

アドホックネットワークにおける 片方向リンクを考慮したルーティング方式

西澤 正稔[†] 萩野 浩明[†] 原 隆浩[†]
塚本 昌彦[†] 西尾 章治郎[†]

アドホックネットワークでは、双方向で通信可能なリンクだけでなく、片方向リンクを利用することで移動体どうしの接続性が向上する。一方、ネットワーク内のトラフィックの低減により、各移動体が処理するパケット数を減らして、省電力を実現することは、移動体計算環境において重要な課題である。そこで本論文では、アドホックネットワークにおいて片方向リンクを用いることによる接続性の向上と、トラフィックの低減を目的として、リンク状態を考慮した片方向リンク対応ルーティング方式を提案する。提案方式では、双方向に接続された部分をグループ化し、その中で各移動体が独立に経路情報を交換することで、移動体の自律性を維持している。また、グループ間に存在するリンクの情報を常時管理せずに、通信時に経路探索で発見することによって、グループ化にともなうトラフィックを低減する。

A Routing Method Considering Uni-directional Links in Ad-hoc Networks

MASATOSHI NISHIZAWA,[†] HIROAKI HAGINO,[†] TAKAHIRO HARA,[†]
MASAHIKO TSUKAMOTO[†] and SHOJIRO NISHIO[†]

In ad-hoc networks, the connectivity among mobile hosts can be improved by using not only bi-directional links but also uni-directional links. On the other hand, since mobile hosts are not directly connected to the power source, one of the most important issues in mobile computing is to reduce the power consumption caused by exchanging a number of packets among mobile hosts. This paper proposes a routing method which supports uni-directional links for improving the connectivity among mobile hosts. This method makes groups of mobile hosts which are connected with each other by bi-directional links, and in each group, the route information is exchanged among mobile hosts, independent of other groups. Moreover, this method decreases the traffic for making groups, without maintaining the link information among groups, by searching the route at the time when a host issues a packet to a host in another group.

1. はじめに

近年、無線通信技術や計算機技術の発達により、ルータの機能を持つ移動体が一時的なネットワークを構築し、互いに通信するアドホックネットワークに対する注目が高まりつつある^{1),3),10)}。アドホックネットワークは移動体のみで構成される、固定ネットワークとは独立なネットワークであり、2つの移動体の間で通信が行われる際には、その間に存在する移動体がパケットを中継する。

他の移動体に対して通信を行う際には、各移動体は

経路情報を獲得する必要がある。その基本的な方法として、大きく分けて次の2つが考えられる。1つは、定期的なパケット交換により、つねにネットワーク全体のトポロジを把握し、通信時にその情報に従ってルーティングを行う方法である。もう1つは、通信時にブロードキャストを用いて、経路情報を獲得する方法である。アドホックネットワークでは、トポロジが頻繁に変化するため、前者の方法では、経路情報の維持に大きなトラフィックが発生するうえに、その情報が利用されることが少ない。一方、後者の方では、通信のたびにブロードキャストを用いるため、通信時のトラフィックが増大する。

一方、移動体は通常、直接電源に接続されていないため、省電力は移動体計算環境における重要な問題の

[†] 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻
Department of Information Systems Engineering,
Graduate School of Engineering, Osaka University

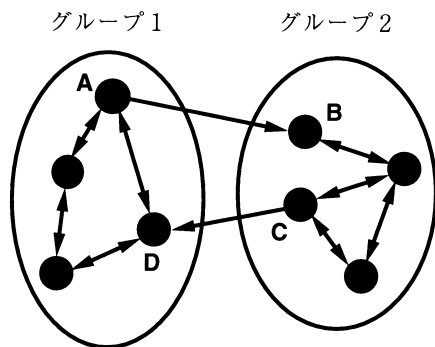


図1 片方向リンクの利用例

Fig. 1 An example for using uni-directional links.

