、右、のサブ領

表 1 エージェントデータの転送方向  
Table 1 Forwarding directions of agent data.

エージェントデータの送信元	エージェントデータの転送方向
シンク	上, 下, 左, 右
右隣のサブ領域	上, 下, 左
左隣のサブ領域	上, 下, 右
下隣のサブ領域	上
上隣のサブ領域	下

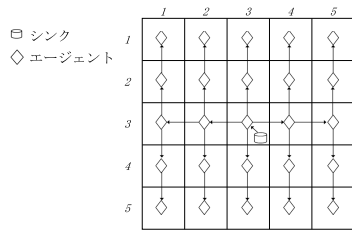


図3 エージェントの配置の例

Fig. 3 Example of forwarding agent data between mobile agents.

域にエージェントデータを転送する。左隣のサブ領域内のエージェントから送られた場合は、上、下、右に転送する。ここで、観測領域上下端に位置するサブ領域にいるエージェントはエージェントデータを再転送しない。手順(2)へ戻る。

上記の手続きを通して、エージェントはエージェントデータを転送するための木、すなわち転送木を動的に構築する(図3)。転送木はセンサデータを収集する際にも用いることでトラフィックを削減できる。具体的には、エージェントがセンサデータを親エージェントに返信するとき、子エージェントから受信したセンサデータおよび自身のセンサデータを集約することで、ヘッダサイズ分のトラフィックを削減できる(詳細は次項で述べる)。

図3を用いて、シンクが観測位置にエージェントを配置する例を示す。観測領域は5×5のサブ領域に分割され、シンクは(3,3)のサブ領域に位置することを想定する。まず、シンクがエージェントデータを生成し、自身が位置するサブ領域の観測位置へエージェントデータを送信する。観測位置に最も近いセンサ端末上で起動したエージェントは、隣接する4カ所のサブ領域の観測位置へエージェントデータを再転送する。その後、4カ所のサブ領域で起動したエージェントが、表1の規則に従ってエージェントデータを再転送する。以降、同様の処理を繰り返すことにより、すべての観測位置にエージェントを配置できる。

#### 4.3.2 センサデータの転送

観測位置、またはその付近のセンサ端末に配置されたエージェントは、観測周期ごとにセンサデータをシンクへ送信する。提案手法は、エージェントがセンサデータを集約しながら、転送木の逆順に転送することで、センサデータを送るためのトラフィックを削減できる。以下では、エージェントの動作について述べる。

(1) 観測周期ごとに、観測領域上下端に位置するサブ領域にいるエージェントは、観測値、すなわちセンサデータを自身のエージェントデータの転送元のエージェントへ送信する。その際、3.3節のジオルーティングを用いる。ここで、エージェントは、エージェントの動作しているセンサ端末の移動により、観測位置から離れている可能性がある。提案手法のジオルーティン

グでは、エージェントの動作する端末が観測位置から $r/2$ 以上離れている場合、エージェントは観測位置を宛先とするセンサデータを受信できない場合がある。そのため、エージェントは、自身の動作する端末から観測位置に最も近いセンサ端末へ移動することで、観測位置から $r/2$ 以内にとどまり続ける。この処理の詳細は次項で述べる。これにより、エージェントはいつでも転送木上の子エージェントが送信したエージェントデータを受信できる。

- (2) 領域上下端に位置するサブ領域およびシンクが存在するサブ領域を除いた各サブ領域にいるエージェントは、転送木上のすべての子エージェントからセンサデータを受信した後、受信したセンサデータおよび自身の観測値を集約し、転送木上の親エージェントへ送る。手順(2)に戻る。
- (3) シンクが存在するサブ領域にいるエージェントは、受信したセンサデータおよび自身の観測値を集約し、シンクに送信する。

#### 4.3.3 エージェントの移動

エージェントが動作している端末が観測位置から離れてしまった場合、エージェントは観測位置を観測、すなわちカバーできなく可能性がある。また、すでに述べたように、転送木上の子エージェントが送信したセンサデータを受信できない可能性がある。そのため、エージェントは、自身の動作するセンサ端末から観測位置に最も近いセンサ端末へ移動することでこれを回避する。

具体的には、エージェントは、自身の位置と観測位置の距離が閾値 $\alpha$ より大きくなったら移動を開始する。ここで、 $\alpha$ は、自身より観測位置に近いすべての端末と通信が可能な距離 $r/2$ 以下、かつセンサ端末が観測位置をセンシング可能な距離とする。

