

密なモバイル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の性能評価

後藤 啓介[†] 佐々木勇和[†] 原 隆浩[†] 西尾章治郎[†]

[†] 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 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘1番5号
E-mail: †{goto.keisuke,sasaki.yuya,hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 移動型センサ端末が密に存在するモバイルセンサネットワークでは、トラフィック削減のために、カバレッジ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。著者らはこれまでに、密なモバイル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た。提案手法では、自律的な動作が可能かつ、端末間を移動するエージェントを用いてカバレッジを保証し、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。本稿では、シミュレーション実験により、提案手法の性能を詳細に評価し、その有効性を検証する。

キーワード モバイルセンサネットワーク, カバレッジ, エージェント, ジョルーティング

Performance Evaluation of the Data Gathering Method using Mobile Agents in Dense Mobile Wireless Sensor Networks

Keisuke GOTO[†], Yuya SASAKI[†], Takahiro HARA[†], and Shojiro NISHIO[†]

[†] Department of Multimedia Engineering, Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University, 1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871 Japan
E-mail: †{goto.keisuke,sasaki.yuya,hara,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

近年の半導体技術や無線通信技術の発展に伴い、多数のセンサデバイスが環境情報をモニタリングする無線センサネットワーク、およびルータ機能をもつ無線通信端末のみで一時的なネットワークを形成するアドホックネットワークへの関心が高まっている [1], [6]。最近では、これら二つの技術を統合し、センサデバイスを搭載した携帯端末で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。

本研究では、センサデバイスを搭載した PDA やスマートフォンを所持する一般のモバイルユーザをセンサ端末とする、モバイルセンサネットワークを想定する。このような環境では、センサ端末の数が非常に多く、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常に多数存在するものと考えられる。一方、アプリケーションの観点からは、地理的に一定の粒度のデータを要求するケースが多いと考えられる。そこで、トラフィック削減のために、アプリケーションが要求する地理的粒度である、カバレッジを保証する必要最低限の端末のみからデータを収集することが望まれる。

筆者らは文献 [3] において、密なモバイルセンサネットワークにおいて、センサ端末の動作をエージェントによって制御することにより、効率的にセンサデータを収集する手法を提案した。エージェントとは、端末上で自律的に動作し、端末間の移動が可能なアプリケーションであり、提案手法におけるエージェントは、シンクによって生成され、観測位置周辺の端末に配置される。端末の移動に伴い、エージェントは必要に応じて、より観測位置に近い別の端末に移動する。エージェントが、センシングを行っている端末上からセンサデータの送信を制御することにより、センサ端末の管理に必要なトラフィックは最小限に抑えられる。

本稿では文献 [3] で提案した手法の性能をシミュレーション実験によって評価し、その有効性を検証する。

以下では、2. で本研究の想定環境を示す。3. で文献 [3] で提案した手法について述べ、4. でシミュレーション実験の結果を示す。最後に 5. で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

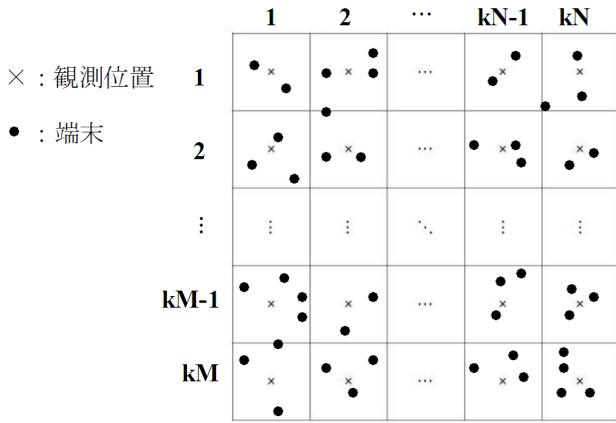


図 1 観測領域と観測位置

2. 想定環境

2.1 システム環境

本稿では、無線通信機能を備え、音や光などの物理現象の定期的な観測（センシング）を行う、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。端末が存在する領域では既存の通信基盤が利用できず、各端末は他の端末と無線マルチホップ通信を行う。シンクは固定されており、アプリケーションからの要求に基づいて、観測領域をある一定の地理的粒度で周期的（観測周期）に観測する。