1つである。アドホックネットワークにおいても、トラフィックの低減により、各移動体が処理するパケット数を減らして、省電力を実現する必要がある。

そこで、アドホックネットワークにおけるルーティング方式としては、ネットワークの一部で経路情報を交換し、それ以外の部分では通信時に経路情報を獲得するといったハイブリッドな方式が一般的である^{5),9),14)}。これらの方式では、経路情報を保持する範囲の決定方法が、トラフィックを低減するための重要な問題となる。

また、アドホックネットワークでは、各移動体のインタフェースの相違、電波の出力あるいはアンテナ品質の違いから無線通信範囲に差が生じるため、片方向リンクが存在する⁴⁾。ここで、電波の出力を例にして考えると、ある移動体の電波の到達距離が他の移動体と比べて80%の場合、電波が到達する空間の体積は、約50% ($0.8 \times 0.8 \times 0.8 = 0.51$)となる。つまり、2つの移動体をランダムに配置すると、双方向リンクと片方向リンクの存在確率の比は1:1となり、リンク全体のうち、2つに1つは片方向リンクとなる。アドホックネットワークでは、ネットワークを構成する移動体の種類は様々であり、現実的には統一された機種である場合の方が少ないため、このような状況は十分に起こりうる。

片方向リンクを含む経路を用いた通信では、送信元から宛先への経路を宛先から送信元への通信に利用できないため、宛先から送信元へ至る経路を新たに発見しなければならない。しかし、片方向リンクを用いることで移動体どうしの接続性を向上できるため、片方向リンクを考慮したルーティング方式の実現は重要な課題である。

図1を用いて、片方向リンクを利用することの有効性を説明する。図中では、片方向の矢印は片方向リン

クを、双方向の矢印は双方向リンクを表している。また、実線の楕円は片方向リンクの上流あるいは、下流に存在する移動体のグループである。片方向リンクが利用できない場合は、グループ1とグループ2の移動体間の通信はまったく行えない。一方、片方向リンクが利用できる場合は、移動体A → Bおよび移動体C → Dの順でパケットをフォワードすることによって、グループ1とグループ2の間で通信を行える。

本論文では、アドホックネットワークにおいて、移動体の接続性の向上と、ルーティングにともなうトラフィックの低減を目的として、リンク状態を考慮した片方向リンク対応ルーティング (ULSR: Uni-directional Link State Routing) 方式を提案する。提案方式では、双方向リンクで接続された移動体をグループ化する。グループ内では、定期的にリンク状態パケット (LSP: Link State Packet) を交換することで、各移動体は同じグループ内の移動体への経路情報を保持できる。

ULSR方式では、グループ内に特殊な機能を持つ移動体を必要としない、分散型のルーティングを実現する。また、グループ内の経路情報のみを定期的に交換し、グループ間の経路情報は管理しない単純なアプローチにより、グループ化にともなうトラフィックを低減する。

以下では、2章で関連研究について述べ、3章で筆者らの提案するULSR方式について述べる。4章でULSR方式の性能評価のために行ったシミュレーションの結果を示し、結果の考察を行う。最後に5章で本論文のまとめを行う。

2. 関連研究

アドホックネットワークにおけるルーティングプロトコルとして、IETF (Internet Engineering Task Force) ではいくつかの方式が提案されている。DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector)^{1),12)}は、定期的なブロードキャストにより、経路情報を獲得する距離ベクトル型のルーティングプロトコルである。AODV (Ad Hoc On Demand Distance Vector)³⁾は、通信時に経路要求パケットのフラッディングを行うことで経路情報を獲得するが、その際、経路上の移動体も経路情報を獲得し、それに対して定期的なビーコンを使って経路の管理をする。フラッディングとは、あらかじめ決められたホップ数を超えたパケットを破棄するブロードキャストのことである。以下では、あらかじめ決められたホップ数のことをホップ数制限と呼ぶ。ZRP (Zone Routing Protocol)⁶⁾は、一定ホップ内の経路情報を定期的に獲得し、それ以上離れてい

宛先に対してはブロードキャストを行うプロトコルである。しかし、これらのプロトコルでは、移動体間が双方向で接続されていることを前提としており、片方向のリンクは考慮されていない。

片方向リンクに対応したプロトコルとしては、DSR (Dynamic Source Routing)^{4),8)}と CBRP (Cluster Based Routing Protocol)⁷⁾がある。DSR では、通信時に経路要求パケットを宛先の移動体に対してフラッディングする。その際、パケットを受信した順に移動体の ID を経路要求パケットに記録する。そのパケットを受信した宛先の移動体は、経路情報をコピーした応答パケットを作成する。この際、宛先の移動体は、経路要求パケットと同様にフラッディングを行うことで、通信元の移動体への経路を発見する。応答パケットには、通信元から宛先までの経路と、宛先から通信元までの経路の両方が記されている。応答パケットを受信した通信元移動体は、その経路情報に従ってソースルーティングを行う。宛先移動体は、その経路情報を利用して通信応答を行う。このように、DSR では、通信のたびにフラッディングを行うため、経路情報にともなうトラフィックが大きい。