エージェントは観測位置に最も近い端末へ移動するために、エージェントデータを添付したパケットを観測位置から $r/2$ 以内の隣接端末へブロードキャストする。このパケットを受信したセンサ端末は、式(1)に従って待ち時間を設け、他の端末へACKを送信する。3.3節と同様に、観測位置に最も近い端末が最初にACKを送信し、エージェントを起動する。他の端末は、このACKを検知できるため、ACKの送信を中止する。ACKを受信した元のエージェントは、自身の動作を終了する。

#### 4.3.4 提案手法のブートストラップ動作

提案手法では、基本的に、アプリケーションが要求する地理的粒度のセンシングを実行するための十分な数のセンサ端末がすでに存在する環境を想定している。しかし、提案手法は、初期状態においてセンサ端末が十分に存在しない環境においても動作することが可能である。以下では、1台もセンサ端末が存在しない状況から、センシングが可能な状態になるまでのシンク、センサ端末およびエージェ

ントの動作について述べる。

- (1) シンクは観測周期から一定時間だけ前の時刻になると、4.3.1 項の方法に従って自身が存在するサブ領域の観測位置へエージェントデータを送信する。以降の観測周期において、エージェントデータを受信できなかった場合は、上記の手順を再実行する。ここで、サブ領域内に、ジオルーティングで観測位置にエージェントデータを転送するのに十分な数のセンサ端末が存在し、観測位置をセンシング可能な端末が存在する場合、このサブ領域内においてエージェントの起動が成功する。
- (2) 各サブ領域において、エージェントデータを受信した観測位置に最も近いセンサ端末は、自身が観測位置を観測可能な場合、4.3.1 項の手順 (2) に従い、エージェントの起動および、次のサブ領域へのエージェントデータの転送を行う。
- (3) エージェントの配置が成功している場合、観測周期ごとに、配置されたエージェントは、4.3.2 項の手順に従ってセンサデータを転送する。なお、一定時間経過しても転送木上の子エージェントのいくつかがセンサデータを送信してこない場合、収集できたセンサデータのみを自身の親エージェントに転送する。さらに、センサデータを送信しなかったサブ領域に対して、エージェントデータの再送を行う。このサブ領域において、エージェントデータを受信したセンサ端末は手順 (2) に従って動作する。

上記の手順により、センサ端末が十分に存在しない環境においても提案手法は動作する。ただし、観測位置にエージェントが存在しない場合、そのサブ領域と転送木上の子エージェントが管理するすべてのサブ領域のセンサデータの転送に失敗するため、現状の対応は十分ではない。センサ端末の数が少ない環境におけるセンサデータの収集法については、今後の課題である。

## 5. シミュレーション評価

本章では、提案手法の性能評価のために行ったシミュレーション実験の結果を示す。本実験では、ネットワークシミュレータ Scenargie 1.3<sup>\*1</sup>を用いた。なお、本実験では、4.3.4 項のブートストラップ動作は適用していない、拡張前の提案手法を想定している。

### 5.1 シミュレーション環境

1,000 [m] × 1,000 [m] の 2 次元平面上に  $n$  台の移動型センサ端末 ( $M_1, \dots, M_n$ ) および 1 台のシンク ( $S_1$ ) が存在する。シンクは、領域左端および下端から (580 [m], 580 [m]) の座標に静止している。各センサ端末はランダムウォーク

モデル [3] に従って移動し、50 [秒] おきに、0 [m/秒] から 1 [m/秒] の速度でランダムに決定した方向に移動する。シンクおよび各センサ端末は、IEEE 802.11g を使用し、伝送速度 6 [Mbps]、通信伝搬距離が 100 [m] 程度となる送信電力でデータを送信する。各センサ端末は、継続的に領域をセンシングしており、センシングの有効距離を 100 [m] とする。シンクは観測領域を  $1,000/\sqrt{G}$  [m] ×  $1,000/\sqrt{G}$  [m] の大きさの格子状の  $G$  個のサブ領域に分割し、各サブ領域の中央点を観測位置と定める。

シンクはシミュレーション開始から 400 [秒] が経過した時点で、各観測位置へエージェントを配置する。エージェントデータのサイズは 128 [B] とし、各センサ端末は事前にエージェントのソースコードを所持しているものとした。観測周期は  $T$  [秒] とし、シミュレーションの開始から終了まで、 $400 + mT$  ( $m = 1, 2, \dots$ ) [秒] の時刻、すなわち観測時刻にセンシングを行う。エージェントは各観測時刻に観測値をシンクへ送信する。また、エージェントは、自身の動作する端末が観測位置から 47 [m] ( $\alpha = 47$ ) 以上離れた場合、観測位置に最も近い端末へと移動する。この値は予備実験の結果に基づいて決定した。

