

高密度センサーネットワークにおける中継ノードの 選出方法の評価

牛島 準一 沖野 正宗 加藤 聰彦 伊藤 秀一

電気通信大学 〒182-8585 調布市調布ヶ丘 1-5-1

E-mail: {ushijima, msmn, kato, itoh}@net.is.uec.ac.jp

あらまし 無線センサーネットワークの構築においてはセンサーの高密度な分布が考慮すべき問題となる。すなわち、無線伝播範囲内に多数のセンサーが配置されると、メッセージやデータのフラッディングにおいて無駄なトラフィックが増大してしまう。そこで筆者らは、フラッディングやデータ中継を効率的に行うため、ルーチング制御メッセージやデータパケットを中継するノードとして働くランドマークノードを効率的に選出する方式について提案してきた。本稿では、筆者らの提案する方式と、高密度なアドホックネットワークのためのルーチングプロトコルである OLSR について、性能評価を行い比較した結果について示す。具体的には、シミュレーションにより、高密度なネットワーク環境において、中継ノードとして選出されるノード数やルーチングのためのフラッディングメッセージ数の評価を行う。その結果、OLSR に比べて提案する方式がこれらを大幅に減少できることを示す。

キーワード センサーネットワーク、高密度、アドホックネットワーク、ランドマークノード

Evaluation of Selection of Relaying Nodes in High Density Sensor Network Environment

Junichi USHIJIMA Masamune OKINO Toshihiko KATO Shuichi ITOH

Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications

1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182-8585 Japan

E-mail: {ushijima, msmn, kato, itoh}@net.is.uec.ac.jp

Abstract In order to construct wireless sensor networks, the high density distribution of sensors is one of the major issues to be considered. That is, it is possible that many sensors within the radio propagation range increase redundant traffic in the message flooding and data packet relaying. For the purpose of effective flooding and data relaying, we have been proposing a procedure to select landmark nodes which work as relaying nodes for routing control messages and data packets. This paper describes the performance evaluation our scheme with the comparison to OLSR, which is being standardized in IETF for high density ad hoc networks. We use software simulation and evaluate the number of selected relaying nodes and the number of flooded messages for routing information exchange. The results show that our scheme can reduce both of them compared with OLSR.

Keyword Sensor Network, High Density Network, Ad hoc Network, Landmark Node

1. はじめに

近年の無線通信技術や低電力 CPU 技術などの発展に伴い、センサーネットワークの実用化への期待が高まっている。センサーネットワークは、無線通信を行うセンサーをいたるところに散布もしくは設置し、それらのセンサー同士が無線で通信しながらネットワークを形成する。そして、そのネットワークを通じてセンサーが取得・計測する環境情報、ユーザやモノの状

況・属性・識別情報などの情報を管理することで、建物や機器の管理・制御、環境の監視、防犯、自然災害対策、交通制御、遠隔医療や介護への活用などが考えられている。近年センサーネットワークが注目されている背景には、有線ネットワークを構築して情報を収集・管理しようとした場合、ネットワークの管理の作業量やコストの問題から扱うことが困難だったような情報をより容易に扱えるようにできるためである。これ

らのネットワークの構築を考えた場合、コストを抑えかつ容易で自律分散的な無線ネットワークを構築する点からアドホックネットワークの技術[1]を適応することが有用であると思われる。これによりセンサーが相互に連携しマルチホップ通信を行い、データの収集やネットワーク全体にわたる制御が可能となる。ただしその場合、一般的にセンサーの数が増加し、各センサーの無線伝播範囲に多数のセンサーが存在するような高密度なセンサーネットワークとなることを考慮する必要がある。

本研究では、センサーに IEEE802.11 の無線インタフェースを搭載することで、各種情報を遠隔で計測するセンサーネットワークを対象とする。例えば、各家庭の電気やガスメータに通信を行うセンサー（以下ノードと呼ぶ）を搭載させることでそれらの情報を計測できるようなネットワークなどがその例である。この場合、住宅街などの家屋が密集するような場所では、あるノードの無線伝播範囲内には百軒以上の建物が存在することも考えられ、マルチホップ通信を行うためには、その中からなるべく離れたノードにデータを中継させることが望ましい。また、制御メッセージなどのフラッディングを行う場合、すべてのノードが中継に参加してしまうことは無駄なメッセージの送信や中継が発生してしまう。

