5S-2

高密度センサーネットワークの階層化のための中継用ランドマークの選出方法

牛島 準一　　加藤 聰彦　　沖野 正宗　　伊藤秀一

電気通信大学 大学院 情報システム学研究科

1. はじめに

近年、低電力高性能 CPU 技術や無線通信技術の発展に伴い、各種の情報を遠隔で計測するセンサーネットワークの検討が行われている[1-3]。例えば、各家庭の電力メータやガスメータに無線インタフェースを組み込むことにより、電気やガスの使用量をネットワークを介して計測することが可能となる。このような場合、センサーに IEEE 802.11 などの無線インタフェースを持たせ、センター自身が端末および中継局の機能を有しマルチホップ通信を実現するアドホックルーチングネットワークを構築することが有用であると思われる。現実のセンサーネットワークを想定すると、高密度なセンサーの分布を考慮する必要がある。すなわち、マルチホップ通信を行うために、無線伝播範囲に存在する多くのセンサーの中からなるべく離れたセンサーに中継処理を行わせなければならない。筆者らは、高密度なセンサーネットワークにおいて、無線伝播範囲内の特定のランドマークノードのみにパケットの中継処理を行わせることにより効率的なデータ転送を実現するアプローチについて検討している[4]。ここでは、有線ネットワークに接続された固定のランドマークから順にランドマークを選出する方法を提案しているが、本稿では、固定のランドマークが複数存在するより大規模なネットワークを対象としたランドマーク選出方法に関して検討した結果を述べる。

2. 設計方針

(1) あらかじめ最低 1 つのランドマークノードが決定されていて、これを固定ランドマークノードと呼ぶ。そこから周りのランドマークノード選出を開始する。選出されたランドマークノードは、さらに自分の周りにも選出する。この処理をランドマークがネットワーク全体に選出されるまで繰り返す。

(2) すべてのノードの無線伝播範囲内に、少なくとも 1 つのランドマークノードを選出する。ランドマークノードのみがデータの中継を行う。あるノードはその周りにあるランドマークノードにデータを送信し、そのデータパケットはランドマークノードによって中継され、最終的にあて先ノードの無線伝播範囲内にあるランドマークノードから転送されることとなる。

(3) 複数の固定ランドマークノードから選出を開始することを可能にするため、他のランドマークノードが選出されているような場所では選出が終了させる。このため、次の 2 種類のランドマークノードを導入する。

- 選出を継続するランドマーク（タイプ EXP）
- 他のランドマークとの架け橋として動作するランドマーク（タイプ CON）

(4) すべてのノードは自分の隣接ノード情報を含めた Hello メッセージを定期的に送信する。その Hello メッセージを受信することにより、ノード N は自分の隣接ノードの集合 Nbr(N)と隣接ノードの隣接ノード情報を知る。この情報により、ノード N は N から 2 ホップ離れた 2 ホップ隣接ノードの集合 TwoNbr(N)を構築する。

(5) あるランドマーク L から TwoNbr(L)のノードへのデータ転送は１つまたは２つのランドマーク経由（すなわち 2 ホップまたは 3 ホップで）で行えるようにランドマークを選出する。

3. ランドマーク選出手順

(1) 選出されたランドマーク（F）の処理

初めは固定ランドマークのみがこれに該当し、処理が開始される。

STEP 1-1: まず F は自分の無線伝播範囲にランドマークノードとして選ばれたノードが存在するかどうかを調べる。もし L1 が存在したとすると、F は TwoNbr(F)に含まれる Nbr(L1)を削除する。これは、Nbr(L1)のノードが多くて 2 ホップで F から到達可能であり、それらに対して他にランドマークノードを準備する必要が無いためである。加えてもし Nbr(L1)にランドマークノード L11 が存在し、L11 が TwoNbr(F)に含まれていた場合、F は Nbr(L11)も TwoNbr(F)から削除する。これは、F が Nbr(L11)のノードと多くて 3 ホップで通信可能であるためである。この場合 Nbr(L11)の情報は L1 から得る。もし他に TwoNbr(F)にランドマークノードが存在しない場合は、STEP1-4 に進む。