提案手法の比較対象として、シンクが観測周期ごとに各観測位置へデータ要求メッセージを送信し、データを収集する手法の性能を調べた。比較手法では、シンクは各観測時刻に、3.3 節の方法に基づいてすべての観測位置へ個別にデータ要求メッセージを送信する。ここで、データ要求メッセージは、パケット衝突を回避するために、領域左下端に位置するサブ領域の観測位置から、領域右上端に位置するサブ領域の観測位置まで、一定の送信間隔 0.1 [秒] をおいて順番に送信される。この送信間隔も予備実験に基づいて適当な値を設定した。各サブ領域において、観測位置に最も近い端末はデータ要求メッセージを受信し、3.3 節の方法に基づいて観測値をシンクへ返信する。

表 2 に本実験で用いたパラメータを示す。各パラメータは基本的には定数値をとるが、そのパラメータの影響を調べる際には括弧内の範囲で変化させた。以上のシミュレーション環境において、サブ領域ごとの端末数が同数となるように、各端末の初期位置をランダムに決定し、20 回試行した。シミュレーション時間は 4,000 [秒] であり、以下の 4 つの評価値を調べた。

- 取得精度：各観測周期において、すべての観測位置の

表 2 パラメータ設定

Table 2 Parameter configuration.

パラメータ	意味	値
$T$	観測周期 [秒]	120 (30~300)
$G$	サブ領域数	25 (1~100)
$n$	端末数	2,000 (1,000~3,000)
$D$	センサデータサイズ [B]	32 (24~240)

<sup>\*1</sup> Scenargie 1.3 Base Simulator revision 4938, Space-Time Engineering, <http://www.spacetime-eng.com/>

センサデータをシンクが取得した場合、データ取得に成功したと定める。取得精度は、データ取得に成功した回数のデータ要求の総数、すなわち観測回数に対する割合とする。

- 取得待ち時間：各観測時刻からデータ取得に成功した時刻までの平均経過時間。
- パケット数：シミュレーション時間内にシンクおよびすべての端末が送信したパケットの総数。
- トラヒック：シミュレーション時間内にシンクおよびすべての端末が送信したパケットのデータサイズを合計した値。表 3 にアプリケーション層における各メッセージサイズを表す。ここで、 $i$  は、返信メッセージに含まれるデータ数を表す。また、各メッセージサイズにヘッダ分である 64 [B] を加えた値を Mac 層におけるトラヒックとする。

5.2 観測周期の影響

観測周期  $T$  を変化させたときの実験結果を図 4 に示す。この図において、グラフの横軸は  $T$  を表し、縦軸は、図 4 (a) では取得精度、図 4 (b) では取得待ち時間、図 4 (c)

表 3 メッセージサイズ  
Table 3 Message size.

手法	手順	メッセージ名	サイズ [B]
提案	エージェント配置	配置メッセージ	192
	データ返信	返信メッセージ	$64 + D \cdot i$
	エージェント移動	移動メッセージ	160
比較	データ要求	要求メッセージ	72
	データ返信	返信メッセージ	96
共通	共通	ACK	32

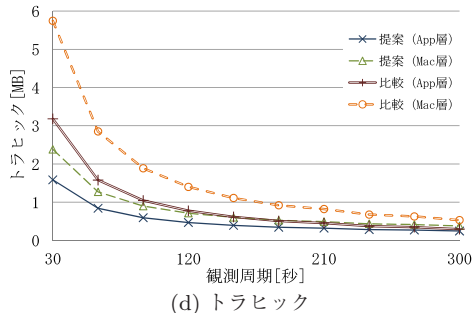
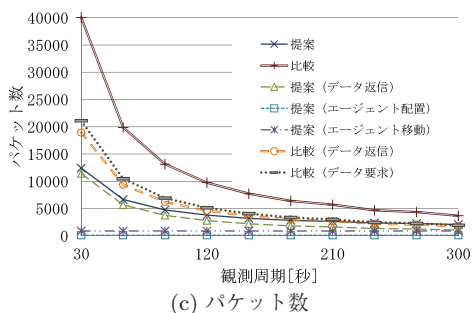
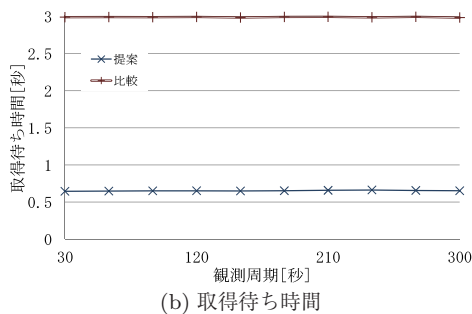
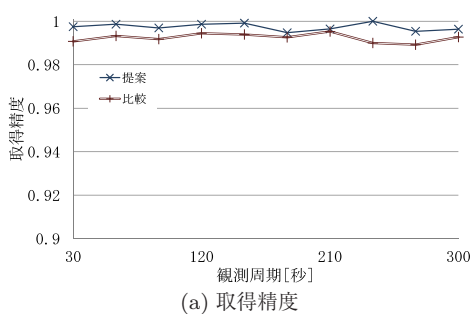


図 4 観測周期の影響

Fig. 4 Effects of sensing cycle.