そこで上記のような課題を解決するため、無線伝播範囲内に複数のノードが存在するような高密度な環境において、データ中継を行う代表ノードを決定し、データ中継はその代表ノードのみを通して行う方法が有効であると考えられる。そこで筆者らは、隣接ノード情報を定期的に交換することにより、2 ホップ先までのノード情報に基づき中継を行うノード（以下ランドマークノ）を選出する方法を提案している[2]。

本稿では、筆者らの提案するランドマークの選出手順をソフトウェアシミュレーションにより評価を行った結果を示す。評価においては、IETF において高密度なアドホックネットワークを想定して標準化されている OLSR (Optimized Link State Routing) [3]との比較を行い、選出された中継を行うノードの数やルーチングのための制御情報の転送オーバーヘッドなどを計測する。以下本稿では、2 章で関連する既存研究、3 章で提案手法、4 章で計算機シミュレーションによる評価について述べる。最後に、5 章で結論を示す。

2. 関連研究

2.1. 関連する研究の動向

高密度なネットワーク環境における効率的なデータ中継を行うアドホックネットワーク技術について、さまざまな研究が報告されている。これらは2つに大別される。一つはネットワーク上の多数のノードをクラスタと呼ばれる部分に分割するクラスタリングに関する研究で、階層的にノードを管理することで効率の良い通信を行う方法である。もう一つは、あるノードの無線伝播範囲内に複数のノードが存在するような場合に、さまざまな情報を基に適切な中継ノードを選択することで無駄なデータ中継やなどが生じないようにするルーチング手法に関する研究である。

まずクラスタリングにおいては、クラスタとはノードの集合で、ネットワークの分割された部分的な集合であるクラスタを管理するクラスタヘッドと、そのノードに管理されるクラスタメンバから構成される。ネットワーク上の全てのノードがいずれかのクラスタに属するようにクラスタが決定される。そうすることで、周波数等の資源を効率よく割り当てて通信を行うことができるようになる。また、それぞれのクラスタに違ったサブネットを割り当てるなどを行うことで、ルーチング情報の管理が容易になることが期待される。例えば、[4]では、1 ホップ以上離れたノード間で識別子を交換し、その大小により一定ホップ数ごとに代表ノードが選ばれ、クラスタが決定される。[5]では、全てのノードが GPS 情報を使用し、自分の位置情報と代表ノードになるべき位置情報からクラスタが決定されている。また[6]では、それぞれのノードは自分の隣接ノード数、位置情報、移動速度、それまでクラスタヘッドとして動作した時間から重みを計算し、それを周りのノードと交換することでクラスタを決定している。しかしながら、このようなクラスタリングにおいては、クラスタヘッド同士が必ずしも直接通信できるとは限らず、別途ルーチングプロトコルを定める必要がある。

次に、アドホックルーチングプロトコルに関して、無線伝播範囲内に複数のノードが存在するような場合に、ルーチングのための制御メッセージのフラッディングやデータ中継のオーバーヘッドを削減させる検討が行われている。例えば、[7]では、確率的な判断を用いることで中継するノードを決定している。[8]ではオンデマンド型である AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) ルーチングプロトコル[9]を拡張して、最小のノードにより RREQ のフラッディングを行

っている。リンクステート型である OLSR [9]では、MPR (Multi Point Relay) を利用してフラッドイングオーバーヘッドを削減している。OLSR では、各種情報を計測するにあたり、通信までの時間も少なく、また効率的なフラッドイングを行うことを特徴としている。

2.2. OLSR の概要

OLSR では、各ノードが定期的に送信する Hello メッセージにより自分の隣接ノードを知り、またそれを含めて送信することで、それぞれのノードが自分の 2 ホップ先までの隣接ノード集合を知る。フラッドイングオーバーヘッドを削減する MPR の決定は、この 2 ホップ先までの情報を基にそれぞれのノードが自分の周りに隣接ノードの中から MPR を選出するという方式をとっており、2 ホップ先の隣接ノードへは MPR を通して 2 ホップで転送できるようにしている。全てのノードが同等に MPR となる場合の MPR 選出手順の概略は以下ようになる。あるノード S が自分の MPR を選手する場合、まず S の隣接ノードの中からそのノードを通してのみ 2 ホップ隣接ノードと 2 ホップで通信できるようなノードを MPR とする。次に、まだ MPR に隣接していない 2 ホップ隣接ノードと一番多く隣接する S の隣接ノードを MPR に選出する。選ばれた MPR にとって S が MPR セレクタとなり、S が制御メッセージなどをフラッドイングする際はその MPR のみが転送を行い、さらにその MPR が選んだ MPR のみによってさらに転送が繰り返されることでネットワーク全体にフラッドイングされる。ユニキャスト通信の経路は、MPR と MPR セレクタの間のリンクのみを TC (Topology Control)メッセージという制御メッセージに含めて MPR がネットワークにフラッドイングする。これによりルーティング情報が構築されるので、すべてのノード間のリンク情報がネットワーク中に流されることはなく、リンク情報の削減が図られている。

