

片方向リンクを含む MANET のためのルーティングプロトコル C-LBSR

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科
卯木 宏幸 桧垣 博章
E-mail: {unoki, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

アドホックネットワークのためのルーティングプロトコルとして DSR (Dynamic Source Routing Protocol)、AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol)、TORA (Temporally-Ordered Routing Algorithm) などが提案されている。これらのプロトコルは、アプリケーションメッセージの配送を開始する直前に送信元移動コンピュータから送信先移動コンピュータまでの経路探索を行ない、検出された経路情報のみを管理し、これを用いてメッセージ配送を行なうオンデマンド型のプロトコルである。また、経路探索の対象となるのは双方向リンクのみであり、片方向リンクは探索の対象とならない。しかし、アドホックネットワークを構成する移動コンピュータの残電力の変化による無線信号到達範囲の変動によって頻繁に片方向リンクが発生する。このため、片方向リンクを対象外とするルーティングプロトコルでは、経路を検出できない確率が高くなるという問題がある。我々は、片方向リンクも含む MANET のためのルーティングプロトコルとして LBSR (Loop-Based Source Routing Protocol) を提案した。本論文では、多数のユニキャストメッセージを必要とする LBSR の欠点を解消するために、小ループ経路の接合によって経路検出を行う新しいプロトコル C-LBSR (Chained LBSR) を提案する。

C-LBSR: Chained Loop-Based Source Routing Protocol

Hiroyuki Unoki and Hiroaki Higaki
Department of Computers and Systems Engineering
Tokyo Denki University
E-mail: {unoki, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

Several routing protocols, e.g. DSR (Dynamic Source Routing Protocol), AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol) and TORA (Temporally-Ordered Routing Algorithm), have been proposed for routing application messages in ad-hoc networks. These are on-demand routing protocols. Only when a source mobile computer requires to transmit data packets, it searches a route to a destination one. In addition, these protocols only support bi-directional (symmetric) communication links. However, in an ad-hoc network, due to difference of battery capacity in every mobile computer, there are much chance of existence of uni-directional (asymmetric) communication links. Hence in conventional ad-hoc routing protocols, probability of successful route detection gets lower. The authors have proposed an ad-hoc routing protocol LBSR (Loop-Based Source Routing Protocol) in which multiple loops including a source mobile computer are detected by using both broadcast and unicast transmission of control messages. In LBSR, a number of broadcast messages is reduced; however, many unicast messages are required since information of a newly detected loop is informed of a source mobile computer. In order to reduce a number of unicast messages, we propose C-LBSR (Chained LBSR) protocol in this paper. Here, information of a newly detected loop is not informed of a source mobile computer and a target loop containing both a source and a destination mobile computers is achieved by combination of multiple smaller loops.

1 背景と目的

近年、PDA やノート型 PC などの移動コンピュータの普及が進んでいる。また、IEEE802.11 [3] や HIPER-LAN [1]、Bluetooth [2] といった無線 LAN プロトコル技術の研究開発、使用が進み、移動コンピュータを含むネットワークの活用が期待されている。従来のコンピュータネットワークは、有線ネットワークに接続されたルータのみがメッセージの配送を行なうインフラストラクチャネットワーク (Infrastructure Networks) であった。移動コンピュータは、有線ネットワークに接続されたアクセスポイントの無線信号到達範囲内に位置するときのみ、これを經由して他のコンピュータと通信することができる。しかし、インフラストラクチャネットワークを対象とした従来の構築、管理、運用手法を、災害救助活動やイベント会場などに使用されるコンピュータネットワークのように、移動性、緊急性、一時性を要求される用途に適用することは、その構築コストが大きいため困難である。そこで、ルータのみによってメッセージが配送される従来のネットワークに代わって、すべての移動コンピュータがメッセージの配送を行なう、すなわち、すべての移動コンピュータがルーティング機能を持つネットワークであるアドホックネットワーク (Ad-hoc Networks) への要求が高まっている。アドホックネットワークでは、すべてのコンピュータがメッセージ配送を行ない、かつ、これらのコンピュータが移動することから、既存の有線ネットワークを対象としたルーティングプロトコルとは異なるルーティングプロトコルが必要とされる。有線ネットワークでは、距離ベクトルに基づく RIP (Routing Information Protocol) [6] やリンクステートに基づく OSPF (Open Shortest Path First) [9] といった、各ルータが定期的に経路情報を交換し、ネットワーク全体のトポロジを管理するプロアクティブ (Proactive) 型の手法が採られている。DSDV [11] は、この手法をアドホックネットワークに適用したルーティングプロトコルである。しかし、無線ネットワークでは通信帯域幅が十分ではないため、通信要求の有無に関わらず経路情報を交換するためのメッセージが必要となるこれらのルーティングプロトコルをアドホックネットワークに適用するのは困難である。