ではアプリケーション層でのパケット数およびその内訳、図 4 (d) ではアプリケーション層および Mac 層でのトラヒックを表す。

図 4 (a) より、提案手法、比較手法ともに取得精度が高いことが分かる。また、シンクが取得したすべてのセンサデータは有効、すなわちセンシング対象の観測位置をカバーしたデータであった。どちらの手法においても取得精度が 100 [%] にならないのは、パケット衝突によりジオルーティングが失敗することがあるためである。図 4 (c) より、提案手法は比較手法と比べてパケット数が少なく、パケット衝突の発生を抑えている。そのため、提案手法の取得精度は比較手法よりわずかに高い。

図 4 (d) より、観測周期は取得待ち時間に影響がないことが分かる。また、提案手法は、比較手法と比べて短い時間でデータを取得できていることが分かる。これは、提案手法では、転送木を利用して、同時並行的にデータを返信できるが、比較手法ではデータの取得のために往復のメッセージ交換が必要なことに加えて、パケット衝突を回避するために、メッセージを送信するごとに待ち時間 (0.1 [秒]) を設けてすべてのサブ領域に要求メッセージを転送しているためである。ここで最大の待ち時間は  $0.1 \times (G - 1)$  [秒] となる。待ち時間を小さくすることで取得待ち時間を削減できるが、予備実験において、比較手法は 0.1 [秒] より小さい待ち時間において、パケット衝突が頻繁に発生し、取得精度が低下することを確認している。

図 4 (c) より、提案手法は比較手法と比べてパケット数が少ないことが分かる。これは、比較手法が観測周期ごとにデータ要求メッセージを送信するのに対し、提案手法は



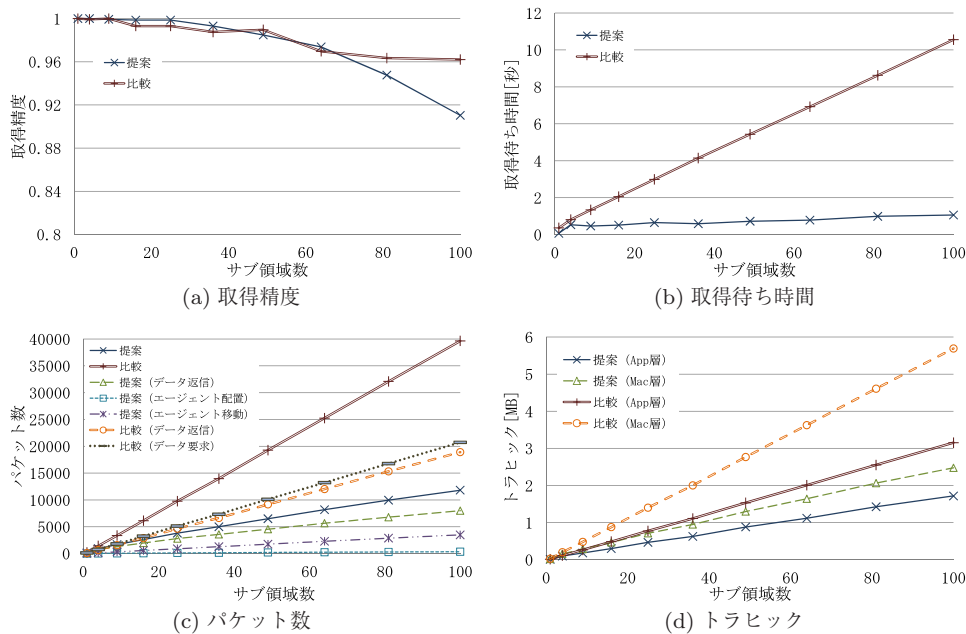


図 5 サブ領域数の影響

Fig. 5 Effects of number of sub areas.