対象とする観測領域は、縦横が $M : N$ の整数比となる 2 次元平面とし、アプリケーションは $k^2 \cdot M \cdot N (k = 1, 2, \dots)$ の整数値として観測粒度を指定する。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、各サブ領域の中心点 ($k^2 \times M \cdot N$ 個) をセンシング対象となる観測位置とする (図 1)。

ネットワークを構成する移動型センサ端末は、自由に移動し、各端末の無線通信範囲を r とする。各端末は GPS あるいはそれに類する測地装置を備えており、位置情報に基づくデータ転送 (2.2 節) を可能とする。また、領域内には多くの端末が存在し、領域内の任意の位置に対し、その位置をセンシング可能な端末が常に複数存在するものとする。

2.2 ジョルルーティング

端末は、ジョルルーティングプロトコルを用いて、目標位置までデータを転送する。本研究では、Heissenüttel らが文献 [4] において提案している手法をもとにした、ジョルルーティングプロトコルを、各端末が備えていることを想定する。

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現在位置の座標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の通信範囲 r 以内に存在する領域である。

転送エリア内にいる端末は、転送待ち時間を設け、転送待ち

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。転送待ち時間を、転送エリア内においてより目標位置に近い端末程小さい値をとるように設定することにより、転送エリア内において目標位置に最も近い端末が最初にパケットを転送する。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（観測位置）に最も近い端末を把握することができる。

3. 提案手法

文献 [3] の提案手法では、まずシンクによるエージェントのデータ生成、および配置を行う。具体的には、 $k^2 \cdot M \cdot N$ 個の観測位置を目標位置として、エージェントを起動するためのデータ（観測位置、観測周期などの情報。以降では、単にエージェントデータと呼ぶ）の転送を行う。エージェントデータは 3.1 節で説明するエージェントの配置方法に基づいて、観測位置に最も近い端末が受信し、エージェントを起動する。

観測周期に従い、エージェントは、自身が動作する端末がセンシングしたデータを、3.2 節で説明するデータの返信方法に基づいて、シンクへと返信する。また、エージェントは、自身が動作する端末が観測位置から離れてしまった場合、3.3 節で説明する方法に基づいて、観測位置に最も近い端末へと移動する。

3.1 エージェントの配置

エージェントの配置では、観測位置の地理的關係に基づく転送木を構築しながら、エージェントデータを送信することで、少ないトラヒックでエージェントを配置する。以下では、エージェントデータの転送におけるシンクと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、自身がいるサブ領域の観測位置へ、2.2 節の方法に基づいてエージェントデータを送信する。エージェントデータには、観測周期、観測粒度、シンクの位置の情報が含まれる。

(2) エージェントデータを受信した観測位置に最も近い端末は、エージェントを動作させる。起動したエージェントは、初期動作として、エージェントデータを隣接サブ領域の観測位置に再転送する。表 1 は、図 1 のグリッド状のサブ領域において、エージェントデータを転送する方向を表している。例えば、受信したエージェントデータの送信元がシンクの場合は上、下、左、右、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の場合は、上、下、右に転送する。領域端のサブ領域に存在する場合、観測位置の存在しない方向へは送信しない。手順 (2) へ戻る。

図 2 を用いて、シンクが観測位置にエージェントを配置する

エージェントデータの送信元の送信元	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

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．まず，シンクが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．動作を開始したエージェントは，隣接する 4 箇所のサブ領域の観測位置へエージェントデータを転送する．その後，シンクが位置するサブ領域の上，下，左，右のサブ領域においてエージェントが起動され，表 1 の規則に従ってエージェントデータの転送を行う．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．

3.2 データの返信

観測位置（付近）に配置されたエージェントは，観測周期に従って，自身が動作する端末がセンシングしたデータをシンクへ返信する．データの返信では，エージェントデータの転送経路（転送木）の逆向きにデータを送信し，データを集約しながらシンクへ返信することでトラヒックを削減する．以下では，センサデータ送信時における領域端のサブ領域に位置するエージェントとその他のエージェントの動作について述べる．