CBRP は、経路情報をグループ単位で保持する。まず、互いに双方向リンクで接続された 2 つの移動体をクラスタとしてグループ化し、一方をクラスタヘッドとする。さらに、クラスタヘッドとの間に双方向のリンクを持つ隣接移動体を、そのクラスタに追加する。クラスタヘッドとなった移動体は、自身の ID をクラスタの識別子として、クラスタ内の移動体に送信する。これにより、各移動体は自身がどのクラスタに属しているのかを認識できる。クラスタ内の経路情報として、定期的に変換されるハローパケットの情報を、クラスタヘッドでまとめて管理する。さらに、クラスタヘッド間で情報交換することで、隣接クラスタにも含まれる移動体 (ゲートウェイノード) を知る。

通信の際、通信要求パケットはいったんクラスタヘッドに送信される。宛先の移動体がクラスタ内に存在しなければ、パケットはゲートウェイノードへ送信される。ゲートウェイノードは、さらにそのパケットを隣接クラスタのクラスタヘッドにフォワードする。この動作を、宛先移動体が存在するクラスタのクラスタヘッドがパケットを受信するまで繰り返す。宛先移動体が存在するクラスタのクラスタヘッドは、受信したパケットをクラスタ内の経路情報に従ってルーティングする。ただし、隣接クラスタにゲートウェイノードが存在しない場合は、フラッディングを用いる。

CBRP を用いた通信の例を図 2 に示す。図中では、

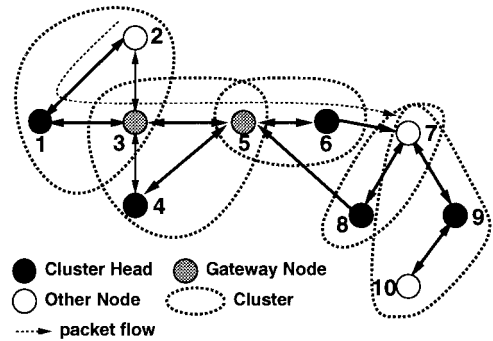


図 2 CBRP を用いた通信の例
Fig. 2 Communication process using CBRP.

片方向の矢印は片方向リンクを、双方向の矢印は双方向リンクを表している。移動体 2 が移動体 7 へパケットが送信する場合、パケットは 2, 1, 3, 5, 6, 7 の順にルーティングされる。移動体 2 から移動体 6 までは保持されている経路情報に従ってルーティングされ、移動体 6 と移動体 7 の間はフラッディングによりルーティングされる。

CBRP では、1 つのクラスタ内の移動体数が少なく、多くのクラスタが作成されるため、双方向リンクが多い場合は、クラスタ間の情報交換や通信パケットのフォワードによりトラフィックが増加する。

3. ULSR 方式

本章では、提案する ULSR (Uni-directional Link State Routing) 方式について、グループ化およびルーティング方式を中心に説明する。

DSR と CBRP 以外の従来のルーティング方式では、双方向リンクによる通信が前提であるため、移動体は隣接する移動体からハローパケットを受信した時点で、その移動体との隣接関係を認識する。しかし、片方向リンクが存在する場合は、隣接する移動体との間のリンクが双方向か、片方向かを知る必要がある。ULSR 方式では、各移動体は、それまでに受けとったハローパケットに記されている送信元の情報を、自身のハローパケットに付加して送信する。これによって、移動体を受けとったハローパケットに自身の ID が付加されているときは双方向リンクが、付加されていないときは片方向リンクが、ハローパケットの送信元との間に存在することを検出する。

3.1 移動体のグループ化

提案方式では、ハローパケットの交換により獲得した隣接情報を用いて、互いに双方向のリンクで接続された移動体をグループ化する。グループ化する場合、

パケットを交換することですべての移動体の経路情報を管理するため、片方リンクしか持たない移動体を含めてグループを構成することはできない。したがって、上記のようにグループは互いに双方向で接続された移動体のみで構成される。グループ化を行う点では、CBRP と同様であるが、CBRP では隣接する移動体のみをグループ化するため、構成されるグループ数が多い。そのため、クラスタ間で交換される情報量が多くなる。

そこで、まず単純に、双方向リンクで接続されるすべての移動体を 1 つのグループとする方式 1 を提案する。しかし、方式 1 では双方向リンクが非常に多い場合に、グループを構成する移動体が多くなるので、グループ構成にともなうトラフィックが大きくなることが懸念される。この問題を改善するために、リンク数を閾値として、閾値以上のリンク数を持つ移動体のみをグループとする方式 2 を提案する。リンク数を閾値とすることにより、リンク数が多い移動体がグループのメンバとなるため、多くの移動体に少ないホップ数で到達できる可能性が高くなる。