エージェントが自律的にデータを返信するので、データ要求メッセージが不要なためである。また、提案手法は、比較手法と比べて、データ返信の Paket 数が少ない。これは、提案手法ではエージェントがデータを集約しながら返信するためである。観測周期が長い場合、提案手法では、エージェントの移動による Paket が占める割合が大きくなるため、提案手法と比較手法の Paket 数の差は小さくなる。また、提案手法では、エージェントの配置とエージェントの移動による Paket 数が、それぞれ観測周期にかかわらず一定であることが分かる。エージェントの配置で発生する Paket 数は観測粒度、およびエージェントデータを転送する際のホップ数によって決まり、エージェントの移動で発生する Paket 数はデータ収集の継続時間、端末の移動速度、および  $\alpha$  によって決まる。そのため、これらの Paket 数は、観測周期の影響を受けない。

図 4(d) より、提案手法は比較手法よりもトラフィックが小さいことが分かる。これは、提案手法ではエージェントが自律的にデータを返信するため、データ要求の必要がないことと、データを集約しながら返信することで Paket 数を削減できるため、ヘッダサイズ分のメッセージサイズを削減できることに起因する。観測周期が長い場合、提案手法では、エージェントの移動によるトラフィックが占める割合が大きくなるため、提案手法と比較手法のトラフィックの差が小さくなる。また、Mac 層ではアプリケーション層に比べて、提案手法と比較手法のトラフィックの差が大きい。Mac 層では、アプリケーション層に比べて、Paket におけるヘッダの占める割合が大きいため、提案手法の Paket 数削減の効果がより大きいためである。

### 5.3 観測粒度の影響

観測粒度を変化させたときの実験結果を図 5 に示す。この図において、グラフの横軸は  $G$  を表し、縦軸は、図 5(a) では取得精度、図 5(b) では取得待ち時間、図 5(c) ではアプリケーション層での Paket 数およびその内訳、図 5(d) ではアプリケーション層および Mac 層でのトラフィックを表す。

図 5(a) より、提案手法、比較手法ともにサブ領域数が増加すると取得精度が低くなるのが分かる。これは、サブ領域数の増加とともにデータ収集に必要なメッセージ交換が増加し、Paket 衝突が発生しやすくなるためである。特に、提案手法では同時並行的にデータを収集しているため、サブ領域数が増加すると、隣接する観測位置で送信された返信メッセージどうしが衝突する可能性が大きくなり、比較手法よりも取得精度が低下する。

図 5(b) より、比較手法はサブ領域数が増加すると取得待ち時間が大きくなるのが分かる。これは、要求メッセージを送信するごとに設ける待ち時間が必要なためである。一方、提案手法はサブ領域数の影響を強くは受けず、短い時間でデータを取得できていることが分かる。これは、転送木を利用して同時並行的にデータを返信するためである。

図 5(c) より、提案手法、比較手法ともにサブ領域数が増加すると Paket 数が増加することが分かる。また、すべてのサブ領域数において、提案手法は比較手法より Paket 数が少ないことが分かる。

図 5(d) より、提案手法、比較手法ともにサブ領域数が増加するとトラフィックが増加することが分かる。また、すべてのサブ領域数において、提案手法は比較手法よりトラフィックが小さいことが分かる。

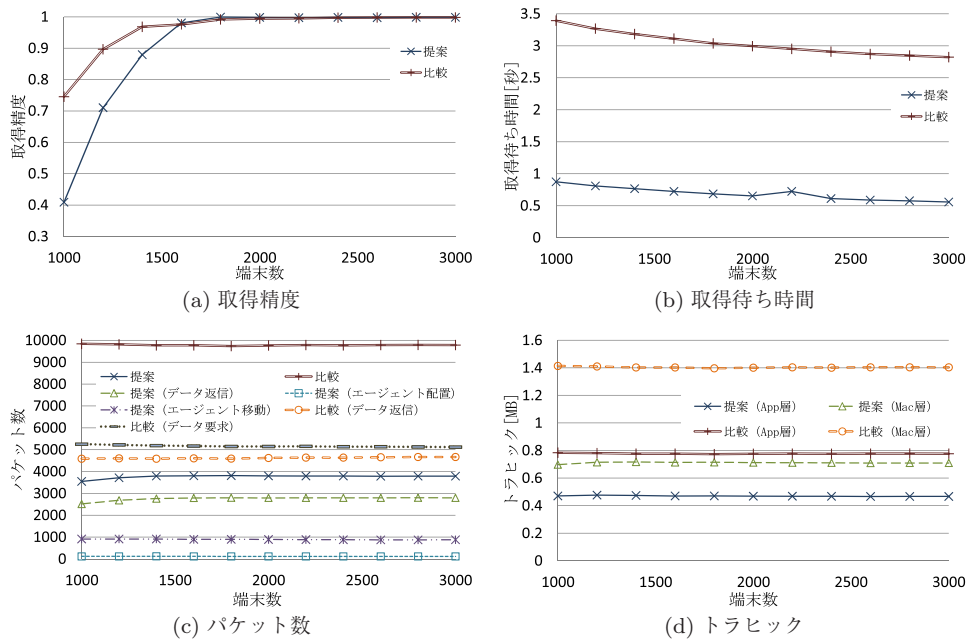


図 6 端末数の影響

Fig. 6 Effects of the number of sensor nodes.