そこで注目されているのがリアクティブ (Reactive) 型あるいはオンデマンド (On-Demand) 型のルーティングプロトコルである。各ルータのルーティングテーブルに格納された経路情報を定期的に交換し、自身のルーティングテーブルの経路情報を更新するのではなく、メッセージ配送を開始するときに送信元から送信先までの経路を探索する。各移動コンピュータは、検出した経路のみを管理し、移動コンピュータ間の定期的な経路情報の交換は必要とされない。オンデマンド型のプロトコルとして、AODV [12]、DSR [5]、TORA [10] などが提案されている。これらのプロトコルは、各移動コンピュータから送信される無線信号の到達範囲の大きさがすべて同一であり、隣接移動コンピュータ間が双方向リンクで接続されていることを仮定している。しかし、無線通信

では、無線信号の減衰、反射、回折等により必ずしも双方向リンクで接続されているとは限らない。また、移動コンピュータの残電力の違いにより、その送受信能力は一定ではない。すなわち、移動コンピュータの残電力の変化によって無線信号の到達範囲の大きさが変化する。このため、従来の双方向リンクのみを用いるルーティングプロトコルでは、片方向リンクが存在する場合に、経路の検出確率が低下する可能性がある。すなわち、アドホックネットワークの可用性 (アベイラビリティ) を高く保つために、片方向リンクをも用いたルーティングプロトコルの設計、使用が求められている。これまでに提案された片方向リンクを用いるアドホックルーティングプロトコルとして DSR [5] や ULSR [15]、RODA [7] などがある。しかし、経路探索時に 2 組のフラッディングを用いるために大きなトラフィックが発生する、片方向リンクの割合が小さい場合にのみ効率的な経路探索が可能となる、といった問題がある。これらの問題を解決するプロトコルとして LBSR [13] が提案されている。DSR が送信元から送信先までの経路と送信先から送信元までの経路を独立に探索しているのに対して、LBSR では経路探索時に送信元から送信先を經由し送信元へと戻るループ経路を検出することにより、1 組のフラッディングと複数のユニキャストの組み合わせによって経路を検出している。しかし、LBSR では、プロトコル実行中に検出したすべてのループ経路の情報を送信元に集約しているため、経路探索時間、必要なユニキャストメッセージ数ともに大きくなっているという問題がある。本論文では、送信元を含まないループ経路を探索し、その接合として、送信元と送信先をともに含むループ経路を構築する新しいプロトコル C-LBSR (Chained Loop-Based Source Routing) を提案する。

2 従来手法

2.1 LBSR

これまでに提案された多くのアドホックルーティングプロトコルは、Message Diffusion Protocol [8] を無線 LAN 環境に適用したフラッディング [4] という手法を用いている。無線 LAN に使用される無線通信メディアの多くはブロードキャストベースであるため、ある移動コンピュータが送信した無線信号は、その到達範囲内にあるすべての移動コンピュータが受信することができる。ある移動コンピュータがメッセージ m をブロードキャストし、それを受信したすべての移動コンピュータが同様に m をブロードキャストする。これを繰り返すことによって、マルチホップで到達可能なすべての移動コンピュータに m を配送することが可能である。これがフラッディングである。

無線信号には、光や電波といった電磁波が用いられる。無線信号を用いたアドホックネットワークでは、多くの有線ネットワークのように各隣接移動コンピュータ間が必ずしも双方向リンクで接続されるとは限らない。ところが、現在の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の多くは隣接移動コンピュータ間の

リンクが双方向であることを仮定している。本論文の議論の対象である LBSR [13] は、アドホックネットワーク内に片方向リンクが存在するものと仮定したオンデマンド型ルーティングプロトコルである。双方向リンクのみでなく、片方向リンクもメッセージの配送経路に用いることによって、経路検出の成功率を高めることができる。片方向リンクもメッセージ配送経路として使用するアドホックルーティングプロトコルには DSR [5]、ULSR [15]、RODA [7] がある。なお、LBSR は、検出した配送経路を送信元が獲得し、その経路をアプリケーションメッセージのヘッダに格納し、各移動コンピュータがこれを用いてメッセージを配送するソースルーティングプロトコルである。