このように MPR により高密度なネットワーク環境に対応しているが、それでもネットワーク全体の MPR の数が増加するという問題がある。その原因は、ノードそれぞれが MPR を選出しているが、他のノードが選んだ MPR を考慮していないという点にある。また、無線伝播範囲の境界に多数のノードが存在する場合も考えられるため、2 ホップ隣接ノードへは必ず 2 ホップで通信できるような選出では、どうしても選出されるノードが増えてしまう。

3. 提案手法

筆者らは、以下のような高密度センサーネットワークを想定し、ランドマークノードを用いたデータ通信方式を検討している[2]。

センサーネットワークの特徴から、それぞれのノードが計測したデータを管理するノードの存在が考えられる。そのようなデータ管理はセンサーネットワークを運用管理するセンターで行われるため、センサーネットワークが無線ネットワークである場合でも、そのうちのいくつかのノードが有線ネットワークに接続されていると仮定する。まず、それらのノードをランドマークとして選び (固定ランドマークと呼ぶ)、このノードからランドマーク選出を開始し、選ばれたランドマークがさらに周りにランドマークを選出するということを繰り返していくことで、ネットワーク全体にランドマークを選出することとした。全てのノードがランドマークに隣接するように選出されるため、ランドマークではないノードのデータはランドマークのみのマルチホップ通信によって宛先まで運ばれ、フラッドイングされるような制御メッセージもランドマークのみが転送する。

データ転送のためのノードの選出において、ネットワーク中の全てのノードが最短経路で通信できる最小の数の中継ノードを決定することは NP 完全問題とされている。そこで、本手法では隣接ノード情報の交換のみにより、2 ホップ先までのリンク情報を基に局所的にランドマークを選出していく。このとき、選ばれるランドマークの数を減らすため、ランドマークから 2 ホップ先のノードへは 1 つまたは 2 つのランドマーク経由、つまり 3 ホップ以内で通信できるようにする。この概要を、図 1 に示したノード S の 2 ホップ隣接ノードに着目した例を用いて説明する。図 1(a)では、S が L2 からランドマークとして選出され、S が自分の周りのランドマークを選出しようとしている状態を示している。このとき、すでにランドマークである L1 と S は隣接していないが、塗りつぶしてある L1 の隣接ノード部分へは L2、L1 を経由して 3 ホップで通信可能である。また、L2 の隣接ノード部分へも通信できる。そこで、それら部分はカバーされているものと考え、まだカバーできていない 2 ホップ隣接ノードの一定の割合 (2 ホップカバー率と呼ぶ) 以上をカバーするようにランドマークを選出する (図 1(b))。まだ S からランドマーク経由で到達可能でない 2 ホップ隣接ノードが残っているが、今度は S1、S2 がその周りに

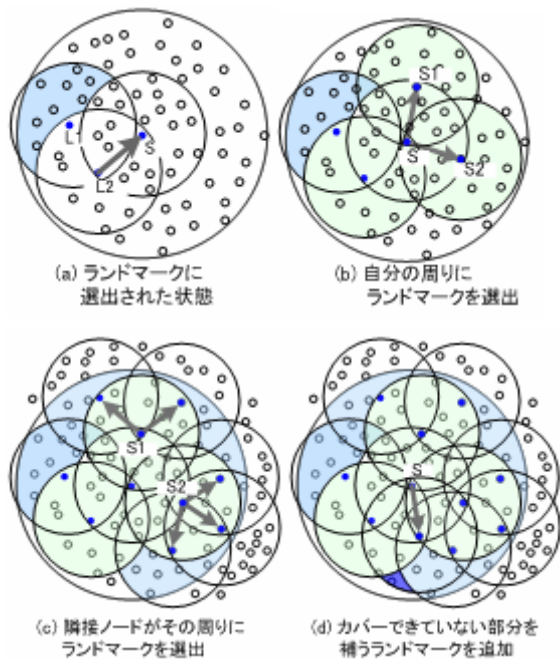


図1 ランドマーク選出手順の概要

ランドマークを選出する (図 1(c))。結果的に、この残りの大部分へは S から 3 ホップで通信できるようになる。しかし、どうしてもカバーされない S の 2 ホップ隣接ノードが存在するときは、S が再びランドマークを追加する (図 1(d))。これらの手順は、隣接情報を含めた Hello メッセージによって構築される 2 ホップ先までの情報に基づいて行われる。ただし、図 1(a)で S は L1 の隣接ノード情報を受信できないため、L1 の隣接ノードへその情報を問い合わせることとする。

