

モバイルアドホックネットワーク上のPeer to Peerシステム における情報検索手法の一検討

小林 亜衣¹⁾・蛭原 敏博²⁾・油田 健太郎¹⁾・岡崎 直宣²⁾

A Study on Efficient Search Method for Peer to Peer Systems over Mobile Ad-hoc Networks

Ako KOBAYASHI, Toshihiro EBIHARA, Kentaro ABURADA, Naonobu OKAZAKI

Abstract

Recently, mobile ad-hoc network technology is progressed and the creation of new and attractive services is required. In this situation, we are examining peer to peer (P2P) systems over the mobile ad-hoc networks. Our focus is on searching methods of contents in P2P systems. In general, mobile ad-hoc networks may consist of asymmetric wireless links due to differing propagation patterns or source of interference. In this paper, we introduce a search method for the P2P systems supporting asymmetric wireless links. We evaluate the proposed method by simulations, in the viewpoint of efficiency of search.

Key Words:

mobile ad-hoc network, peer to peer systems, routing protocol

1. はじめに

近年、無線端末の発達・普及が進み、無線端末のみで構成し、マルチホップ通信を行うことにより通信範囲外の端末とでも通信することができるアドホックネットワークが注目されている。アドホックネットワークは、固定インフラを必要としないため、柔軟かつ容易にネットワークを構築することができる。適用が期待される例として、災害時に既存のインフラが使用できない場合や、イベント会場などで一時的なその場だけのネットワークが必要になる場合、また、商店街などのコミュニティでの気軽な情報交換のためのネットワークなどが挙げられ、今までのインターネットに代表される、開かれたネットワークに対し、小さなコミュニティ単位でのネ

ットワークを実現できる。また、コミュニティネットワーク内に1台でもインターネットに接続している端末が存在すれば、そのネットワークはたちまちインターネットの一部となることができるなど、アドホックネットワークには無限の可能性が秘められている。

このように、多くの期待を集めているアドホックネットワークだが、利用法の議論はまだあまり行われていない。有力な利用法として、全ての端末が対等(ピア)に通信が可能であるPeer to Peer(P2P=ピア・ツー・ピア)システムがある。

P2Pシステムには、情報を検索または転送をする2つのフェーズに分けられるが、本稿では検索フェーズに焦点を当てる。P2Pシステムの情報検索においては、検索の成功確率であるヒット率を高めることが重要となる。また、アドホックネットワーク上でこのシステムを構築する際、端末は自由に移動可

1) 宮崎大学大学院工学研究科

2) 宮崎大学工学部

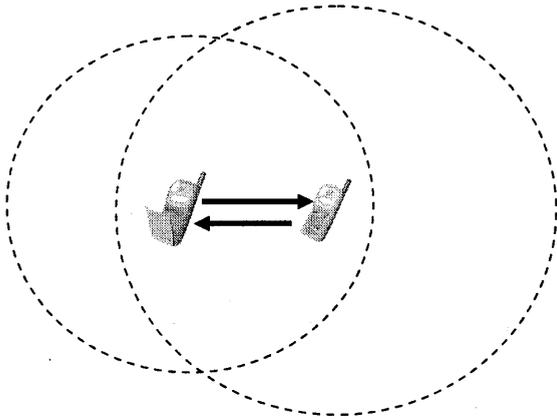


図 1 双方向リンク

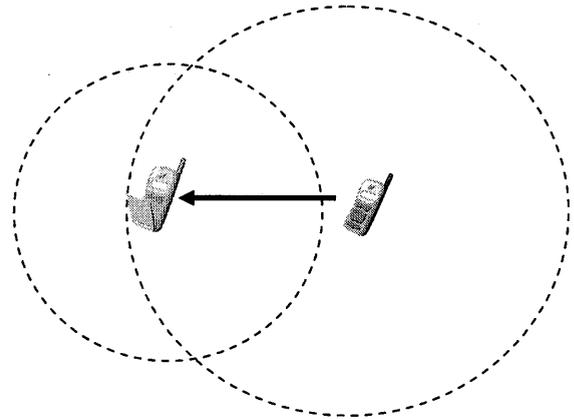


図 2 片方向リンク

能であるため、経路が切断され易い。従って、経路の冗長性も考慮する必要がある。さらに、アドホックネットワーク特有の性質として、電源容量や通信帯域が固定インフラと比べて限られている点、また、端末の通信範囲が一様ではないため、一般には片方向リンク(図 2)が存在する点がある。