(1) 領域端のサブ領域に位置するエージェントは，指定された観測周期ごとに，センサデータを，エージェントデータの転送元のサブ領域の観測位置に向けて送信する．基本的には，2.2 節の方法に基づいてセンサデータが送信されるが，観測位置から $r/2$ 以内の端末が転送したデータは，観測位置に最も近い端末ではなく，エージェントが動作する端末が受信し，他の端末は破棄する．ここで，各エージェントは，3.3 節で説明するエージェントの移動により，自身が担当する観測位置からの距離が $r/2$ 以内の端末上で動作しているため，必ずこのセンサデータを受信できる．

(2) 領域端およびシンクが存在するサブ領域以外のサブ領域に位置するエージェントは，自身がエージェントデータを転送したすべてのサブ領域のエージェントからのセンサデータを受信した場合，自身のセンサデータと受信したセンサデータを集約し，エージェントデータの転送元サブ領域の観測位置に向けて送信する．手順 (2) に戻る．

(3) シンクが存在するサブ領域に位置するエージェントは，センサデータをシンクに送信する．

データの返信では，各エージェントが，隣接サブ領域のエージェントから受信したセンサデータと自身のセンサデータを集約することにより，トラヒックを削減できる．

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，エージェントはセンシング可能な領域を離脱する

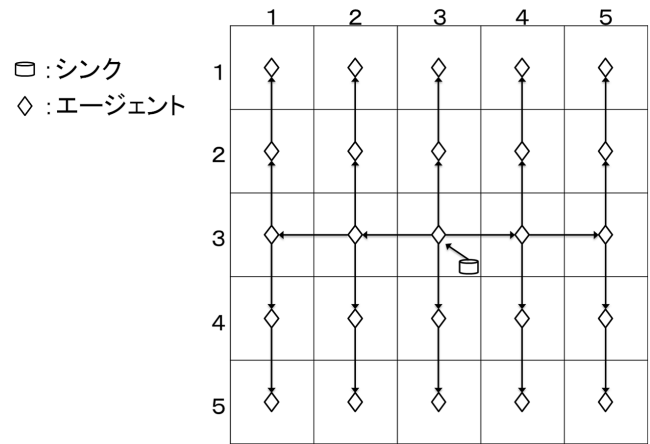


図 2 エージェントの配置の例

前に，観測位置に最も近い端末へ移動する．

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 α より大きくなったら移動を開始する．ここで， α 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 $r/2$ ，および端末のセンシングカバレッジの半径以下の値とする．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，自身のエージェントデータを複製したパケットを作成し，このパケットをブロードキャストする．パケットを受信した端末のうち，2.2 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，同じ ACK の送信を中止する．元のエージェントは，ACK を検知することにより，自身よりも観測位置に近い端末がパケットを受信したことを確認し，動作を終了する．

4. 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 [5] を用いた．

4.1 シミュレーション環境

$1000[m] \times 1000[m]$ の 2 次元平面上に 1 台のシンク (S_1) および n 台の端末 (M_1, \dots, M_n) が存在する．シンクは，領域左端から $580[m]$ ，領域下端から $580[m]$ の座標に静止している．各端末はランダムウォークモデル [2] 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 $1000/\sqrt{G}[m] \times 1000/\sqrt{G}[m]$ の粒度で領域を 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，端末がセンシングしたデータを収集する．

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．配置されたエージェントは，観測周期 T [秒] が経過する毎に，観測位置をセンシングしたデータをシンクへ返信する．また，エージェントは，

表 2 パラメータ設定

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	2000 (1000 ~ 3000)
D	センシングデータサイズ [B]	32 (24 ~ 96)

表 3 メッセージサイズ

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

自身の動作する端末が観測位置から 47[m] 以上離れた場合、観測位置に最も近い端末へと移動する。

提案手法の比較対象として、シンクが観測周期毎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、シンクはシミュレーション開始から 400[秒] が経過した時点から、 T [秒] が経過するごとに、2.2 節の方法に基づいて各観測位置へ個別にデータ要求メッセージを送信する。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 (0.3[秒]) で順番に送信する。各サブ領域において、データ要求メッセージを受信した観測位置に最も近い端末は、自身がセンシングしたデータを、2.2 節の方法に基づいてシンクへ返信する。