隣接移動コンピュータ間のすべてのリンクが双方向であるアドホックネットワークにおいては、送信元移動コンピュータ S から送信先移動コンピュータ D までの経路 $R_{S \rightarrow D}$ を検出すれば、同時に経路 $R_{D \rightarrow S}$ を検出したことになる。 $R_{S \rightarrow D}$ を反転させて得られる $R_{D \rightarrow S}$ を用いることで、 D で検出された $R_{S \rightarrow D}$ を S が得ることができる。しかし、片方向リンクを含むアドホックネットワークにおいては、 $R_{D \rightarrow S}$ は $R_{S \rightarrow D}$ の反転とはなっていない。 $R_{S \rightarrow D}$ を S が得るためには、 $R_{S \rightarrow D}$ と $R_{D \rightarrow S}$ が必要である。DSR では、これらを 2 つの独立なフラッディングによって検出している。これに対して、LBSR では、 $R_{S \rightarrow D}$ と $R_{D \rightarrow S}$ を連結して得られるループ経路を探索している。特に、求める経路である S から D を通り S に戻るループ経路の探索中に検出される 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低減している。

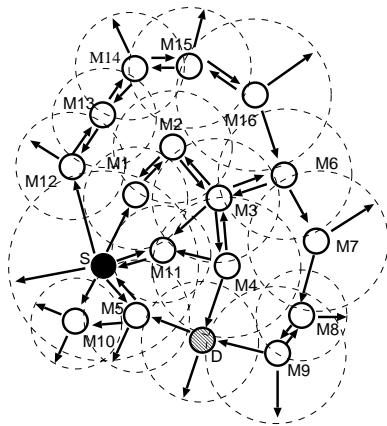


図 1: LBSR におけるループ経路探索

LBSR では、経路探索時に 2 種類のメッセージ $Lreq$ と $Lconf$ を用いる。 $Lreq$ は、 S から S へ戻るループ経路を探索するためのメッセージであり、経路上にある移動コンピュータのアドレスのシーケンスが格納されている。 $Lreq$ は、 S を基点とするフラッディングによって配送される。 S が $Lreq$ を受信することによって、 S を含むひとつのループ経路が検出される。 $Lconf$ には、検出

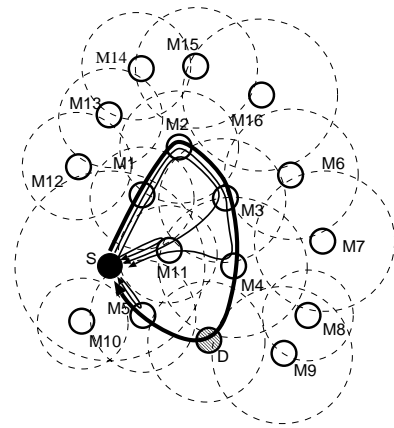


図 2: LBSR におけるループ経路構築

された 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送され、受信した移動コンピュータに S へ至る経路が通知される。これによって、以降受信した $Lreq$ 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。

[LBSR プロトコル]

0. 各移動コンピュータ M_i は以下の 4 つの変数を初期化する。 $req_flag_i \leftarrow false$ 、 $stop_flag_i \leftarrow false$ 、 $next_i \leftarrow null$ 、 $hops_i \leftarrow \infty$ 。
1. 送信元 $S (= M_0)$ は自身のみからなるアドレスシーケンスを含む $Lreq$ メッセージを、無線信号到達範囲内に存在するすべての移動コンピュータ M_i にブロードキャストする。
2. 送信元 S ではない移動コンピュータ M_i が $Lreq$ メッセージを受信した場合、以下の手順でメッセージを処理する。
 - $stop_flag_i = true$ である場合、 $Lreq$ メッセージを破棄する。
 - 自身が送信先 D かつ $req_flag_i = true$ であるならば、 $Lreq$ メッセージを破棄する。
 - $req_flag_i = true$ かつ $stop_flag_i = false$ である場合
 - $next_i = null$ の場合、 M_i は $Lconf$ メッセージを受信し、 $next_i$ が設定されるまで待機する。再開はステップ 2 の先頭からとする。
 - $next_i \neq null$ の場合、 $Lreq$ メッセージ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、 $next_i$ へユニキャストで $Lreq$ を送信する。
 - $req_flag_i = false$ かつ $stop_flag_i = false$ である場合、 $Lreq$ メッセージ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、無線信号到達範囲内にいるすべての移動コンピュータへブロードキャストする。このとき、 $req_flag_i \leftarrow true$ とする。
3. $Lreq$ メッセージを受信した送信元 S は、 $Lreq$ メッセージ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、以下の手順でメッセージを処理する。