このようなデータ中継を保証するノードは、ネットワーク中のルーチング情報を知ることで最短経路などにより有効なデータ中継を行う。従って、これらのノードの増加はネットワーク中で定期的に変換されるルーチング情報を伝達させる制御メッセージの増加となる。しかし、提案手法では OLSR のノード単位の MPR の選出と異なり、データ中継を保証するようにネットワーク全体を考慮してランドマークを選出している。このため、ランドマークが配下のノードのサブネットアドレスを決定することも可能となる。この場合、宛先への通信はサブネットアドレスを基に行われるため、それぞれのランドマークはサブネットアドレスをネットワークにフラッドングすることでルーチング情報を構築することが可能となる。

4. 評価

提案手法の性能をシミュレーションにより評価し、

OLSR と比較した。まず始めに、さまざまなノード配置においてどのようにランドマークノードが選出されるかを示す。次に、選ばれた中継ノード (ランドマークまたは MPR) の数や制御メッセージの数について、OLSR との比較評価を行った。この章ではこれらの結果について記す。

4.1. シミュレーションモデル

筆者らの提案した手法をネットワークシミュレータ ns2[10]に実装し、使用するメッセージの交換や隣接情報の作成、更新に基づいてランドマーク選出のシミュレーションを行った。

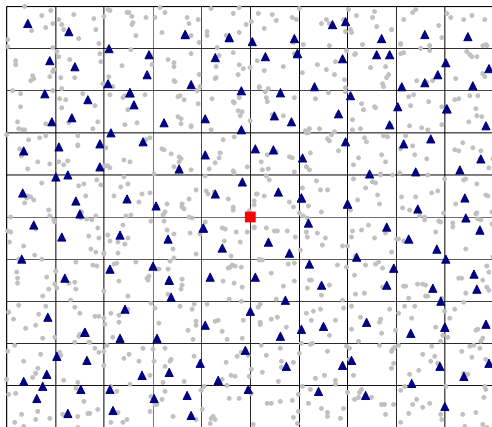
以下に、シミュレーション環境を示す。

- 1000m × 1000m の領域にノードを配置
- 全てのノードは、いずれかのノードを通して全てのノードと通信可能な位置に配置
 - 配置(a) : 均質なノードの配置
 - 配置(b) : ノードが存在しないエリアが存在する配置
 - 配置(c) : ノードの分布に偏りがある配置
 - 配置(d) : ノードの存在するエリアが極めて限られている配置
- ノード数は、200、500、1000、2000 ノード
- メディアアクセス方式は IEEE802.11 に準拠
- 伝送速度は 11Mbps
- 無線伝播距離は 100m
- 提案手法において、1 つまたは 2 つのノードを固定ランドマークとしてあらかじめ決定しておいた。その位置は、固定ランドマーク 1 つの場合は(500, 500)または(1000, 500)、2 つの場合は(250, 500)と(750, 500)に配置
- 提案手法の 2 ホップカバー率は 50%~95%
- OLSR では willingness の値は全てデフォルト値

4.2. 提案手法の選出結果

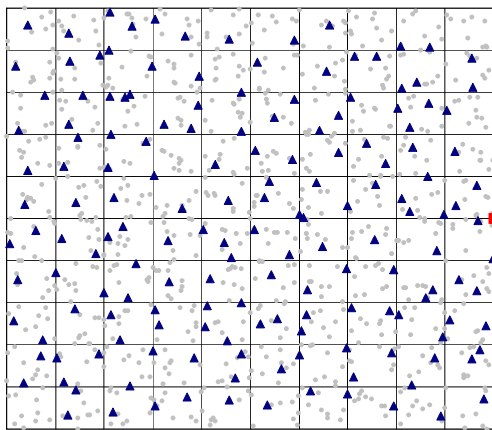
図 2 に、配置(a)による 1000 ノードの場合に、固定ランドマーク 1 つを(500, 500)の位置から 2 ホップカバー率 90%でランドマーク選出を開始した場合の結果を例として示している。この図では、分かりやすくするために無線伝播距離と同じ 100m 間隔に、格子状に線を引いている。この結果より、以下のことが確認できた。