本実験では、エージェントデータを 128[B] (エージェントのプログラムは各端末が事前に所持していると想定) とした。

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、サブ領域毎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、4000[秒] を経過させたときの以下の評価値を調べた。

- 取得精度: 各観測周期において、すべての観測位置のセンシング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 (観測回数) に対する割合とする。
 - 取得待ち時間: 各観測周期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 64[B] (ヘッダ分) を加えた値を Mac 層におけるトラヒックとする。

4.2 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 3 に示す。この図において、グラフの横軸は観測周期 T を表している。縦軸は、図 3 (a) では取得精度、図 3 (b) では取得待ち時間、図 3 (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 3 (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 3 (a) より、提案手法、比較手法とも取得精度が高いことがわかる。どちらの手法においても取得精度が 1 にならないのは、パケット衝突によりジオールーティングが失敗することがあるためである。また、提案手法では、エージェントの移動中に返信メッセージが到着した場合にもデータ取得が失敗することがある。例えば、エージェントの移動先端末が移動メッセージの ACK を送信する前、移動元端末が移動メッセージの ACK を受信した後に、それぞれが返信メッセージを受信した場合、どちらの端末もエージェントが動作していない状態であるため、返信メッセージの受信に失敗する。この影響により、提案手法において取得精度が若干低くなる。

図 3 (b) より、提案手法は比較手法と比べて短い時間でデータ取得できていることがわかる。これは、提案手法では、転送木を利用して、同時並列的にデータを返信することができるが、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毎に待ち時間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。

図 3 (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わかる。これは、比較手法が観測周期毎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、データ返信のパケット数が少ない。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パケットが占める割合が大きくなるため、提案手法と比較手法のパケット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パケット数が、それぞれ観測周期に関わらず一定であることがわかる。エージェントの配置で発生するパケット数は観測粒度、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パケット数はデータ収集の継続時間、端末の移動速度、および α によって決まる。そのため、これらのパケット数は、観測周期の影響を受けない。

図 3 (d) より、提案手法は比較手法よりもトラヒックが小さいことがわかる。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パケット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