● $stop_flag_0=false$ の場合

– 受信した $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンスに送信先 D が含まれる場合、 S は $stop_flag_0 \leftarrow true$ とし、 $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンスを $Lconf$ メッセージに格納する。このシーケンスに含まれるアドレスの数から 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 の次のアドレスにこの $Lconf$ メッセージをユニキャスト送信する。

– 受信した $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンスに送信先 D が含まれない場合、 $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンスを $Lconf$ メッセージに格納する。このシーケンスに含まれるアドレスの数から 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 の次のアドレスにこの $Lconf$ メッセージをユニキャスト送信する。

● $stop_flag_0=true$ の場合、 $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンスを $Lstop$ メッセージに格納する。このシーケンスに含まれるアドレスの数から 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 の次のアドレスにこの $Lstop$ メッセージをユニキャスト送信する。

4. 送信元 S ではない移動コンピュータ M_i が $Lconf$ メッセージを受信した場合、以下の手順でメッセージを処理する。

● $next_i=null$ の場合、 M_i は、 $Lconf$ メッセージのアドレスシーケンスにおける M_i の次のアドレスを $next_i$ に、 S までのホップカウントを示す $addr_num$ の値を $hops_i$ にそれぞれ格納する。 $Lconf$ メッセージの $addr_num$ から 1 を減じ、この $Lconf$ メッセージを $next_i$ にユニキャストで送信する。

● $next_i \neq null$ の場合

– $hops_i$ の値が、 $Lconf$ メッセージの $addr_num$ よりも大きい場合、受信した $Lconf$ メッセージのアドレスシーケンスにおける M_i の次のアドレスを $next_i$ に、 $addr_num$ の値を $hops_i$ にそれぞれ格納する。 $Lconf$ メッセージの $addr_num$ から 1 を減じ、この $Lconf$ メッセージのアドレスシーケンスにおける M_i の次のアドレスに $Lconf$ メッセージをユニキャストで送信する。

– $hops_i$ の値が、 $Lconf$ メッセージ $addr_num$ よりも小さい場合、受信した $Lconf$ メッセージのアドレスシーケンスにおける M_i の次のアドレスに $Lconf$ メッセージをユニキャストで送信する。

5. $Lconf$ メッセージを受信した送信元 S はこのメッセージを破棄する。

6. $Lstop$ メッセージを受信した移動コンピュータ M_i は、 $stop_flag_i \leftarrow true$ とし、 $Lstop$ メッセージのアドレスシーケンスにおける M_i の次のアドレスにこの $Lstop$ メッセージを送信する。

7. $Lstop$ メッセージを受信した送信元 S は、このメッ

セージを破棄する。□

3 C-LBSR プロトコル

LBSR では、送信先移動コンピュータ D を含まないループ経路を検出すると、その情報を必ず送信元移動コンピュータ S に伝達し、 $Lconf$ メッセージによってループ経路上の移動コンピュータにこの経路を伝える。その結果、複数のループ経路に含まれるリンクを經由して複数の $Lconf$ メッセージがユニキャスト配送される。一般に S に近いリンクであるほど多数の $Lconf$ メッセージが配送されることになり、結果として LBSR では多数のユニキャストメッセージが交換されることになる [14]。このため、経路探索に要する時間とメッセージ数のオーバーヘッドが大きくなっている。LBSR における $Lconf$ メッセージの役割は、以下の 2 つである。

- (1) 検出したループ経路に含まれる移動コンピュータが、既に検出された 1 つ以上のループ経路に含まれていることを認識する。
- (2) 検出したループ経路に含まれる移動コンピュータが、送信元移動コンピュータへの経路を認識する (この経路の次ホップアドレスを獲得する)。