片方向リンクを考慮したモバイルアドホックネットワークのルーティングプロトコルとして、LBSR (Loop-Based Source Routing Protocol)^[1] や MR-LBSR (Multiple-Route LBSR)^[2]などが提案されている。これらのプロトコルでは、通信経路としてループ経路が用いられている。本稿では、片方向リンクを含むモバイルアドホックネットワーク上でループ経路を用いて P2P システムを利用する場合において、効率よく情報の検索を行う手法を提案する。

提案手法では、多くのノードを通るループ経路(図 3)を用い、ユニキャストで情報検索を行う。これにより、情報検索の際のブロードキャストによる通信帯域の消費を低減し、効率の良い検索を行うことができる。また、前回の検索後、次回類似した情報を検索する場合、同じ端末が情報を保持している可能性が高いと考えられるため、前回の検索で発見された情報保持者を含む経路を用いる。これにより、検索条件のヒット率を向上させることができる。

以下では、まず 2 章でアドホックネットワークと従来のループ経路を用いたルーティング方式を紹介し、P2P システムをアドホックネットワーク上で構築する際の課題を明らかにする。そして 3 章で、本提案手法の詳細を示し、4 章でシミュレーションにより提案手法の評価を行う。5 章でまとめと今後

の課題を示す。

2. アドホックネットワークと

Peer to Peer システム

本章ではまず、アドホックネットワークを説明し、次に片方向リンク(図 2)を含みループ経路(図 3)を用いるルーティングプロトコルである LBSR と、その LBSR を拡張し複数経路を検出する MR-LBSR を紹介する。そして、P2P システムについて説明し、アドホックネットワーク上で P2P システムを構築する際の課題を明らかにする。

2.1 アドホックネットワーク

モバイルアドホックネットワークとは、無線端末のみで構成され、無線通信とネットワークの能力を備えた 2 台以上の端末の集まりである。また、無線通信範囲内にいない端末とでも、間の端末がマルチホップ通信を行うことにより通信可能となる。よって、固定インフラを使用せずにネットワークを構築する事ができるため、アドホックネットワークは柔軟かつ容易にネットワークを構築する事ができる。

しかし、アドホックネットワークでは既存のネットワークのルーティング方式をそのまま用いることはできない。無線端末のみで構成されるアドホックネットワークでは、通信範囲が個々の機種や環境によって異なっており、片方向リンクが存在することが一般的である。双方向リンクと片方向リンクの例を図 1, 2 に示す。片方向リンクを含むアドホックネットワークのルーティングプロトコルとして

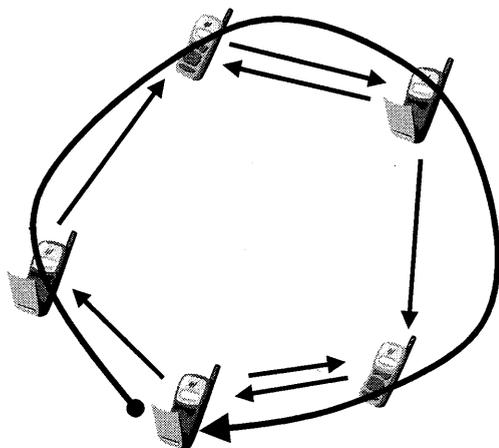


図 3 ループ経路

以下のようなプロトコルが提案されている。

I) LBSR¹⁾

LBSR では、送信元端末(S)から送信先端末(D)までの経路、そして D から S までの経路を連結して得られるループ経路を探索している。特に、S から D を通らずに S に戻るループ経路をユニキャストで使用することにより、ブロードキャストメッセージ数を削減し、経路探索に要するプロトコルオーバーヘッドを削減している。

II) MR-LBSR²⁾

LBSR を拡張した MR-LBSR では、ループ探索によって S から D を通り S へ戻る複数のループ経路を検出する。経路が切断された場合は他の経路に切替えるとともに、他に切断された経路があれば、それを以降の切替え対象から取り除く。