#### 5.4 端末数の影響

端末数  $n$  を変化させたときの実験結果を図 6 に示す。この図において、グラフの横軸は  $n$  を表し、縦軸は、図 6(a) では取得精度、図 6(b) では取得待ち時間、図 6(c) ではアプリケーション層でのパケット数およびその内訳、図 6(d) ではアプリケーション層および Mac 層でのトラフィックを表す。

図 6(a) より、提案手法、比較手法ともに端末数が少ないときに取得精度が低くなるのが分かる。これは、端末が疎な環境では、ジオルーティングにおける転送エリアや、観測位置周辺に端末が存在しない可能性が高いためである。また、提案手法では、観測位置を中心とする半径  $\alpha$  の円内に端末が存在しない場合、エージェントが消失してしまう。エージェントが消失した場合、エージェントが再配置されないため、シミュレーション終了時までデータが返信されず、取得精度が大きく低下する。

図 6(b) より、すべての端末数において、提案手法は比較手法より取得待ち時間が小さいことが分かる。端末数が増加すると、取得待ち時間が若干小さくなるのは、転送エリア内に存在する端末が増加し、より目標位置に近い端末が増えるためである。図 6(c) より、すべての端末数において、提案手法は比較手法よりパケット数が少ないことが分かる。ここで、提案手法において、端末数が 1,000 台のときにパケット数が若干少なくなっているのは、エージェントの消失により、データが返信されないためである。また、比較手法において、端末数が増加すると、パケット数が若干少なくなっているのは、メッセージ転送のホップ数が小さくなるためである。

図 6(d) より、提案手法、比較手法ともに端末数にかかわらずトラフィックがほぼ一定であることが分かる。これは、どちらの手法もメッセージの送信端末は各サブ領域内で 1 台に限定されるので、領域内に存在する端末数に影響されないためである。手法間の差は、パケット数の結果と同様の傾向である。

#### 5.5 センサデータサイズの影響

センサデータサイズ  $D$  を変化させたときの実験結果を図 7 に示す。この図において、グラフの横軸は  $D$  を表し、縦軸は、図 7(a) では取得精度、図 7(b) では取得待ち時間、図 7(c) ではアプリケーション層でのパケット数およびその内訳、図 7(d) ではアプリケーション層および Mac 層でのトラフィックを表す。

図 7(a) より、提案手法、比較手法ともにセンサデータサイズにかかわらず取得精度が高いことが分かる。通常、メッセージサイズが大きくなるとパケットロスが発生するが、センサデータサイズが十分に小さいため、パケットロスには影響せず、取得精度は低下していない（本論文では、温度などのデータサイズが小さいものをセンシングすることを想定している）。

図 7(b) より、すべてのセンサデータサイズにおいて、提案手法は比較手法より取得待ち時間が小さいことが分かる。ここで、提案手法の取得待ち時間の増加量が比較手法と比べて若干大きいのは、データを集約することでメッセージサイズが大きくなり、データ転送時間が増加するためである。

図 7(c) より、すべてのセンサデータサイズにおいて、提

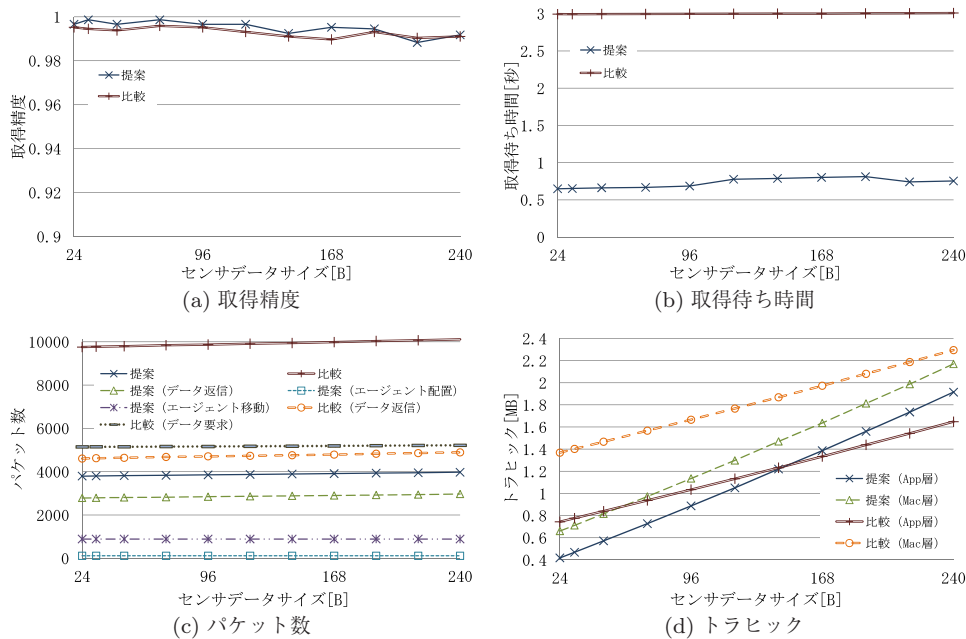


図 7 センサデータサイズの影響

Fig. 7 Effects of number of sensor readings.