- 提案手法に基づいた隣接メッセージの交換により、フィールド全体にランドマークを選出できる



・ノード ▲ 選出されたランドマーク ■ 固定ランドマーク

図2 配置(a)でのランドマーク選出例1



・ノード ▲ 選出されたランドマーク ■ 固定ランドマーク

図3 配置(a)でのランドマーク選出例2

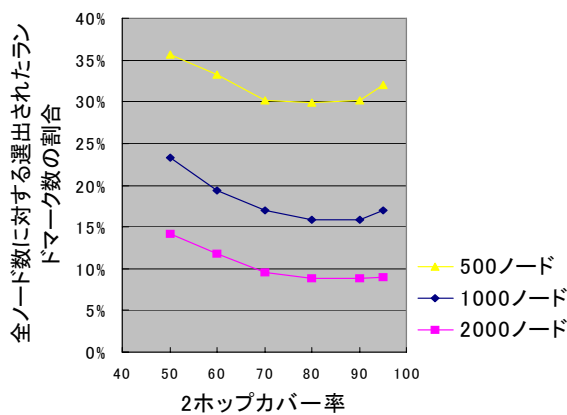


図4 ネットワークのノード数に対する選出されるランドマーク数の割合

- ・ シミュレーション結果データより、全てのノードがいずれかのランドマークに隣接していて、隣接

するランドマーク経由で他の全てのノードと通信可能である

この例では、全体のノード数が 1000 ノードであるのに対して、選出されたランドマーク数は 152 ノードであった。つまり全体の 15% 程度のノードで、すべてのノード間のデータ転送を保証するランドマークを形成できることになる。同じノード配置で固定ランドマークが端(1000, 500)からランドマーク選出を開始した場合の選出例を図 3 に示している。このような均等な配置の 1000 ノードの位置を 10 回変化させ、2 つの固定ランドマークの位置においてランドマーク選出数の平均をとった。中央に置いた場合の平均は 158 ノードとなり、端に置いた場合は 154 ノードとなった。この結果から、固定ランドマークの位置が違った場合でも、選出されるランドマークの数はそれほど変化しないことが分かる。つまり、選出手順を開始する固定ランドマークの位置を気にすることなくランドマークを選出できる。

次にネットワーク中のノード数に対する選出されるランドマーク数の割合を計算した。ノード数を 500 ノードから 2000 ノードまで変化させ、2 ホップカバー率を 50% から 95% まで変化させてランドマーク選出のシミュレーションを行った。それぞれにおいて、均質で異なる 10 回の配置でのシミュレーション結果の平均を計算した結果を図 4 に示している。この図から、2 ホップカバー率は 90% 程の場合が選出されるランドマーク数の全ノードに対する割合が一番小さくなることが分かる。また、ノード数が多い場合、つまり高密度になるほど選出されるランドマークの割合が少なくなっている。これは、ネットワーク中のノードの数が増えても選ばれるランドマークの数がそれほど増えないためである。

さらに、図 2 に使用したノード配置において 2 ホップカバー率を 90% として、固定ランドマーク 2 つから同時にランドマーク選出を開始するシミュレーションを行った結果を図 5 に示している。同様の評価を 10 回行ったが、選出されたランドマーク数の平均は 155 ノードとなり、固定ランドマーク 1 つからの場合と比べてほとんど変化はなかった。図 5 の結果から、複数の固定ランドマークから選出を開始した場合でも、それぞれの固定ランドマークから選ばれたランドマークは、既にランドマークが選出されている部分に侵食することなくその境界付近でランドマーク選出を終了できていることが分かる。