2.2 Peer to Peer システム

P2P システムとは、あらゆる端末(ノード)が対等な立場でデータを交換し、リソースやサービスを共有できるサービス形態である。P2P システムでは端末が互いに対等であり、処理を行うサーバにも情報を要求するクライアントにもなりうるため、サーバントと呼ばれる。

P2P システムは、情報の検索または転送をする 2 つのフェーズに分けられるが、本稿では検索フェーズに焦点を当てる。この検索の方法により、P2P システムは Hybrid 型と Pure 型の 2 つの形態に分けられる。Hybrid 型はインデックス情報などをサーバで管理し、このサーバから検索結果を得る。一方 Pure

型では、全ての端末が同一の機能を持ち、検索依頼をサーバント間でフォワードし、検索結果を逆方向にフォワードすることで検索元が検索結果を得る。また、実際の情報取得は両者ともサーバント間で直接行うことで実現している。P2P システムの検索フェーズにおいては、検索の効率(ヒット率)を高くすることが重要となる。

2.3 アドホックネットワーク上で

P2P システムを構築する際の課題

アドホックネットワークは有線のネットワークに比べ一般に不安定な無線リンクを用いるため、また端末が自由に移動可能であるため、経路が切断され易い。アドホックネットワーク上で P2P システムを構築する際には、この点を考慮し、検索や転送のための通信経路に冗長性を持たせることが望ましい。また、端末の通信範囲が一律ではないことから、一般には片方向リンクが存在する点も考慮する必要がある。さらに、端末の電源容量や通信帯域が限られているため、端末における処理負荷や使用帯域を低減する必要がある。

Hybrid 型 P2P システムは特定のサーバが必要なため、端末が自由に移動するアドホックネットワーク上では実現は難しいのに対し、すべての端末が同一の機能を持つ Pure 型 P2P システムはアドホックネットワークに適していると言える。しかし、既存の固定インフラを前提としたネットワーク上での Pure 型 P2P システムでは、情報の検索を行うたびに検索要求をネットワークにブロードキャストする。十分な通信範囲が保たれないモバイルアドホックネットワーク上で、ブロードキャストを頻繁に行う事は望ましくない。また、検索結果のフォワードも不可能であることが想定される。

3. 提案手法

本章ではモバイルアドホックネットワーク上で構築された P2P システムにおける情報検索を、ループ経路を用いて効率よく行う手法について提案する。

本提案手法では、無線端末上で P2P システムを初めて使用する時、つまり初回情報検索時に検索元を終始点としたループ経路を検出する。2 回目以降の

情報検索はすでに検出されたループ経路を組み合わせさせて優先順位を決定し、ユニキャストを用いて行う。そして、次のループ経路検出は一定の間隔(経路更新間隔)後に行われ、その時また同時に情報検索を行う。このようにして、ブロードキャストの使用を抑制し、通信帯域の消費を低減する。

また、2回目以降の情報検索時に使用する経路の組み合わせに前回の情報保持者を分散させることによって、ヒット率を高めるようにする。

以下に、情報検索手法とループ経路構築手法の詳細を述べる。

3.1 情報検索及びループ経路構築手法

【情報・ループ経路検索】

本提案手法では、初回及び経路更新間隔毎に、ループ経路検索と情報検索を並行して行う。

ここでは、*RDreq* および *Lconf* の2種類のメッセージを用いる。*RDreq* は情報およびループ経路を検索するためのメッセージであり、*Dst* と経路上にある端末のアドレスのシーケンス、各アドレスに対応する *hit_flag*、そして検索条件が格納されている。ここで、*Dst* は検索メッセージの識別子であり、ブロードキャストの実行の可否を判断するために用いられる。また、*hit_flag* には、*RDreq* を受信した端末が検索条件に一致すれば *true* を、そうでなければ *false* を設定する。

Lconf はブロードキャストを抑制するためのメッセージであり、検索元端末(*S*)から *S* に戻るループ経路上のアドレスのシーケンスが含まれている。*Lconf* は、このループ経路上をユニキャストで配信され、受信した端末に *S* へ至る経路を通知する。これによって、以降受信された *RDreq* をブロードキャストせず、検出済みのループ経路を用いてユニキャストで *S* まで配送し、新しいループ経路を検出する。なお、*addr_num* は *S* までのホップ数が格納される。