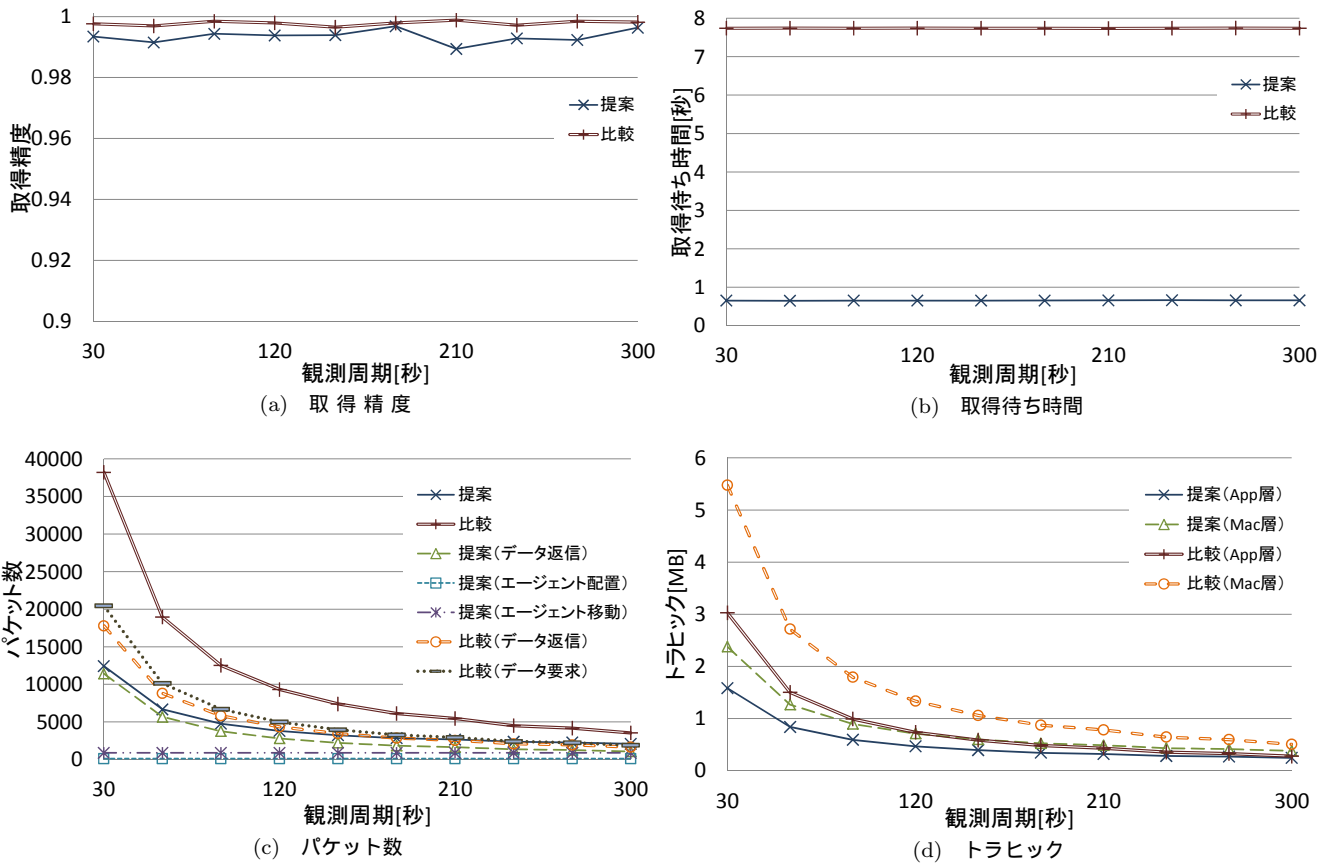


図3 観測周期の影響

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、パケットにおけるヘッダの占める割合が大きいため、提案手法のパケット数削減の効果がより大きいためである。

4.3 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4に示す。この図において、グラフの横軸はサブ領域数 G を表している。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)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層でのトラフィックを表す。

図4(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ことわかる。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、パケット衝突が発生しやすくなるためである。また、提案手法では、より多くのエージェントを配置するため、4.2節で述べたエージェントの移動に伴うデータの取得失敗が生じやすくなる。

図4(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ことわかる。これは、要求メッセージを送信する毎に設ける待ち時間が必要なためである（つまり、すべてのサブ領域に転送するまで、 $0.3 \times (G - 1)$ [秒] 必要となる。）

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わかる。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4(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パケット数が増加することがわかる。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パケット数が少ないことがわかる。

図4(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わかる。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わかる。

4.4 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5に示す。この図において、グラフの横軸は端末数 n を表している。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パケット数およびその内訳、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、比較手法ともに端末数が少ないときに取得精度が低くなることわかる。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不在となる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 α 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