案手法は比較手法よりパケット数が少ないことが分かる。また、センサデータサイズにかかわらずパケット数がほぼ一定であることから、データサイズがパケットロスに影響していないことが分かる。

図 7(d) より、提案手法のトラフィックの増加量が比較手法と比べて大きいことが分かる。これは、比較手法では観測位置からシンクへデータを直接、すなわち最短経路で返信するのに対し、提案手法では、格子状に存在する観測位置を経由しながら、データを返信することから、比較手法よりも転送経路が長くなるためである。提案手法はデータを集約しながら返信することでヘッダサイズ分のトラフィックを削減できるが、センサデータサイズが大きい場合、返信メッセージの総トラフィックが増加する。

## 6. おわりに

本論文では、密なモバイルセンサネットワークにおける地理的粒度を考慮したデータ収集のためのエージェント制御方式を提案し、シミュレーション実験によってその有効性を確認した。

シミュレーション実験の結果から、提案手法では、観測周期ごとにデータ要求を行う必要がないことや、転送木を利用して同時並行的にデータを返信することで、短い時間でデータを収集できることを確認した。また、提案手法はデータ集約によりトラフィックを削減するため、小さいトラフィックで、データを収集できることを確認した。

本論文では、簡単化のため、端末の障害によるエージェントの消失や、センシングの誤り値などが生じないものと想定した。しかし、実環境では、端末を所持するユーザの

操作によって、突然エージェントが動作を終了することや、端末のセンサデバイスの不具合によって、誤った値をセンシングするといった場合が考えられる。そこで、今後はエージェントが互いに生存を確認し、消失した場合には再配置する手法について検討する予定である。また、端末が疎な環境においてはエージェントの移動が失敗する可能性がある。そのため、エージェントが不在となった観測位置のセンシング方法について今後検討する予定である。さらに、センシング値を周囲の端末のセンシング値と比較し、センシングが成功したことを確認して返信するなど、提案手法の拡張を検討している。

謝辞 本研究の一部は、(財)近畿移動無線センター・モバイルワイヤレス助成金、および文部科学省科学研究費補助金・基盤研究 S (21220002) の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] Abolhasan, M., Wysocki, T. and Dutkiewicz, E.: A Review of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks, *Ad Hoc Networks*, Vol.2, No.1, pp.1-22 (2004).
- [2] Anastasi, G., Contib, M., Francesco, M.D. and Passarella, A.: Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: A Survey, *Ad Hoc Networks*, Vol.7, No.3, pp.537-568 (2009).
- [3] Camp, T., Boleng, J. and Davies, V.: A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research, *Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol.2, No.5, pp.483-502 (2002).
- [4] Campbell, A.T., College, D., Eisenman, S.B., Lane, N.D., Miluzzo, E., Peterson, R.A., Lu, H., Zheng, X., Musolesi, M., Fodor, K. and Ahn, G.-S.: The Rise of People-Centric Sensing, *IEEE Internet Computing*,