以下、アルゴリズムを示す。

Step1-0

各端末は以下の変数を初期化する。

$dist \leftarrow -1$, $next \leftarrow null$, $hops \leftarrow \infty$ 。

Step1-1

S は自身のみからなるアドレスシーケンスと検索条件、*Dst* をランダムな自然数に設定した *RDreq* を、無線信号到達範囲内に存在する全ての端末(*M*)にブ

ロードキャストする。*Dst* は経路探索を行うたびに異なる値をとる。

Step1-2

M ($\neq S$) が *RDreq* を受信した場合、自身の情報検索を行った後、以下の手順でメッセージを処理する。

I) *Dst* が *dist* と一致した場合

i) $next = null$ の場合、*M* が *Lconf* を受信し、*next* が設定されるまで待機する。

ii) $next \neq null$ の場合、*RDreq* のアドレスシーケンスの末尾に自身のアドレスと *hit_flag* を加え、*next* へユニキャスト送信する。

II) *Dst* が *dist* と一致しない場合

M は情報検索を行い、*RDreq* のアドレスシーケンスの末尾に自身のアドレスと *hit_flag* を加え無線信号到達範囲内にある全ての端末にブロードキャストする。この時、*Dst* の値を *dist* に格納する。

Step1-3

RDreq を受信した *S* は、*RDreq* のアドレスシーケンスの末尾に自身のアドレスを追加し、ループ経路と検索結果を得る。そして *RDreq* のアドレスシーケンスを *Lconf* に格納し、このシーケンスに含まれる数から1を減じた値を *addr_num* に格納し、アドレスシーケンスにおける *S* の次のアドレスに *Lconf* をユニキャスト送信する。

Step1-4

M ($\neq S$) が *Lconf* を受信した場合、以下の手順でメッセージを処理する。

I) $next = null$ の場合

M は *Lconf* のアドレスシーケンスにおける *M* の次のアドレスを *next* に、*S* までのホップカウントを示す *addr_num* の値を *hops* にそれぞれ格納する。*Lconf* の *addr_num* から1を減じ、この *Lconf* を *next* にユニキャスト送信する。

II) $next \neq null$ の場合

i) *hops* の値が *Lconf* の *addr_num* より大きい場合、受信した *Lconf* のアドレスシーケンスにおける *M* の次のアドレスを *next* に、*addr_num* の値を *hops* にそれぞれ格納する。*Lconf* の *addr_num* から1を減じ、この *Lconf* を *next* にユニキャスト送信する。