この (1)、(2) を実現するために、 $Lconf$ メッセージを S を出発点として、検出したループ経路全体を配送する手法を LBSR では採用している。

ところで、検出済みのループ経路 L 上にある移動コンピュータ M_i が $Lreq$ メッセージを受信することによって、新たにループ経路 L' が検出される時、 L と L' との間には次の 2 つの関係のいずれかが成立する。

- (A) L に含まれるが L' に含まれない移動コンピュータが存在する (図 3)。
- (B) L に含まれる移動コンピュータはすべて L' に含まれる (図 4)。

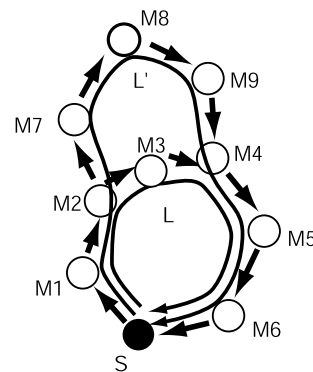


図 3: ループが接合しない例

ここで、 $L' - L$ は、自身を含むループ経路がはじめて検出された移動コンピュータの集合である。 S から D への経路を検出するためには、 $L' - L$ に含まれる移動コンピュータに検出したループ経路を伝えなければならない。また、 $L' - L$ に含まれる移動コンピュータに伝えれば十分である。(A) の場合、 $L' - L$ に含まれる移動コンピュータに検出したループ経路を伝えるためには S を經由しなければならない。したがって、LBSR と同様に

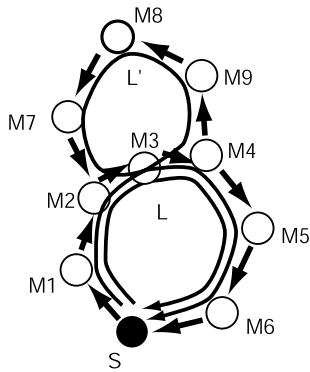


図 4: ループが接合する例

$Lreq$ を S までユニキャスト配送し、 S からループ経路の全体 (すなわち L') に沿って $Lconf$ をユニキャスト配送することになる。しかし、(B) の場合、 M_i から S を経由せずに $L' - L$ に含まれるすべての移動コンピュータを通り M_i に戻るループ経路が存在する。このループ経路は、 L に接合する新しいループ経路である。C-LBSR では、この新しいループ経路に沿ってのみ $Lconf$ メッセージを配送する。この結果、 $L' - L$ に含まれる移動コンピュータは L' に含まれることを知る事ができるが、 L に含まれる移動コンピュータは L' に含まれることを知る事ができない。しかし、 $Lconf$ の持つ上記の 2 つの役割は果たされていることから、この方法は正しく機能する。 $Lconf$ を $L' - L$ にのみ配送することによって、ユニキャストメッセージ数を削減することができる。

[C-LBSR プロトコル]

0. 各移動コンピュータ M_i は以下の 5 つの変数を初期化する。 $req_flag_i \leftarrow false$ 、 $stop_flag_i \leftarrow false$ 、 $next_i \leftarrow null$ 、 $hops_i \leftarrow \infty$ 、 $loops_i \leftarrow \phi$ 。
1. 送信元 $S (= M_0)$ は自身のみからなるアドレスシーケンス $Lreq.seq = \langle S \rangle$ を含む $Lreq$ メッセージを、無線信号到達範囲内に存在するすべての移動コンピュータ M_i にブロードキャストする。
2. 送信元 S ではない移動コンピュータ M_i が $Lreq$ メッセージを受信した場合、以下の手順でメッセージを処理する。
 - $stop_flag_i = true$ である場合、 $Lreq$ メッセージを破棄する。
 - 自身が送信先 D かつ $req_flag_i = true$ であるならば、 $Lreq$ メッセージを破棄する。
 - $req_flag_i = true$ であり、かつ、 $stop_flag_i = false$ である場合
 - $next_i = null$ の場合、 M_i は $Lconf$ メッセージを受信し、 $next_i$ が設定されるまで待機する。再開はステップ 2 の先頭からとする。
 - $next_i \neq null$ の場合、 $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンス $Lreq.seq$ の末尾に自身のアドレスを追加し、以下の処理を行う。
 - ◇ $loops_i$ に含まれるループ経路 L 、 L' について L の M_i 以降のアドレスシーケンス