グループ化手法 1:

- (1) 各移動体は、受信したハローパケットの情報をもとに、リンク状態パケット (LSP) を生成する。ULSR で用いる LSP には、隣接ノードのリストと、ハローパケットの送信元 ID が含まれる。
- (2) 生成した LSP をフラッディングする。
- (3) LSP を受信した移動体は、それをフラッディングする前にその LSP が片方向リンクの上流から送信されたものかどうかを調べる。片方向リンクの上流から LSP を受信した場合は、その LSP のフラッディングを中止する。
- (4) フラッディングを中止した移動体は、適当なタイミングで、LSP を生成した移動体の ID および自身の ID をグループ内のすべての移動体にユニキャストで通知する。

グループ化手法 2:

- (1) 各移動体は、受信したハローパケットの情報をもとに、LSP を生成する。さらに、自身と双方向リンクで通信可能な、隣接する移動体の数を確認する。
- (2) 双方向のリンク数が、あらかじめ与えられた閾値以上である移動体は、LSP をフラッディングする。
- (3) LSP を受信した移動体のうち、双方向のリンク数が閾値未満である移動体は、その LSP のフ

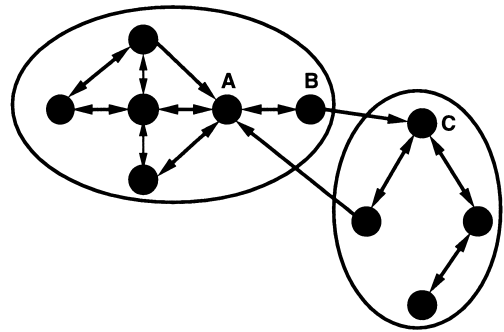


図3 グループ化手法 1 を適用した例

Fig. 3 An example for applying the grouping method 1.

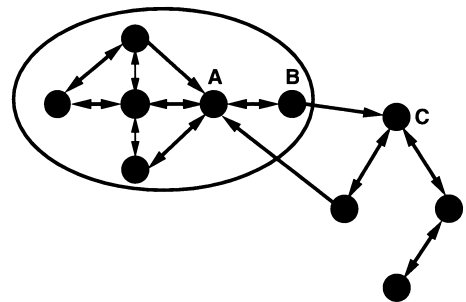


図4 グループ化手法 2 を適用した例

Fig. 4 An example for applying the grouping method 2.

ラッディングを中止し、LSP を送信した移動体へ自身の LSP を送信する。また手法 1 と同様、片方向リンクの上流から LSP を受信した場合も、フラッディングを中止する。

それぞれの手法におけるメンバの識別方法について図を用いて説明する。図 3 および図 4 は、それぞれの手法を適用した結果である。図では実線の楕円が、グループを表している。ここで、手法 2 では、グループ化の閾値を 3 としている。

グループ化手法 1 の場合、ある移動体 X の送信した LSP を受信した移動体は自身が移動体 X と同一のグループに属するものと認識する。また、図 3 における移動体 B のように、片方向リンクの上流の移動体までをグループに属するものとし、その下流の移動体 C はそのグループに属さないものとする。ただし、移動体 A のように、下流の移動体とそのグループ内のその他の移動体と双方向リンクを持つ場合は、グループに属するものとする。

グループ化手法 2 の場合、閾値以上のリンク数を持っている移動体 X と双方向リンクで接続されている移動体は、移動体 X の生成した LSP を受信することにより、自身が移動体 X と同一のグループに属するものと認識する。続いて LSP を受信した移動体は、そ

の生成元である移動体 X へ自身の識別子をユニキャストで送信する．それにより，移動体 X は自身の LSP を受信した移動体を自身のグループのメンバであると認識する．またグループ化手法 1 と同様，図 4 の移動体 C のような，片方向リンクから LSP を受信してフラディングを中止した移動体は，上流の移動体 B のグループに属さないものとする．一方，移動体 B のようにリンク数が閾値未満であるためにフラディングを中止した移動体は，グループに属するものとする．

また，グループ化手法 1 では，片方向の上流から得られた情報を，グループ内のすべての移動体へユニキャストする．この情報は，上流の移動体が下流の移動体と同じグループ内に存在している場合，グループ内でのルーティングにおいて経路の最適化に用いることができる．一方，上流の移動体と下流の移動体が異なるグループに存在する場合は，下流側のすべての移動体が上流側に存在するグループのメンバを知ることができる．この情報を用いることで，通信時の経路発見にともなうトラフィックを低減することができる．