- Vol.12, No.4, pp.12-21 (2008).
- [5] Carle, J. and Simplot-Ryl, D.: Energy-Efficient Area Monitoring for Sensor Networks, *IEEE Computer*, Vol.37, No.2, pp.40-46 (2004).
  - [6] Casari, P., Marcucci, A., Nati, M., Petrioli, C. and Zorzi, M.: A Detailed Simulation Study of Geographic Random Forwarding (GeRaF) in Wireless Sensor Networks, *Proc. MILCOM 2005*, pp.59-68 (2005).
  - [7] Chen, B., Jamieson, K., Balakrishnan, H. and Morris, R.: Span: An Energy Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks, *Wireless Networks*, Vol.8, No.5, pp.481-494 (2002).
  - [8] Chen, M., Kwon, T., Yuan, Y. and Leung, V.C.M.: Mobile Agent based Wireless Sensor Networks, *Journal of Computers*, Vol.1, No.1, pp.14-21 (2006).
  - [9] Godfrey, P.B. and Ratajczak, D.: Naps: Scalable, Robust Topology Management in Wireless Ad Hoc Networks, *Proc. IPSN 2004*, pp.443-451 (2004).
  - [10] Heinzelman, W.R., Chandrakasan, A. and Balakrishnan, H.: Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, *Proc. Hawaii Int'l Conf. System Sciences (HICSS 2000)*, pp.1-10 (2000).
  - [11] Heissenbüttel, M., Braun, T., Bernoulli, T. and Wälchli, M.: BLR: Beacon-Less Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks, *Computer Communications*, Vol.27, No.11, pp.1076-1086 (2004).
  - [12] Karp, B. and Kung, H.T.: GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks, *Proc. MOBICOM 2000*, pp.243-254 (2000).
  - [13] Landsiedel, O., Götz, S. and Wehrle, K.: Towards Scalable Mobility in Distributed Hash Tables, *Proc. P2P 2006*, pp.203-209 (2006).
  - [14] Lindemann, C. and Waldhorst, O.P.: A Distributed Search Service for Peer-to-Peer File Sharing in Mobile Applications, *Proc. P2P 2002*, pp.73-80 (2002).
  - [15] Papadopoulou, M. and Schulzrinne, H.: Effects of Power Conservation, Wireless Coverage and Cooperation on Data Dissemination among Mobile Devices, *Proc. MobiHoc 2001*, pp.117-127 (2001).
  - [16] Reddy, S., Samanta, V., Burke, J., Estrin, D., Hansen, M. and Srivastava, M.: MobiSense - Mobile Network Services for Coordinated Participatory Sensing, *Proc. Int'l Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS 2009)*, pp.231-236 (2009).
  - [17] Shi, J., Zhang, R., Liu, Y. and Zhang, Y.: PriSense: Privacy-Preserving Data Aggregation in People-Centric Urban Sensing Systems, *Proc. IEEE INFOCOM 2010*, pp.758-766 (2010).
  - [18] Wang, X., Xing, G., Zhang, Y., Lu, C., Pless, R. and Gill, C.: Integrated Coverage and Connectivity Configuration in Wireless Sensor Networks, *Proc. SenSys 2003*, pp.28-39 (2003).
  - [19] Xu, Y., Heidemann, J. and Estrin, D.: Geography-Informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing, *Proc. MobiCom 2001*, pp.70-84 (2001).
  - [20] Yan, T., He, T. and Stankovic, J.A.: Differentiated Surveillance for Sensor Networks, *Proc. SenSys 2003*, pp.51-62 (2003).
  - [21] Yashiro, T.: A New Paradigm of V2V Communication Services using Nomadic Agent, *Proc. V2VCOM 2006*, pp.1-6 (2006).
  - [22] Yick, J., Mukherjee, B. and Ghosal, D.: Wireless Sensor Network Survey, *Computer Networks*, Vol.52, No.12, pp.2292-2330 (2008).
  - [23] Zorzi, M. and Rao, R.R.: Geographic Random Forward-

ing (GeRaF) for Ad Hoc and Sensor Networks: Energy and Latency Performance, *IEEE Trans. Mobile Computing*, Vol.2, No.4, pp.349-365 (2003).



後藤 啓介

2010年京都工芸繊維大学情報工学課程卒業。現在、大阪大学大学院情報科学研究科博士前期課程在学中。モバイル環境におけるデータ収集技術に興味を持つ。



佐々木 勇和

2009年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。現在、同大学大学院情報科学研究科博士後期課程在学中。モバイル環境における検索技術に興味を持つ。日本データベース学会の学生会員。



原 隆浩 (正会員)

1995年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1997年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年同大学院工学研究科博士後期課程中退後、同大学院工学研究科情報システム工学専攻助手、2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助手、2004年より同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻准教授となり、現在に至る。工学博士。1996年本学会山下記念研究賞受賞。2000年電気通信普及財団テレコムシステム技術賞受賞。2003年本学会研究開発奨励賞受賞。2008年、2009年本学会論文賞受賞。モバイルコンピューティング、ネットワーク環境におけるデータ管理技術に関する研究に従事。IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 日本データベース学会の各会員。



西尾 章治郎 (正会員)

1975年京都大学工学部数理工学科卒業。1980年同大学大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手，大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授，大阪大学大学院工学研究科教授を経て，

2002年より大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり，現在に至る。2000年より大阪大学サイバーメディアセンター長，2003年より大阪大学大学院情報科学研究科長，2007年より2011年まで大阪大学理事・副学長を歴任。この間，カナダ・ウォータールー大学，ビクトリア大学客員。データベース，マルチメディアシステムの研究に従事。現在，Data & Knowledge Engineering等の論文誌編集委員。本会では理事を歴任し，論文賞，功績賞を受賞。電子情報通信学会フェローを含め，ACM，IEEE等8学会の各会員。