$Post(L, M_i)$ を $Lreq.seq$ の末尾に接続したループ経路を $Joint(Lreq.seq, Post(L, M_i))$ とする。 $Joint(Lreq.seq, Post(L, M_i)) \supset L'$ (L' に含まれるすべてのアドレスが $Joint(Lreq.seq, Post(L, M_i))$ に含まれる) となる L 、 L' の組が存在するならば、 $Lconf.seq \leftarrow Joint(Lreq.seq, Post(L, M_i)) - L'$ 、 $Lconf.loop \leftarrow Joint(Lreq.seq, Post(L, M_i))$ 、 $Post(Joint(Lreq.seq, Post(L, M_i)), M_i)$ に含まれるアドレスの数を $addr_num$ に格納した $Lconf$ メッセージを $Lconf.seq$ における M_i の次のアドレスにユニキャスト送信する。

◇ 上記の L 、 L' の組が存在しないならば、 $next_i$ へ $Lreq$ メッセージをユニキャストで送信する。

- $req_flag_i = false$ かつ $stop_flag_i = false$ である場合、 $Lreq$ メッセージ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、無線信号到達範囲内にあるすべての移動コンピュータへブロードキャストする。このとき、 $req_flag_i \leftarrow true$ とする。
3. $Lreq$ メッセージを受信した送信元 S は、 $Lreq$ メッセージ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、以下の手順でメッセージを処理する。
 - $stop_flag_0 = false$ の場合
 - 受信した $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンス $Lreq.seq$ に送信先 D が含まれる場合、 S は $stop_flag_0 \leftarrow true$ とし、 $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンスを $Lconf$ メッセージに格納する。すなわち $Lconf.seq \leftarrow Lreq.seq$ 、 $Lconf.loop \leftarrow Lreq.seq$ とする。このシーケンスに含まれるアドレスの数から 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 の次のアドレスにこの $Lconf$ メッセージをユニキャスト送信する。このとき、 $loop_0$ に $Lconf.loop$ を加える。
 - 受信した $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンスに送信先 D が含まれない場合、 $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンス $Lreq.seq$ を $Lconf$ メッセージに格納する。すなわち $Lconf.seq \leftarrow Lreq.seq$ 、 $Lconf.loop \leftarrow Lreq.seq$ とする。このシーケンスに含まれるアドレスの数から 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 の次のアドレスにこの $Lconf$ メッセージをユニキャスト送信する。このとき、 $loop_0$ に $Lconf.loop$ を加える。
 - $stop_flag_0 = true$ の場合、 $Lreq$ メッセージのアドレスシーケンスを $Lstop$ メッセージに格納する。すなわち $Lconf.seq \leftarrow Lreq.seq$ 、 $Lconf.loop \leftarrow Lreq.seq$ とする。このシーケンスに含まれるアドレスの数から 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 の次のアドレスにこの $Lstop$ メッセージをユニキャスト送信する。このとき、 $loop_0$ に $Lconf.loop$ を加える。
 4. 送信元 S ではない移動コンピュータ M_i が $Lconf$ メッセージを受信した場合、以下の手順でメッセージを処

理する。

- $next_i = null$ の場合、 M_i は、 $Lconf$ メッセージのアドレスシーケンスにおける M_i の次のアドレスを $next_i$ に、 S までのホップカウントを示す $addr_num$ の値を $hops_i$ にそれぞれ格納する。 $Lconf$ メッセージの $addr_num$ から 1 を減じ、この $Lconf$ メッセージを $next_i$ にユニキャストで送信する。このとき、 $loop_0$ に $Lconf.loop$ を加える。

- $next_i \neq null$ の場合

- $hops_i$ の値が、 $Lconf$ メッセージの $addr_num$ よりも大きい場合、受信した $Lconf$ メッセージのアドレスシーケンスにおける M_i の次のアドレスを $next_i$ に、 $addr_num$ の値を $hops_i$ にそれぞれ格納する。 $Lconf$ メッセージの $addr_num$ から 1 を減じ、この $Lconf$ メッセージのアドレスシーケンスにおける M_i の次のアドレスに $Lconf$ メッセージをユニキャストで送信する。このとき、 $loop_0$ に $Lconf.loop$ を加える。

- $hops_i$ の値が、 $Lconf$ メッセージ $addr_num$ よりも小さい場合、受信した $Lconf$ メッセージのアドレスシーケンスにおける M_i の次のアドレスに $Lconf$ メッセージをユニキャストで送信する。このとき、 $loop_0$ に $Lconf.loop$ を加える。