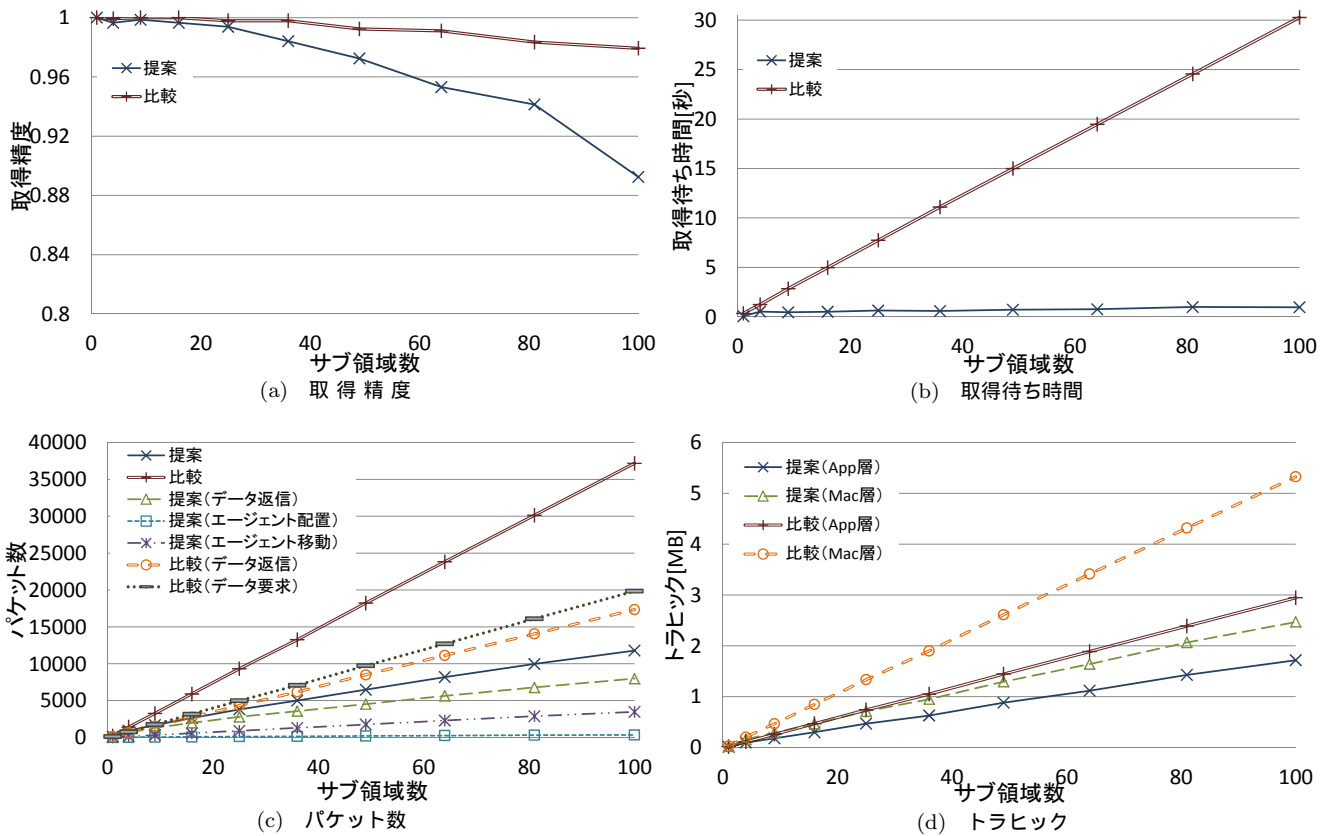


図 4 観測粒度の影響

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 5 (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わかる。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 5 (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わかる。ここで、提案手法において、端末数が 1000 台の時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 5 (d) より、提案手法、比較手法ともに端末数に関わらずトラフィックがほぼ一定であることがわかる。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。

4.5 センシングデータサイズの影響

センシングデータサイズ D 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、グラフの横軸はセンシングデータサイズ D を表している。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、比較手法ともにセンシングデータサイズに関わらず取得精度が高いことがわかる。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、センシングデータサイズが十分に小さいため、パケットロスはほとんど発生せず、取得精度は低下していない（本稿では、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 6 (b) より、すべてのセンシング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わかる。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 6 (c) より、すべてのセンシングデータサイズにおいて、提案手法は比較手法よりパケット数が少ないことがわかる。また、センシングデータサイズに関わらずパケット数がほぼ一定であることから、パケットロスが発生していないことがわかる。

図 6 (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わかる。これは、比較手法では観測位置からシンクヘデータを直接返信（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、センシング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