グループ化手法 2 では，各移動体の持つ双方向リンクの数を考慮し，グループ内に存在する移動体の密度（少ないホップ数で到達できる移動体数）を高くしている．リンク数が閾値を超えないとフラディングを中止するため，この手法は，手法 1 よりもグループ化にともなうトラフィックが小さい．また，CBRP に比べてグループの外へのリンク数が少ないため，グループ外に存在する移動体への経路情報獲得のためのフラディングによるトラフィックを低減できる．

3.2 ルーティング方式

提案方式では，前節の手法に基づいて作成したグループを用いて，ルーティングを行う．以下では，宛先の移動体が通信元と同じグループ内に存在する場合と，宛先の移動体が通信元とは異なるグループに存在する場合のそれぞれについて述べる．

宛先が同じグループ内に存在する場合：

各移動体は，受信したすべての LSP からリンク状態テーブルを作成し，Dijkstra のアルゴリズムによって，宛先までの最短経路を計算する．このプロセスでは，グループ内に存在する片方向のリンクも考慮する．通信元の移動体は，この経路情報に基づいて，宛先までの最短経路を指定してパケットを送信する．

宛先が異なるグループに存在する場合：

通信元の移動体は，宛先の移動体がグループ内に存在しないことを確認すると，通信要求パケットを作成し，同じグループ内で次の条件のいずれかを満たす移動体へ，そのパケットをユニキャストする．

- 通信元移動体からのホップ数が最も大きい移動体
- ある閾値を超えるリンク数を持つ移動体

そのパケットを受信した移動体から，宛先移動体へのフラディングを開始する．フラディング中に通信要求パケットを受信した移動体は，そのパケットをフォワードした 1 ホップ前の移動体と双方向リンクで接続されている場合のみ，AODV と同様に，1 ホップ前の移動体と通信元移動体の組の情報を経路情報として保持する．

宛先移動体が通信要求パケットを受信すると，応答パケットを生成し，通信元へ送信する．応答パケットのルーティングの際，応答パケットを受信した移動体は，自身の経路情報に通信元と 1 ホップ前の移動体の組の情報があれば，その情報に基づいて，1 ホップ前の移動体へ応答パケットをユニキャストでフォワードする．一方，該当する経路情報が存在しない場合は，応答パケットのフラディングを行う．このような動作を，通信元が応答パケットを受信するまで繰り返す．

4. シミュレーション

提案した ULSR 方式の有効性を評価するために，シミュレーションによって CBRP のルーティング方式との比較を行った．シミュレーションでは，グループ化手法 1 を用いる提案方式 1 とグループ化手法 2 を用いる提案方式 2，および CBRP のルーティング方式をトラフィックの観点から比較した．シミュレーションでは，通信時に発生するトラフィックを，通信元の移動体が宛先を発見するまでにパケットを受信した移動体の延べ数と定義する．同様にグループ化の際に発生するトラフィックを，グループ化が終了するまでにパケットを受信した移動体の延べ数と定義する．

4.1 シミュレーションモデル

本節では，本論文で行ったシミュレーションのモデルについて説明する．

4.1.1 ネットワークモデル

移動体は， 10×10 の格子（格子点間の距離は 1）からなる 2 次元平面上を移動する．まず，10 個の移動体を二次元平面にランダムに配置する．次に，それぞれの移動体に対して，通信可能距離を Euclid 距離として決定する．通信可能距離は， $N(\mu, \sigma)$ の正規分布に基づくものとした．ここで，平均 μ を 4.5 とする．また，分散 σ を変化させることにより，ネットワークに存在する全リンクに対する片方向リンクの存在割合を算出する．移動体 A の通信可能範囲に移動体 B が存在し，移動体 B の通信可能範囲に移動体 A が存在しないとき，A から B へ片方向リンクが存在するものとする．

携帯機器間の無線通信仕様である Bluetooth では、移動体の通信可能距離を 10 m から最大 100 m としているため、たとえば移動体の通信可能距離を 45 m とすると、シミュレーションでは 90 m × 90 m の平面上に 10 個の移動体が存在することになる。これは、一般的に考えられている小規模のアドホックネットワークとほぼ同等のものと考えられる。