ii) *hops* の値が *Lconf* の *addr_num* より小さい場合、受信した *Lconf* の *addr_num* から1を減

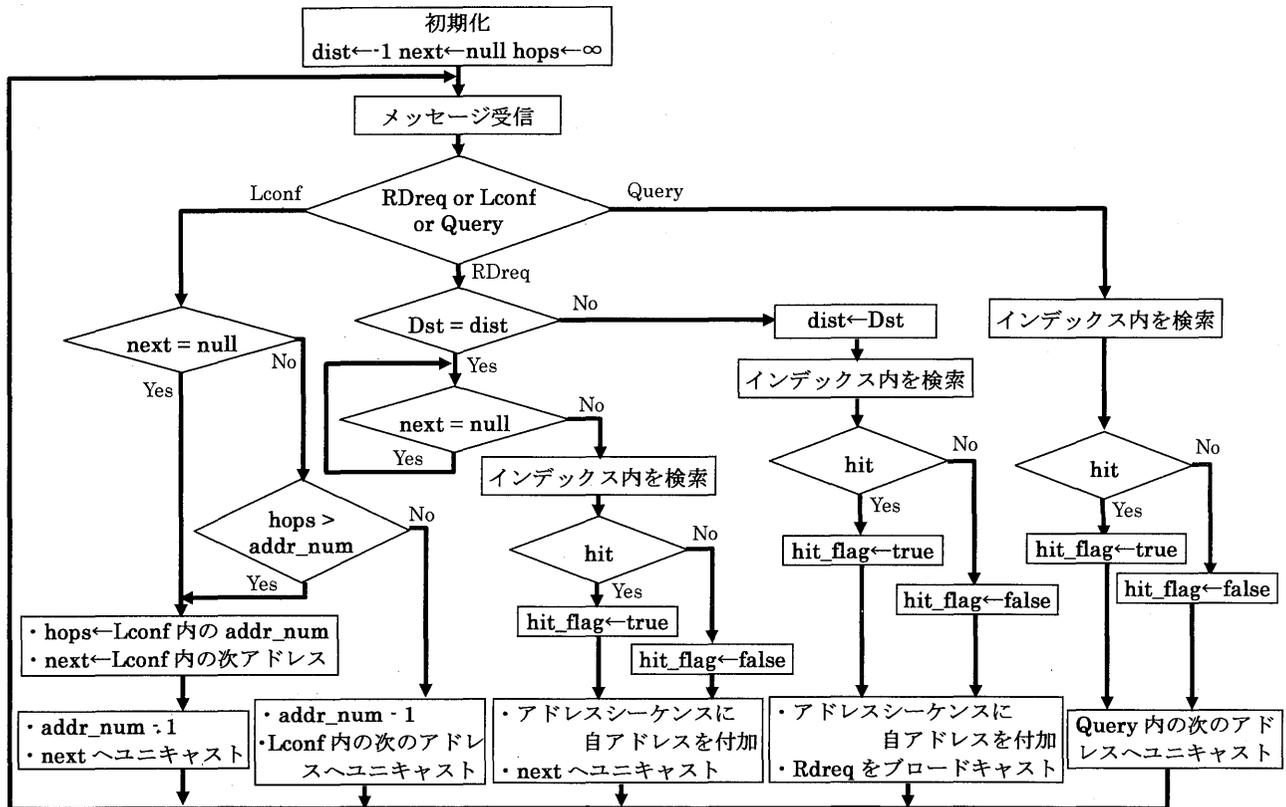


図 4 端末の処理手順

じ、この *Lconf* のアドレスシーケンスにおける *M* の次のアドレスに *Lconf* をユニキャスト送信する。

Step1-5

Lconf を受信した *S* はこの *Lconf* を破棄する。

□

【2回目以降の情報検索】

2回目以降の情報検索はすでに検出されているループ経路を用いて行う。

前回の情報検索後、各経路の評価値を算出し、検索元と通信可能な全てのノードを最少経路数で被覆する経路の組合せを作成し、検索に最適な経路の組合せを決定する。検索に使用する経路数を少なくすることで、各端末のメッセージ中継数や帯域消費を抑えることができる。なお、評価値の算出方法および検索に用いる経路の組合せの決定方法は 3.2 で述べる。

Query は情報検索メッセージであり、検索に用いる経路のアドレスシーケンスと各アドレスに対応する *hit_flag* と検索条件が格納されている。*hit_flag*

については *RDreq* と同様である。

以下、アルゴリズムを示す。

Step2-1

S は、情報検索に用いる経路のアドレスシーケンスと各アドレスに対応する *hit_flag*、そして検索条件を *Query* に格納し、アドレスシーケンスにおける *S* の次のアドレスに *Query* をユニキャスト送信する。なお、*Query* は使用する組合せに含まれる経路数だけ生成する。

Step2-2

M ($\neq S$) が *Query* を受信した場合、自身のインデックスを検索し、検索条件に一致した場合は自身のアドレスに対応する *hit_flag* を *true* にする。そして *Query* のアドレスシーケンスにおける *M* の次のアドレスに *Query* をユニキャスト送信する。

Step2-3

S が *Query* を受信した時点で、その *Query* が通過した経路上における検索結果が分かる。

Step2-4

S が *Query* を1つ以上受信し、その *Query* が通過した経路上に情報保持ノードがあれば、検索に成功

したとする。 S が *Query* を全て受信できない、または *Query* を全て受信しても情報保持ノードがない場合は検索失敗となる。 S が *Query* を受信できなかった場合は現在使用している組合せと、その *Query* に対応する経路、およびその経路が含まれている組合せを無効にする。

□

3.2 経路の評価及び検索経路選択

2回目以降の情報検索に使用する経路の選択方法を示す。

各経路に評価値を与え、この経路評価値と、各経路のリンク数により、検索に使用する経路の組合せを選出する。経路評価値は、前回検索時において各経路でヒットした情報保持ノードの個数で算出する。これは、前回の検索後、次回類似した情報を検索する場合、同じ端末が情報を保持している可能性が高いと考えられるためである。また、リンク数が同じ場合は、ヒット率を上げるために、前回の情報保持ノードが各経路に分散されている組合せを選択する。