5. $Lconf$ メッセージを受信した送信元 S はこのメッセージを破棄する。
6. $Lstop$ メッセージを受信した移動コンピュータ M_i は、 $stop_flag_i \leftarrow true$ とし、 $Lstop$ メッセージのアドレスシーケンスにおける M_i の次のアドレスにこの $Lstop$ メッセージを送信する。
7. $Lstop$ メッセージを受信した送信元 S は、このメッセージを破棄する。□

4 評価

LBSR と C-LBSR について経路探索に要するメッセージ数を比較評価する。シミュレーション環境は表 1 の通りである。

表 1: シミュレーション環境

| | |
|--------------|------------|
| 無線 LAN プロトコル | IEEE802.11 |
| 実験領域 | 500m×500m |
| 移動コンピュータ数 | 20 ~ 100 |

シミュレーション結果を図に示す。LBSR と比較して C-LBSR では必要メッセージ数が削減されていることが分かる。

5 まとめと今後の課題

本論文では、検出したループ経路情報を送信元に集約しないループ探索に基づく新しい経路探索プロトコル C-LBSR を提案し、ユニキャストメッセージ数が削減されていることをシミュレーションにより明らかにした。今後は経路探索に要する時間オーバーヘッドに対する効果をシミュレーションにより明らかにする。

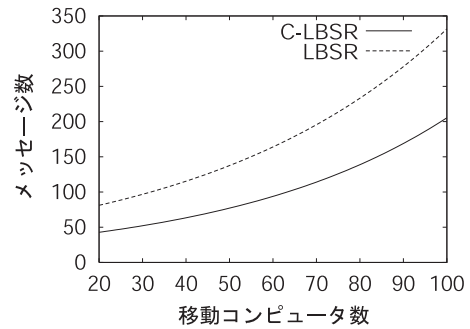


図 5: シミュレーション結果

参考文献

- [1] “Radio Equipment and Systems (RES); HIPERLAN,” ETSI Functional Specifications (1995).
- [2] “The Official Bluetooth Wireless Info Site,” <http://www.bluetooth.com>.
- [3] “Wireless LAN Medium Access control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,” Standard IEEE 802.11 (1997).
- [4] Corson, M.S. and Ephremides, A., “A Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks,” *Wireless Networks*, vol. 1, No. 1, pp. 61–81 (1995). Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-04.txt (2000).
- [5] David, B., David, A., Hu, Y.C., Jorjeta, G. and Jetcheva, “The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks,” Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-04.txt (2000).
- [6] Hedrick, C., “Routing Information Protocol,” RFC 1058 (1988).
- [7] Kim, D.K., Toh, C.K. and Choi, Y.H., “RODA: A new dynamic routing protocol using dual paths to support asymmetric links in mobile ad hoc networks,” *Proc. of the 9th International Conference on Computer Communications and Networks*, pp. 4–8 (2000).
- [8] Moses, Y. and Roth, G., “On reliable message diffusion,” *Proc. of the 8th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, pp. 119–128 (1989).
- [9] Moy, J., “Open Shortest Path First specification,” RFC 1131 (1989).
- [10] Park, V. and Corson, S., “Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1 Functional Specification,” Internet Draft, draft-ietf-manet-tora-spec-04.txt (2001).
- [11] Perkins, C.E. and Bhagwat, P., “Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers,” *ACM SIGCOMM ’94*, pp. 234–244 (1994).
- [12] Perkins, C.E. and Royer, E.M., “Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing,” *Proc. of IEEE 2nd Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 90–100 (1999).
- [13] Sagawa, Y., Asano, T., Higaki, H., “Loop-Based Source Routing Protocol for Mobile Ad-hoc Networks,” *Proceedings of the IASTED International Conference on Communications and Computer Networks (CCN2002)*, pp. 19–23 (2002).
- [14] Unoki, H., Kurosawa, Y. and Higaki, H., “LBSR: Routing Protocol for MANETs with Unidirectional Links,” *電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, 信学技報*, Vol.103, No.365, pp. 19–24 (2003).
- [15] 西澤, 荻野, 原, 塚本, 西尾, “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,” *情報処理学会論文誌*, Vol. 41, No. 3, pp. 783–791 (2000).