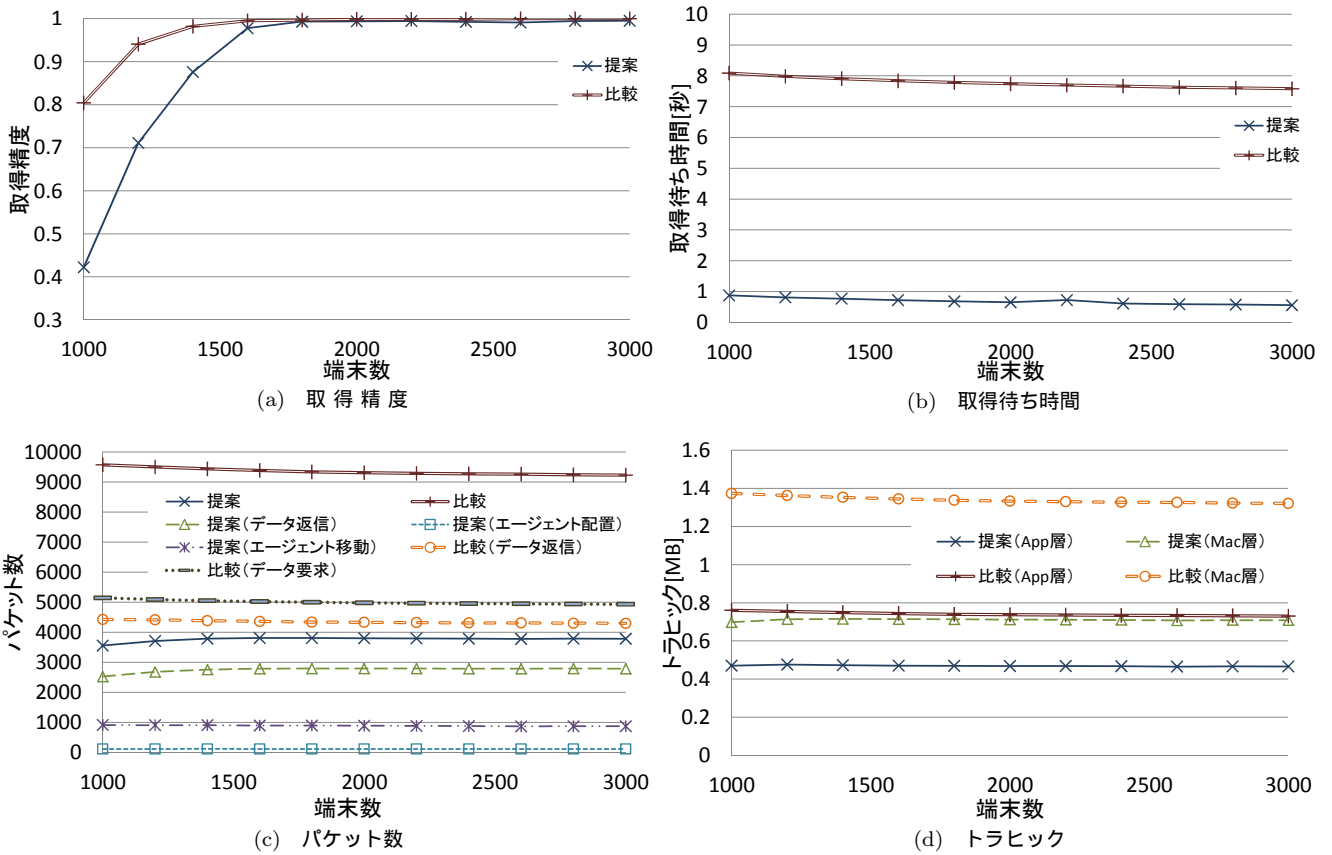


図 5 端末数の影響

増加する．そのため，センシングデータサイズが 240[B] の時に，提案手法の Mac 層でのトラフィックは比較手法より大きくなる．

5. おわりに

本稿では，著者らがこれまでに提案した，密なモバイル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シミュレーション実験によって評価した．

シミュレーション実験の結果から，提案手法は転送木を利用して，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．

本稿では，簡単化のため，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，端末の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．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，文部科学省科学研究費補助金・基盤研究 S(21220002)，特定領域研究(18049050)，および総務省委託研究「ユビキタスサービスプラットフォーム技術の研究開発」の研究助成によるものである．ここに記して謝意を表す．

文 献

- [1] M. Abolhasan, T. Wysocki, and E. Dutkiewicz "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks", *Ad Hoc Networks* 2(1), pp. 1-22 2004.
- [2] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies "A survey of mobility models for ad hoc network research", *Wireless Communications and Mobile Computing* 2(5), pp. 483-502 2002.
- [3] 後藤啓介, 佐々木勇和, 原 隆浩, 西尾章治郎 "密なモバイル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", 情報処理学会関西支部 支部大会, 2010.
- [4] M. Heissenbüttel, T. Braun, T. Bernoulli, and M. Wälchli "BLR: beacon-less routing algorithm for mobile ad hoc networks", *Computer Communications* 27(11), pp. 1076-1086 2004.
- [5] Scenargie Base Simulator, Space-Time Engineering, <http://www.spacetime-eng.com>
- [6] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal "Wireless sensor network survey", *Computer Networks* 52(12), pp. 2292-2330 2008.