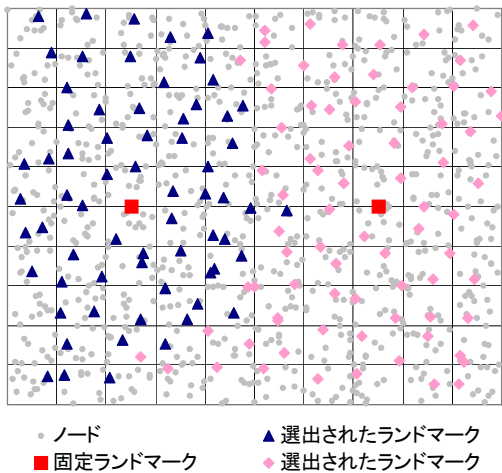


図5 2つの固定ランドマークからの選出例

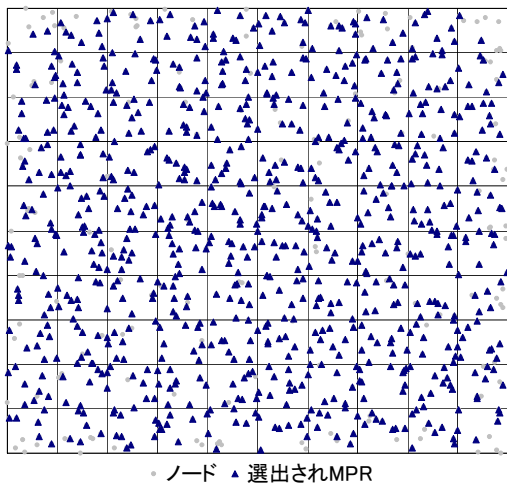


図6 配置(a)でのMPR選出例

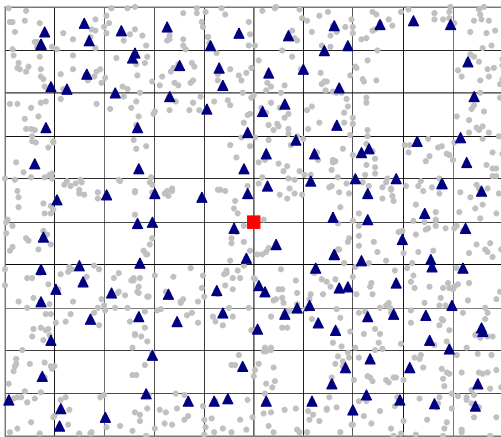
4.3. OLSR との比較

まず、図2と同じノード配置（配置(a)）において、OLSRでMPRがどのように選出されるかについてのシミュレーション結果を図6に示している。選出されたMPRノード数は840であり、図からも分かるように大部分のノードが選ばれてしまっている。さらに、さまざまなノード配置において提案手法のランドマークとOLSRのMPRの選出例を図7から図12に示している。ネットワーク中のノード数は配置(b)と配置(c)が1000ノード、配置(d)が200ノードである。全ての場合において、ランドマークとMPRは共にネットワーク全体に選出され、全てのノードがそれらを通して通信できるようになっている。これらの配置に加え、配置(a)でノード数500、1000、2000ノードのそれぞれで10回シミュレーションを行い、選出されたラン

ドマークとMPRの数の平均を表1に示している。ランドマーク選出の2ホップカバー率は90%とした。提案手法ではOLSRと比較しても十分少ない数のノードがランドマークとして選出されていることが確認できた。MPRが全体の8割、または配置(d)では5割も選ばれている原因としては、2章で示したMPR選出の特徴が原因となっている。それに対して、提案手法では3章で示した手法により、選出ノード数を抑えることを可能としている。また、配置(a)の結果から、ネットワーク中のノード数の増加に対してもほとんど影響せず、ランドマークが選出されていると言える。

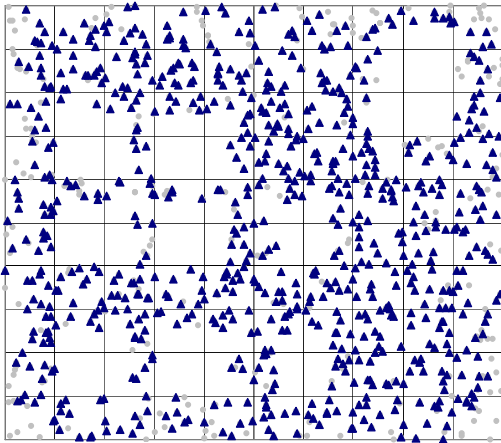
提案手法はOLSRと比較してこれまで示したような利点がある。しかし、それは2ホップ隣接ノードへの通信がランドマークを通した3ホップの通信となることを許可しているからである。一方で、OLSRは2ホップの隣接ノードへはMPRを通して2ホップで通信可能にしている。そこで、ネットワーク中の全てのノードの通信において、ランドマークを用いる場合とMPRを用いる場合のホップ数の差の検討を行った。例として図2と図6に示したシミュレーションの通信ホップ数を比較した結果を図13に示している。図の横軸はMPRを経由して通信可能なホップ数を示しており、縦軸は横軸が示す通信ペアにおいてランドマーク経由で可能なホップ数の差の分布を示している。例えば、横軸が4ホップの部分には51%がOLSRと同じ4ホップで通信でき、46%が5ホップ(+1ホップ)での通信となり、4%が6ホップ(+1ホップ)での通信となっている。この結果から、OLSRと比較して、1ホップから3ホップの余分な通信で通信可能であることが分かる。しかしながら、実際にはほとんどの場合1ホップの余分な通信で十分であり、提案手法を用いても最短経路とほぼ遜色ない通信が可能であると思われる。