STEP 1-2: TwoNbr(F)の中で F から直接通信不可能なランドマークノードを探す。もし TwoNbr(F)にランドマークノードが存在する場合、隣接する適当なノードからそれらの隣接情報を得る。その後、F は STEP1-1 で修正した TwoNbr(F)と一番重複する隣接ノードを持つランドマークノード L2 を選び出す。L2 が決まると、F は TwoNbr(F) から Nbr(L2) を削除する。この処理を TwoNbr(F)に存在する全てのランドマークノードに対して行うか、もとの TwoNbr(F)のある一定率（2 ホップカバー率）のノードが削除されるまで行う。

STEP 1-3: F は STEP1-2 でみつかったランドマークノードを一番多く隣接ノードに持つ隣接ノード L21 を選ぶ。その後タイプ CON のランドマークとして動作することを要求す LReq メッセージを送信し、応答の LReq メッセージを待つ。もし応答が承諾の場合、F は現在の TwoNBr(F)から Nbr(L21)を削除する。このステップは STEP1-2 で選出したランドマークノード全てに対して行われる。

STEP 1-4: F は Nbr(F)の中から現在の TwoNbr(F)と一番多く重複するような Nbr(N1)のノード N1 を選出する。F はタイプ EXP の LReq メッセージを N1 に送信し、応答を待つ。その後、同様に F は現在の TwoNbr(F)から Nbr(N1)を削除する。このステップは、元の TwoNbr(F)の 2 ホップカバー率のノードが削除されるまで続く。この時点で、もし現在の TwoNbr(F)が空であるなら、F の処理は終了となる。そうでない場合は、STEP1-5 に進む。図 1 では、タイプ EXP ランドマークノード選出の概略を示している。図 1(a)では、N1 から N4 までが F の周りに選出されている。図 2(b)はその N1 が周りに選んだランドマークノードを示している。この場合、N1 は F を STEP1-1 で存在するランドマークノードとして処理している。

STEP 1-5: ここでは TwoNbr(F)の全てのノードが多くて 2 つのランドマークノード経由で到達可能か確かめる。F は現在の TwoNbr(F)を含めた 2NbrCheckReq メッセージをブロードキャストし、応答の 2NbrCheckRep メッセージを待つ。応答には隣接ランドマークノードがさら

"Selection of Landmark Node for Message Relaying in Hierarchical High Density Sensor Network Environment"
Junichi Ushijima, Toshihiko Kato, Masamune Okino and Shuichi Itoh
University of Electro-Communications

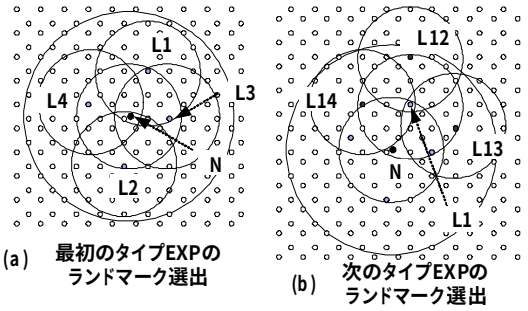

図１　ランドマーク選出の例

に周りに選んだランドマークノード経由で到達可能な現在の TwoNbr(F)のノードのリストが含まれているため、F は応答に含まれるノードを TwoNbr(F)から削除する。もし TwoNbr(F)が空になった場合、F の処理は終了となる。空にならない場合、F は STEP1-4 を再び行う。

(2) LReq メッセージを受信したノードの処理

LReq メッセージを受信すると、承諾もしくは拒否のコードを返信する。それがタイプ CON の場合、ここで処理が終了となる。タイプ EXP で承諾する場合、STEP1-1 から STEP1-4 までの処理を同様行い、自分の周りのランドマークを選出する。タイプ EXP のみ、2NbrCheckReq を受信すると、その STEP1-4 の終了まで待ち、その後該当するノードのリストを返信する。

4. 評価

提案した選出方法をシミュレーションにより評価し、さまざまなノード配置で、どのようにランドマークが選出されるか評価した。基本的な想定した環境は、1000 メートル四方のフィールドに 2000 ノードのランダムな配置、無線伝播範囲は 100 メートル。2 ホップカバー率は 70%から 95%と変化させ、フィールド中央の固定ランドマーク１つから選出を開始した。