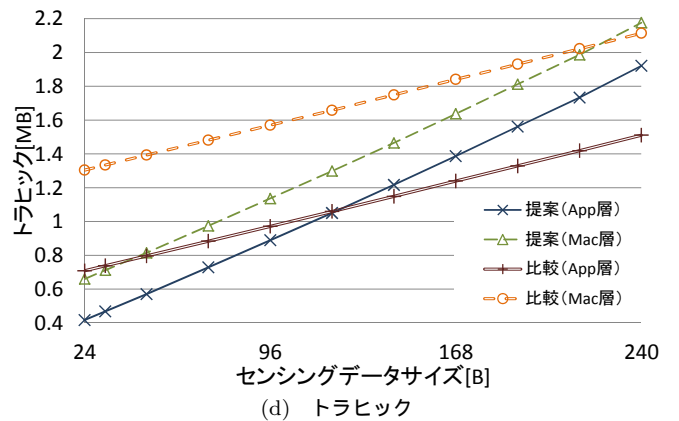
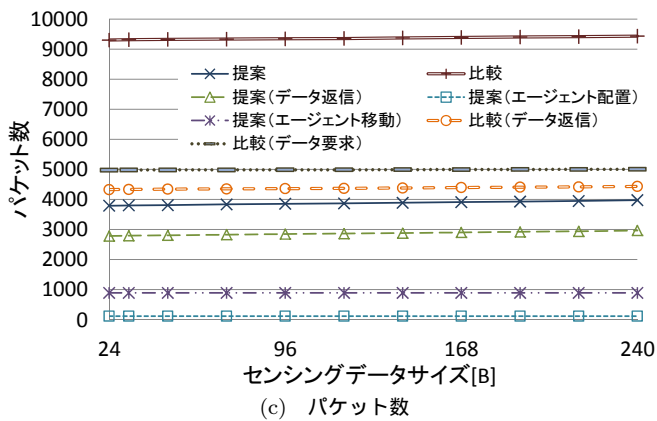
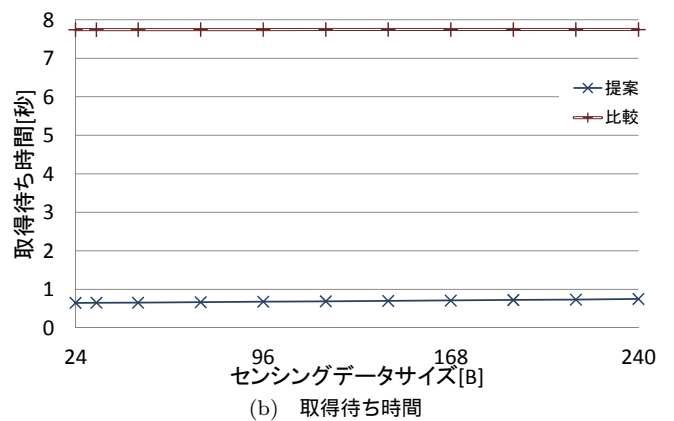
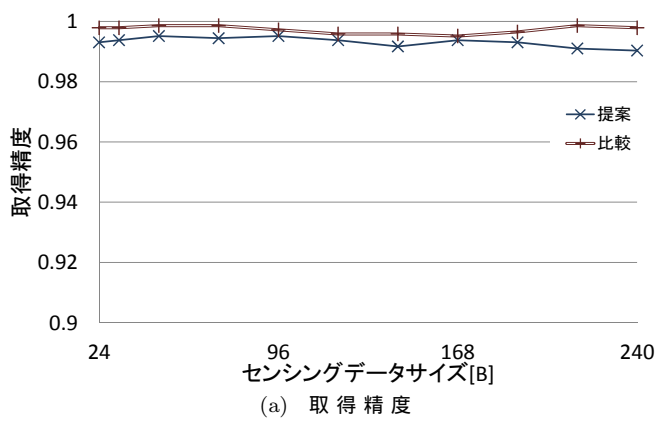


図 6 センシングデータサイズの影響