最後に、ルーティングのための制御メッセージについて比較を行った。OLSRではTCメッセージを広告させ、提案手法では3章で示した想定に基づきそれぞれのランドマークがリンク情報としてそれぞれのサブネットワークアドレスをフラッドングすることとした。シミュレーション環境として、配置(a)でノード数を500、1000、2000ノードにおいて10回行ったシミュレーションの平均をとった結果を表2、表3に示している。これらの表は両手法の中継ノードが送信、中継したメッセージの総数とその総データ量を示している。これらの結果から、提案手法では、ネットワーク中のノードの増加に対して、フラッドングされるメッセージ数もそれほど増加しないと言える。これに対して



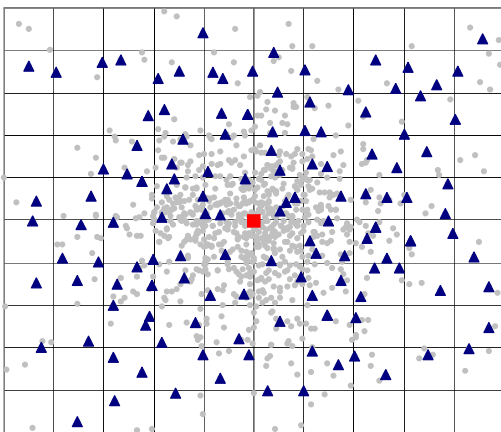
● ノード ▲ 選出されたランドマーク ■ 固定ランドマーク

図 7 配置(b)でのランドマーク選出例



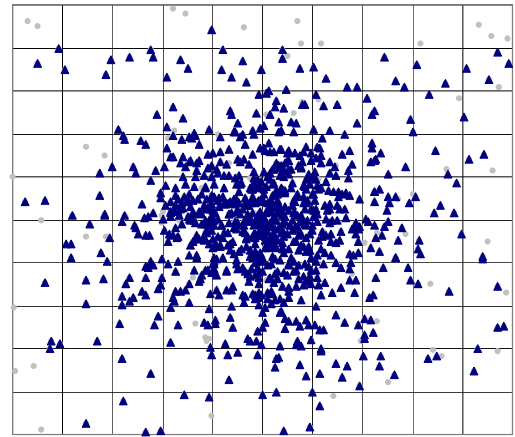
● ノード ▲ 選出されたMPR ■ 固定ランドマーク

図 8 配置(b)での MPR 選出例



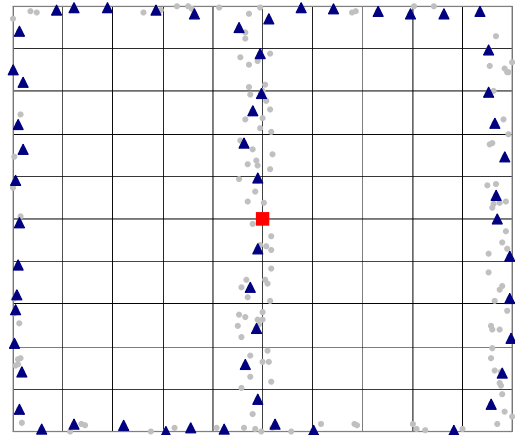
● ノード ▲ 選出されたランドマーク ■ 固定ランドマーク

図 9 配置(c)でのランドマーク選出例



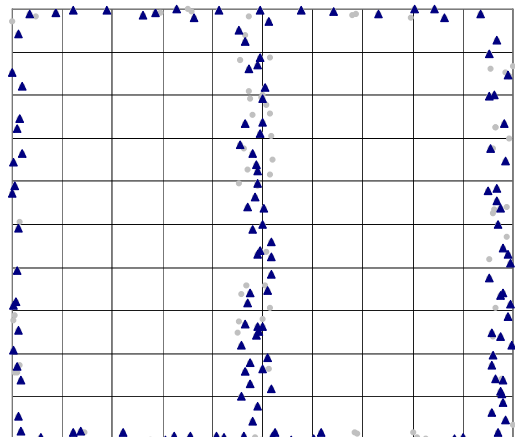
● ノード ▲ 選出されたMPR ■ 固定ランドマーク

図 10 配置(c)での MPR 選出例



● ノード ▲ 選出されたランドマーク ■ 固定ランドマーク

図 11 配置(d)でのランドマーク選出例



● ノード ▲ 選出されたMPR ■ 固定ランドマーク

図 12 配置(d)での MPR 選出例

OLSR ではメッセージ数が大幅に増加していることがわかる。また、サブネットアドレスによるアドレシ

ングを利用することで、OLSR に比べて、制御メッセージのデータ量も大幅に抑制できることが確認できた。

表 1 選出されたランドマークと MPR の平均

		提案手法	OLSR
配置 (a)	ノード数 : 500	151	410
	ノード数 : 1000	158	843
	ノード数 : 2000	175	1733
配置 (b)	ノード数 : 1000	139	780
配置 (c)	ノード数 : 1000	129	910
配置 (d)	ノード数 : 200	54	117

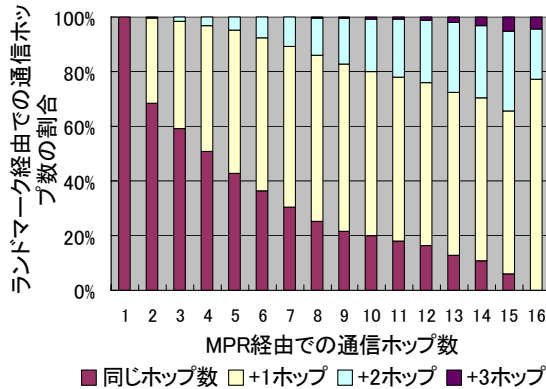


図 13 MPR とランドマークを経由した通信ホップ数の比較

表 2 ルーチングのための制御メッセージ数の平均 (配置(a))

	提案手法	OLSR
500 ノード	22, 897	44, 281
1000 ノード	23, 718	81, 138
2000 ノード	30, 977	153, 979

表 3 ルーチングのための制御メッセージデータ量の平均 (配置(a)) (Byte)

	提案手法	OLSR
500 ノード	732, 710	2, 276, 484
1000 ノード	758, 973	4, 690, 817
2000 ノード	991, 274	10, 023, 264

5. おわりに

本稿では、高密度なセンサーネットワークの構築においてフラディングメッセージを抑制し、効率的なデータ中継を行うランドマークノードの選出方法に関する評価結果を報告した。ランドマーク選出では、2ホップ隣接ノードへ3ホップで通信できるように選出することにより、ネットワーク中に少ない数の中継ノードを選出することを可能としている。ネットワークシミュレータによる評価を通して、さまざまなノード