4.1.2 移動モデル

各移動体は、確率 p で隣の格子点に移動する。移動は、二次元平面で 8 方向に等確率で起こるものとする。また、移動体が二次元平面の一番端に移動した場合は、8 方向のうち、移動可能な方向へ移動が発生するまで、その場所に停止するものとする。

4.2 トラフィックの比較

アドホックネットワークにおけるルーティングでは、グループの初期構成時、通信時、グループの再構成時にトラフィックが発生する。本節では、それぞれの場合について各方式の特性を比較する。以下のシミュレーションでは、フラッディングの際のホップ数制限を 6、グループ化手法 2 におけるグループ化の際のリンク数の閾値を 3 とする。

4.2.1 グループの初期構成時のトラフィック

4.1.1 項のネットワークモデルを用いて、移動体をランダムに配置し、グループを構成した際に発生するトラフィックを比較した。その結果を図 5 に示す。横軸を総リンク数に対する片方向リンク数の比、縦軸を初期構成のトラフィックを 50000 回計算した平均値とした。図中での 'Method1' は提案方式 1 を示し、'Method2' は提案方式 2 をそれぞれ示している。CBRP では、グループ化の際に、定期的なハローパケットに加え、クラスタヘッドとメンバ間、クラスタ間で情報交換が行われる。さらに、クラスタ構成時に、片方向リンクについての情報を、フラッディングを用いて獲得する。そのため、片方向リンク数が多くなるとトラフィックが増加する。提案方式 1 と提案方式 2 は、双方向リンク上をフラッディングを用いてトラフィックを送信しているため、片方向リンクが多くなると、グループ化にともなって発生するトラフィックは減少する。提案方式 1 は、提案方式 2 に比べてグループを構成する移動体数が多いため、発生するトラフィックが大きくなる。

4.2.2 通信時のトラフィック

4.1.1 項のネットワークモデルに基づいて、ランダムに決定したトポロジに対して、すべての移動体間の通信に要するトラフィックを調べた。ただし、通信元と宛先の間に経路が存在しない場合は、その組合せを除

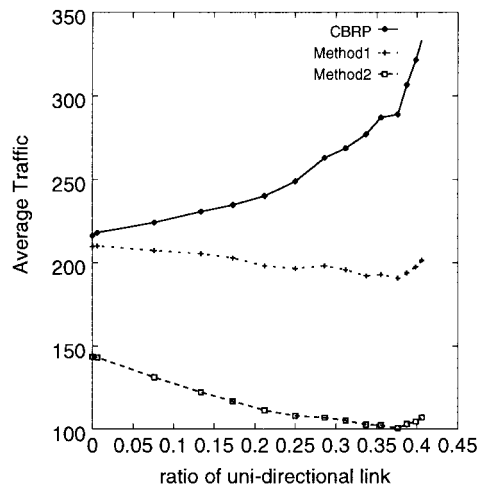


図 5 グループ化にともなうトラフィック

Fig. 5 Average traffic for creating groups.

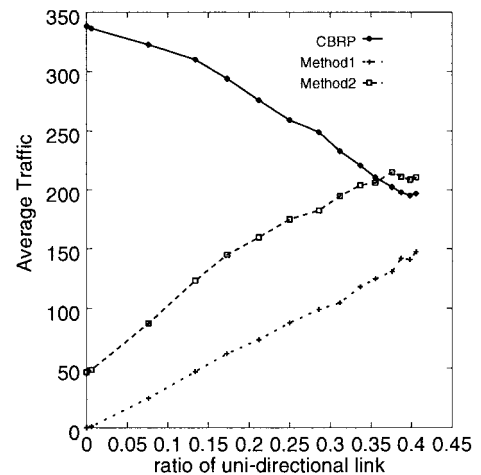


図 6 ルーティングにともなうトラフィック

Fig. 6 Average traffic for routing a message packet.

外する。比較結果を図 6 に示す。横軸を総リンク数に対する片方向リンク数の比、縦軸をトポロジを 50000 回変化させたときの通信のためのトラフィックの平均値とした。双方向リンクが多い場合は、CBRP が最も悪い結果を示している。これは、CBRP がグループのサイズが小さく、隣接クラスタに存在しない移動体への通信の際にはフラッディングを用いるため、トラフィックが多くなるためである。

また、片方向リンクが多い場合は、提案方式 1 と提案方式 2 ではフラッディングを多用するため、トラフィックが増加している。一方、CBRP では、グループ構成時に獲得した片方向リンクの情報を用いることで、フラッディングの回数が減少するため、トラフィックが小さくなる。特に、片方向リンク数の比が 0.35 より