まずノードの配置が均質な場合の選出実験より、以下結果が確認できた。まず、隣接ノード間の制御メッセージの交換のみでネットワーク全体にランドマークノードを選出できた。また、ネットワーク中の全てのノードから全てのノードへランドマークノードのみの中継で通信可能であった。例として、ここで選出されたランドマークノード数は 174 ノードであった。複数回同様の環境でシミュレーションを行ったが同じような結果となった。

次に、2 ホップカバー率を 70%から 95%まで変化させてシミュレーションを行った。図 2 に選出されたランドマーク数の結果を示している。ここでは、ネットワーク中のノード数を 500 から 10000 ノードまで変化させた。それぞれの場合において、ノードの配置を変化させ複数回の選出されたランドマークノード数の平均を計算している。図 2 から、2 ホップカバー率は 90%から 95%が妥当であることが分かる。この率が 90%以下の場合を分析したところ、STEP1-1 から STEP1-4 までに選出されるランドマーク数が小さくなっている反面、STEP1-5 で選出されるランドマークノードが多くなっていることが分かった。このことから、少ない 2 ホップカバー率はより多くのランドマークノードを必要とすることになる。

次に、ノードが存在しないエリアが存在する場合について、2 ホップカバー率 90%、ノード数 2000 ノードでシミュレーションを行った。選出されたランドマーク数は 152 となり、条件を変え複数回行ったが同様の選出数となった。これは、ランドマークノードが必要な範囲が少なくなったことから考えると妥当な結果である。同様の条件でノードの配置を不均一にしたが、配置が均一な場合の結果とほぼ同様の結果となった。

最後に、これまでと同様の条件で 2 つの固定ランドマークから同時にランドマーク選出を開始した結果を図 3 に示している。この場合選出されたランドマークノード数は 171 となり、違ったノードの配置の 10 回の結果の平均は 171 ノードであった。この結果から、複数のランドマークが存在し、同時に選出を開始したとしても機能すると言うことが確認できた。これは不必要なランドマークノードが選出されず、タイプ CON のランドマークノードが上手く機能しているということになる。

5. おわりに

本稿では、無線伝播範囲内のランドマークノードと呼ぶ中継ノードの選出方法を提案し、その振舞いに関する評価を示した。

参考文献

[1] 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.

[2] 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.

[3] F. Ye and H. Luo: A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks, MOBICOM ’02, pp.148-159, Sep. 2002.

[4] 牛島他, “高密度アドホックネットワークにおける中継用ランドマークノードの選出方法の提案と評価,” 信学技報, NS2003-85, RCS2003-108, Jul. 2003.

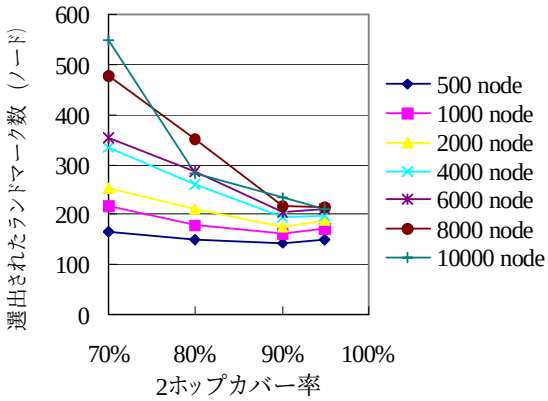

図２　選出されたランドマーク数

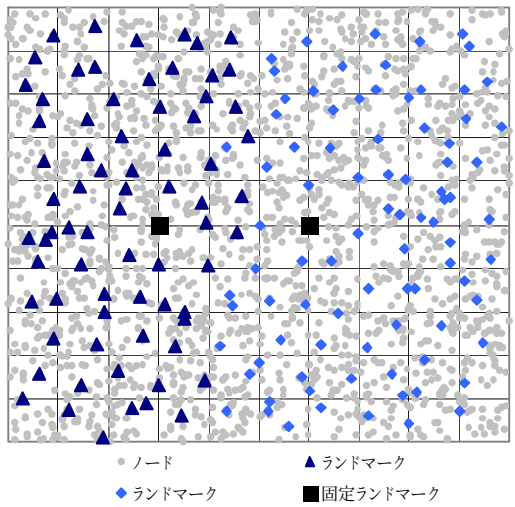

図３　ランドマーク選出例