経路選出の優先順位を以下に示す。

- i) 検索元 S と通信可能な全てのノードを被覆するループ経路の組合せ
- ii) 有効な組合せ中の全経路に前回の情報保持ノードが1つ以上含まれる
- iii) 組合せ中で、各経路のリンク数の合計(総リンク数)が最小の組合せ
- iv) 総リンク数が同じ場合、経路評価値の分散が最小の組合せ

上記の条件で検索に使用できる組合せがない場合、前回の情報保持ノードがない経路が1本以上ある有効な組合せの集合において、上記と同様の手順で総リンク数が最小かつ経路評価値の分散が最小の組合せを選択し検索経路の組合せとして使用する。

4. シミュレーションと評価

本章では、提案手法をC言語で実装し、4.1で述べる2項目に着目してシミュレーションによる評価を行った。

4.1 評価項目

ここでは、P2Pの検索フェーズで最も重要なヒット率を評価項目とする。さらに、アドホックネットワーク上のP2Pでは経路の冗長性が重要となることを考慮し、その指標として平均ヒット数を評価項目に加える。

● ヒット率

1回の検索で、検索条件に一致したノードが1つでもあればヒットしたと定義する。なければ検索失敗と判断する。ヒット率は1回の検索でヒットした割合である。

● 平均ヒット数

1回の検索で、ヒットしたノードの数の平均である。これが多ければパラレルに効率よく転送が行いやすくなる。

4.2 シミュレーション条件

1000m四方に通信距離10~200mの端末をランダムに配置し、ループ経路探索を100回成功するまで行った。なお、情報保持ノードは検索を行うたびに異なるが、前回の情報保持ノードは90%、また前回情報保持ノードでなかった場合は10%の確率で情報保持ノードとなるものと仮定した。TTL(Time to Live)は、メッセージの到達範囲を表すパラメータであり、シミュレーションを行う計算機の資源の制約より、ここでは7とした。

ノードの最大移動速度(V)を1サイクルあたり2, 4, 6, 8, 10(m)と設定し、移動方向は上下左右(4方向)とする。また、経路情報更新間隔を5, 10, 15, 20(回)の4通りの場合をそれぞれ100回シミュレーションを行った。

4.3 シミュレーション結果

シミュレーションの結果を図5~図12に示す。図5, 9, 図6, 10, 図7, 11, 図8, 12はそれぞれ経路情報更新間隔5, 10, 15, 20の場合のヒット率と平均ヒット数のグラフを示す。

4.4 考察

シミュレーション結果より、ヒット率は検索回数が進むにつれて低下している。また、平均ヒット数は検索回数に関係なくほぼ一定である。

例えば、ヒット率を60%以上に保つためには、ノ

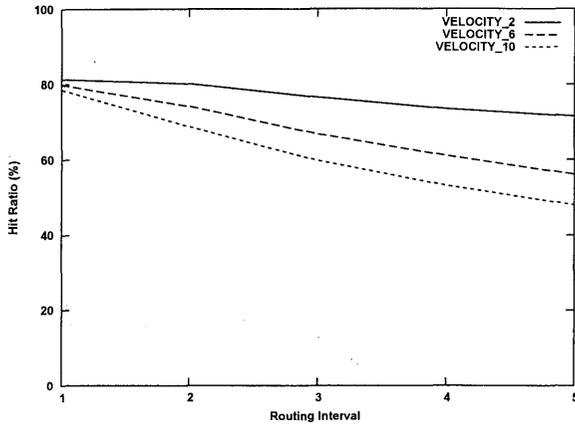


図 5 ヒット率(更新間隔 5).

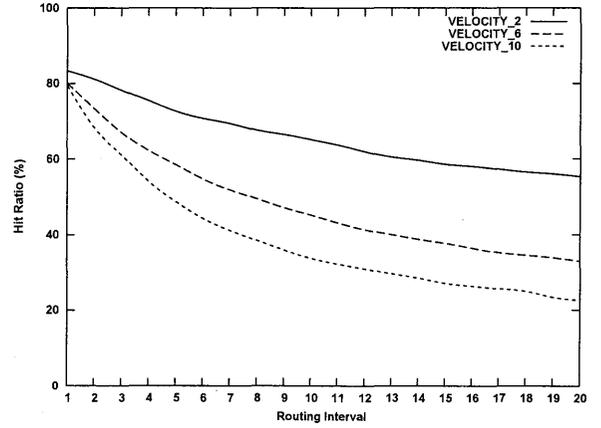


図 8 ヒット率(更新間隔 20).