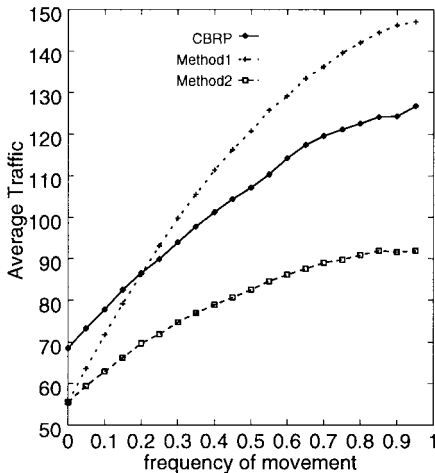


図7 移動によるグループ再構成にともなうトラフィック
Fig. 7 Average traffic for reconstructing groups.

り大きい場合、提案方式2の方がトラフィックが多くなる。

4.2.3 グループ再構成時のトラフィック

4.1節のネットワークモデルと移動モデルを用いて、移動させることで、ネットワークのトポロジを変化させた。トポロジの変化にともなうグループ再構成によって発生するトラフィックを比較した結果を図7に示す。横軸を移動確率、縦軸を移動体を50000回移動させたときのグループ再構成のためのトラフィックの平均値とした。提案方式2は、リンク数の多い移動体しかLSPをフラディングしないので、いずれの移動確率に対しても、グループ再構成にともなうトラフィックが最も少ない。提案方式1では、隣接関係が変化するたびに、LSPを双方向で接続されているすべての移動体にフラディングするため、移動確率が大きくなると、変化した部分の情報しか更新しないCBRPよりもトラフィックが大きくなる。

4.2.4 考 察

ネットワーク全体のトラフィックは、上述のグループ初期構成、グループ再構成およびルーティングにより発生するトラフィックを合計したものである。時間が十分に経過すると、初期構成にともなうトラフィックの影響は性能上無視できるため、グループ再構成とルーティングのためのトラフィックが問題となる。移動確率が低い場合は、ルーティングにより発生するトラフィックが大きく影響する。一方、移動確率が高い場合は、グループの再構成により発生するトラフィックが大きく影響する。定量的には、移動確率と通信確率がシステム特性として既知であれば、図5と図6の結果に重み付けをして合計したものが、ネットワーク

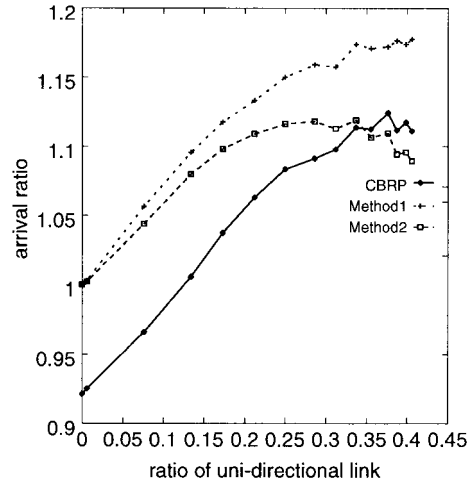


図8 宛先への到達率
Fig. 8 Arrival probability to a destination.

全体のトラフィックとなる。

4.3 到達率の比較

4.2.2項と同様のシミュレーションで、通信時の接続性について、提案方式とCBRPを比較した。その指標として、双方向リンクのみを用いて通信可能なすべての移動体の合計を1とした場合の、実際に通信可能な移動体の総数を到達率と定義した。この結果を図8に示す。横軸を総リンク数に対する片方向リンク数の比、縦軸を到達率とした。提案方式1は片方向リンクの多少にかかわらず、他の2つの方式と比べて到達率が高くなっている。これは、グループのサイズが大きいので双方向リンクに関する情報を共有をする移動体数が多く、かつグループ間の片方向リンクの情報をグループ間で交換するからである。双方向リンクが多い場合は、CBRPより、グループの構成移動体数の多い提案方式2の方が到達率が高い。また片方向リンクが多い場合、提案方式2よりCBRPの方が良い到達率を示している。これは、提案方式2では保持する経路情報がCBRPより少ないことから、フラディングが多用される。その結果、フラディングのホップ数制限により宛先へ到達できないことがあるためである。

5. ま と め

本論文では、アドホックネットワークにおける、片方向リンクを考慮したルーティング方式を提案した。さらに、この方式において、移動体をグループ化するために2つの手法を提案した。双方向リンクで接続されるすべての移動体をグループ化するグループ化手法1は、グループを再構成する際のトラフィックが大きくなるため、移動確率の低い場合に有効である。リ