配置において限られた数のランドマークの選出が行えることを確認した。また OLSR との比較においても、選出される MPR のノード数に比べて高密度なノード分布に対して選出されるランドマーク数には影響が少なかったことが分かった。また、中継するノードを少なくしても通信ホップ数の増加はただか2ホップであり、ルーチングのための制御メッセージを削減できることが確認できた。

参考文献

- [1] Mobile Ad Hoc Networking (MANet), http://protean.itd.nrl.navy.mil/manet/manet_home.html.
- [2] J. Ushijima, T. Kato, M. Okino and S. Itoh: Selection of Landmark Nodes for Message Relaying in High Density Sensor Network Environment, Proc. of IASTED International Conference on Networks and Communication Systems (NCS 2005), pp.186-190, Apr. 2005
- [3] T. Clausen, Ed. and P. Jacquet, Ed.: Optimized Link State Routing Protocol (OSLR), RFC3626, Oct. 2003.
- [4] A. Amis, et al.: Max-Min D-Cluster Formation in Wireless Ad Hoc Networks, in Proc. of IEEE INFOCOM 2000, pp.32-41, Mar. 2000.
- [5] F. Ye and H. Luo: A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks, MOBICOM '02, pp.148-159, Sep. 2002.
- [6] M. Chatterjee, S. Das and D. Turgut: WCA: A Weighted Clustering Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks, Journal of Cluster Computing, Special issue on Mobile Ad hoc Networking, pp.193-204, No.5, 2002.
- [7] Z. J. Haas, J. Halpern and L. Li: Gossip-Based Ad Hoc Routing, Proc. of IEEE INFOCOM 2003, pp.1707-1716, Mar. 2003.
- [8] M. Okino, T. Kato, J. Ushijima, S. Itoh and S. Iisaku: Proposal of AODV Routing Protocol for High Density Ad hoc Networks, IPSJ Journal, Vol.45, No.12, pp.2557-2565 Dec., 2004.
- [9] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das: Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing, RFC3561, July 2004.
- [10] The Network simulator - ns2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>