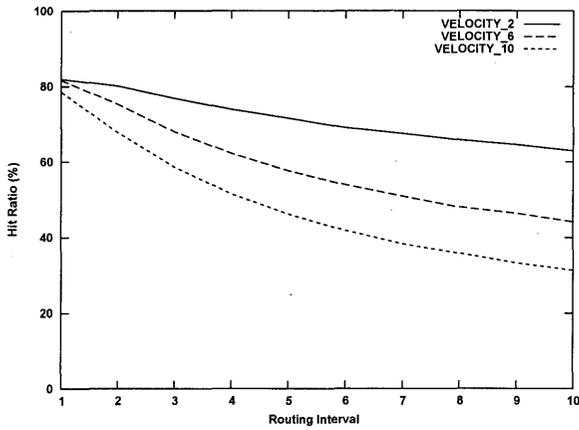


図 6 ヒット率(更新間隔 10).

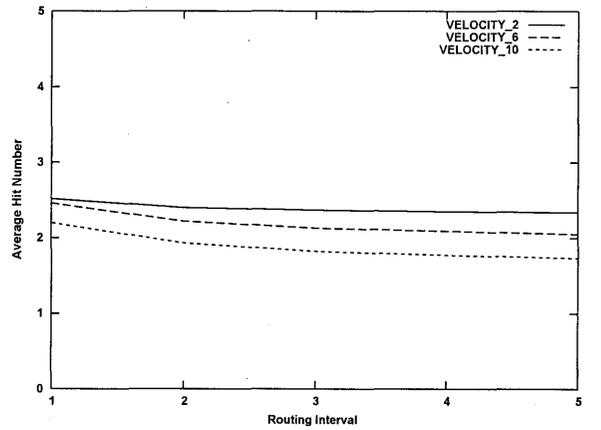


図 9 平均ヒット数(更新間隔 5).

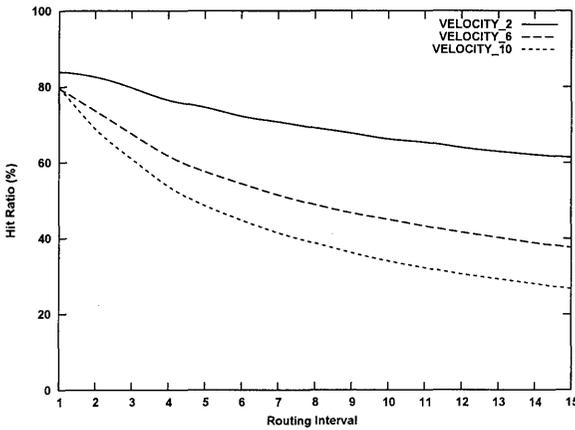


図 7 ヒット率(更新間隔 15).

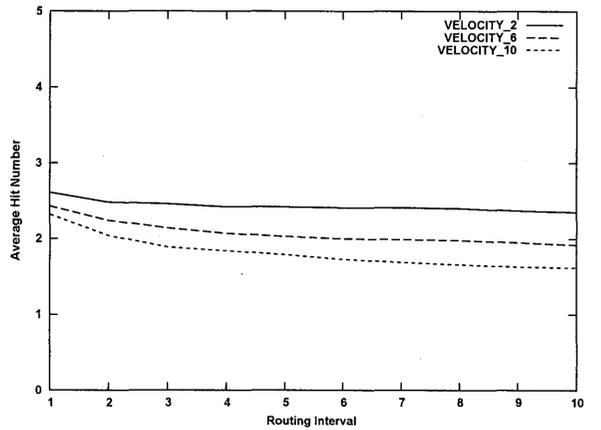


図 10 平均ヒット数(更新間隔 10).