リンク数の多い部分をグループ化するグループ化手法2では、保持する経路情報が少ないため、ルーティングの際にパケットが多く発生する。その反面、移動確率が高い、あるいは片方向リンクが少ない場合に有効である。

今後の課題としては、片方向リンクをより効率良く発見する方法を検討することがあげられる。また、通信確率を考慮したグループ化など、様々なグループ構成方式を検討する必要がある。

アドホックネットワークでは、移動体の移動によりトポロジが変化するため、各グループにおいて管理している経路情報の信頼性が重要な問題となる。したがって、各グループが保持するルーティングテーブルのタイムアウトの設定やグループの再構成に要する時間の短縮などについても検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) Baker, D.J., Wieselthier, J. and Ephremides, A.: A Distributed Algorithm for Scheduling the Activation of Links in a Self-organizing, Mobile, Radio Network, *Proc. IEEE ICC'82*, pp.2F6.1-2F6.5 (1982).
- 2) Bambos, N., Chen, S.C. and Pottie, G.J.: Radio Link Admission Algorithms for Wireless Networks with Power Control and Active Link Quality Protection, *Proc. IEEE Infocom'95*, pp.97-104 (1995).
- 3) Broch, J., Maltz, D.A., Johnson, D.B., Hu, Y.C. and Jetcheva, J.: A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols, *Proc. Mobicom'98*, pp.159-164 (1992).
- 4) Broch, J., Johnson, D.B. and Maltz, D.A.: Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks, Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-00.txt (1998).
- 5) Gerla, M. and Tsai, J.T.C.: Multicluster, Mobile, Multimedia Radio Network, *ACM-Baltzer Journal of Wireless Networks*, Vol.1, No.3, pp.255-265 (1995).
- 6) Haas, Z.J. and Pearlman, M.R.: The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks, Internet Draft, draft-ietf-manet-zone-zrp-01.txt (1998).
- 7) Jiang, M., Li, J. and Tay, Y.C.: Cluster Based Routing Protocol (CBRP) Functional Specification, Internet Draft, draft-ietf-manet-cbrp-spec-00.txt (1998).
- 8) Johnson, D.B.: Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts, *Proc. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp.158-163 (1994).
- 9) Lin, C.R. and Gerla, M.: A Distributed Architecture for Multimedia in a Multihop Dynamic Packet Radio Network, *Proc. IEEE Globecom'95*, pp.1468-1472 (1995).
- 10) Park, V. and Corson, S.: A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks, *Proc. IEEE Infocom'97*, pp.1405-1413 (1997).
- 11) Perkins, C.E. and Bhagwat, P.: Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers, *Proc. SIGCOMM*, pp.234-244 (1994).
- 12) Perkins, C.E. and Bhagwat, P.: Destination-Sequenced Distance-Vector, Internet Draft, draft-ietf-manet-dsdv-00.txt (1998).
- 13) Perkins, C.E. and Royer, E.M.: Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing, Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-02.txt (1998).
- 14) Scott, K. and Bambos, N.: The Self-Organizing Wireless Network (SWAN) Protocol For Communication Among Mobile Users, *Proc. IEEE Globcom'95*, pp.355-359 (1995).

(平成 11 年 5 月 27 日受付)

(平成 11 年 12 月 2 日採録)



西澤 正稔

1998 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。現在、同大学院工学研究科博士前期課程在学中。移動体計算環境、特にアドホックネットワークにおけるルーティング方式および分散処理に興味を持つ。



萩野 浩明 (学生会員)

1996 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1998 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。現在、同大学院工学研究科博士後期課程在学中。モバイルコンピューティング、知識処理に興味を持つ。



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となり、現在に至る。1996年本学会山下記念研究賞受賞。データベースシステム、分散処理に興味を持つ。IEEE, 電子情報通信学会各会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学院工学研究科修士課程修了。同年、シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師, 1996年より、同大学院工学研究科情報システム工学専攻助教授, 現在に至る。工学博士。時空間データベースおよびモバイルコンピューティングに興味を持つ。ACM, IEEE等7学会の会員。



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年同大学院工学研究科博士課程修了。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を経て, 1992年より大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授となり, 現在に至る。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, 知識ベース, 分散システムの研究に従事。現在, Data & Knowledge Engineering, Data Mining and Knowledge Discovery, The VLDB Journal等の論文誌編集委員。ACM, IEEE等8学会の会員。