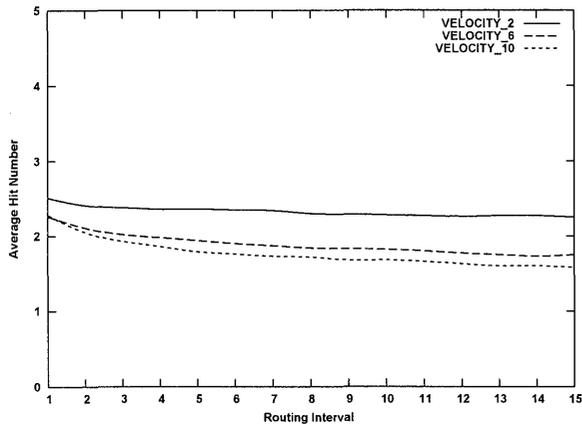


図 11 平均ヒット数(更新間隔 15).

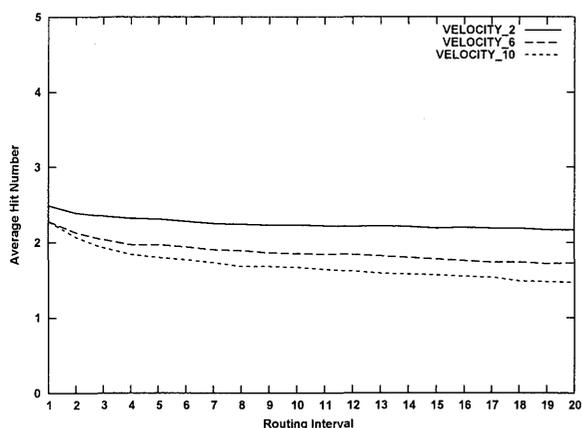


図 12 平均ヒット数(更新間隔 20).

ード移動最大速度 $V=2$ の場合は 15 回, $V=10$ の場合は 3 回, 検索を行うごとに経路情報を更新する必要がある。ここで, V の単位を m/秒とすると, $V=2$ は歩行速度の目安になる。このことから, 歩行速度の範囲で提案手法が有効であることが分かる。また, ノードの移動速度が大きくなるほど最初数回の検索でヒット率の低下が激しいのは, 速度が大きいと無効になる経路数の増加が顕著となり, それに合わせて無効になる組合せ数も増加して数回の検索で有効な経路の組合せがなくなってしまうためと考えられる。

平均ヒット数は検索回数に関わらず 2 個程度であった。これは TTL が 7 のため検出されるループ経路が比較的小規模で, 検索でヒットする情報保持ノード数が少ない場合が多いためと考えられる。

5. まとめ

本稿では, 片方向リンクを含むアドホックネットワーク上で P2P システムを構築する際に効率よく検索を行う手法を提案し, シミュレーションによる評価を行った。本提案手法では, 最小経路数でループ経路上の全ノードを被覆する組合せを作成し, 検索を行う度に組合せの総リンク数が少なく, 前回の情報保持ノードが各経路に最も分散された組合せを選択し, その経路をユニキャストにより検索を行うことで, ブロードキャストの使用を抑制した。また, シミュレーションを行った結果, 歩行速度では提案手法が有効であることが確認された。

今後の課題として, 片方向リンクを含むアドホックネットワーク上でループ経路を用いた転送フェーズのアルゴリズムの検討が挙げられる。さらに, アドホックネットワーク上で P2P システムを実現する上での問題点などを明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) 神林 洋平, 佐川 陽介, 桧垣 博章, "ループ経路に基づいたアドホックルーティングプロトコルの実装," 電子情報通信学会技術報告, Vol.SST2001, No.162, pp.247-252, 2002.
- 2) 浅野 知倫, 桧垣 博章, "MANET のための複数経路を用いたルーティングプロトコル MR-LBSR とその性能評価," 電子情報通信学会技術報告, Vol.IN2003, No.94, pp.25-30, 2003.
- 3) C-K.Toh, "アドホックモバイルワイヤレスネットワーク," 構造計画研究所, 2003.
- 4) 伊藤 直樹, "P2P コンピューティング," SRC, 2001.
- 5) 宮崎 純生, 上田 清志, 岩田 哲弥, 中村 宏之, "モバイルアドホックネットワークにおける P2P トポロジ制御システム," 電子情報通信学会技術報告, Vol.NS2002, No.324, pp.331-334, 2003.