

ループ型アドホックルーティングプロトコルの拡張

東京電機大学 工学部 情報システム工学科
浅野 知倫 佐川 陽介 桧垣 博章

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)、LBSR (Loop-Based Source Routing Protocol) などが提案されている。これらのプロトコルは、データ通信を開始する直前に送信元から送信先までの経路構築を行ない、構築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、構築される経路が1つのみである単一経路構築プロトコルである。しかし、アドホックネットワークでは、コンピュータの移動などによる無線信号の到達範囲の変動やコンピュータの電源断などによってリンクが頻繁に切断される。このため、単一の経路のみではなく、迂回経路となり得る複数の経路を構築する複数経路構築プロトコルが必要である。本論文では、LBSR を拡張し、片方向接続を含む場合でも、ループ探索によって送信元から送信先を通り送信元へと戻る複数のループ経路を検出し、経路が切断された場合には他の経路へと切替えるとともに、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 MR-LBSR (Multiple-Route LBSR) を提案する。

Extended Loop-Based Source Routing (LBSR) Protocol with Multiple Routes

Tomonori Asano, Yosuke Sagawa and Hiroaki Higaki
Department of Computers and Systems Engineering
Tokyo Denki University
E-mail: {tom, sgw, 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 LBSR (Loop-Based Source Routing Protocol), have been proposed for routing data packets in ad-hoc networks. These are on-demand routing protocols. Only when a mobile computer requires to transmit data packets, it searches a route to a destination one. In addition, these are single-path protocols which detect only one route. However, in an ad-hoc network, due to mobility of computers and instability of communication links, multiple-route protocols are required. In this paper, we propose a novel multiple-route protocol MR-LBSR (Multiple-Route Loop-Based Source Routing Protocol) by which multiple loops including a source mobile computer and a destination one are detected. If a disconnected link is detected in the currently using route, packet transmission is switched to another route and invalid routes are removed from a set of available routes.

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 [1]やHIPER-LAN [2]といった無線LANプロトコル技術の研究開発、利用が進み、移動コンピュータでのネットワーク利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利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に困難である。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) [4]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構築を行なう。各移動コンピュータは構築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 [3]、LBSR [14]、C-LBSR [15]などが提案されている。しかし、アドホックネットワークでは、コンピュータの移動やバッテリー切れによる電源断、電磁波ノイズなどによって移動コンピュータ間のリンクが頻繁に切断される。このため、単一経路構築のルーティングプロトコルでは、経路上のリンクが切断さ

れた場合、再度経路構築を行なわなければならない。そこで、経路構築時に迂回経路となり得る複数の経路を構築するプロトコルが必要とされている。

本論文では、LBSRを拡張し、片方向接続を含む場合でも、ループ探索によって送信元から送信先を通り送信元へと戻る複数のループ経路を検出し、経路が切断された場合には他の経路へと切替えるとともに、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MR-LBSR (Multiple-Route LBSR) 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 [8]という手法を用いている。無線LANに利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移動コンピュータ間の接続が必ずしも双方向であるとは限らない。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移動コンピュータ間が双方向接続されることを仮定している。本論文の議論の対象であるLBSR [14]は、アドホックネットワーク内に片方向接続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。双方向接続のみでなく、片方向接続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。なお、LBSRは、検出した配送経路を送信元が獲得し、その経路をデータ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配送するソースルーティングプロトコルである。

移動コンピュータ間のすべての接続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。 $R_{S \rightarrow D}$ を反転させた $R_{D \rightarrow S}$ 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、片方向接続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 に戻るループ経路を探索する途中で検出される 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利用することにより、マルチキャストの利用を削減し、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。

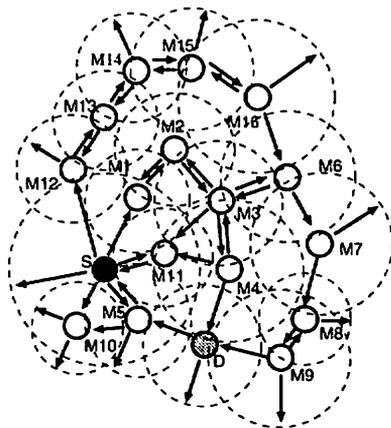


図 1: LBSR におけるループ経路探索

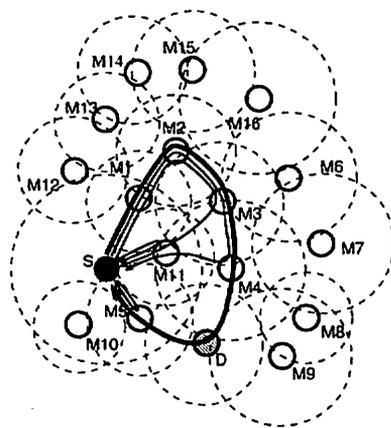


図 2: LBSR におけるループ経路構築

LBSR では、経路探索時に 2 種類のメッセージ LREQ と LOOP 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。LOOP には、 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。LOOP 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 へ至る経路を通知する。また、各移動コンピュータ M_i は、2 種類の経路キャッシュを持つ。LREQ キャッシュには、送信元 S から M_i までの経路 (アドレスのシーケンス) が格納される。また、LOOP キャッシュには、 M_i から S までの経路が格納される。LREQ キャッシュ、LOOP キャッシュへの経路追加は、それぞれ LREQ メッセージ、LOOP メッセージの受信時になされる。LOOP メッセージは、LOOP キャッシュの経路情報を用いてユニキャストされる。

[LBSR プロトコル]

1. S は、無線信号到達範囲内にあるすべての移動コンピュータ M_i に LREQ をブロードキャストする。
2. M_i または D が、LREQ を受信したならば、以下のいずれかの処理を行ってから、LREQ に含まれる経路を LREQ キャッシュに保存する。

- LREQ キャッシュが空であるならば、ただちに、LREQ を自身の無線信号到達範囲内にあるすべての移動コンピュータにブロードキャストする。ただし、LREQ をブロードキャストする前に自身のアドレスを LREQ に含まれるアドレスシーケンスの末尾に加える。
- M_i の LREQ キャッシュが空でないならば、LOOP キャッシュに含まれる経路に沿ってユニキャストで LREQ を送信する。 M_i は LREQ をユニキャストする前に自身のアドレスを LREQ に含まれるアドレスシーケンスの末尾に加える。LOOP キャッシュが空である場合には、LOOP を受信して LOOP キャッシュに経路が格納されるまで待つ。このとき LREQ は LOOP にビジーバックされる。
- D の LREQ キャッシュが空でないならば、この LREQ を破棄する。

3. S が D をアドレスシーケンスに含まない LREQ を受信したならば、LREQ に含まれるアドレスシーケンスを用いてソースルーティングされる LOOP をユニキャストで送信する。
4. M_i が LOOP を受信したならば、以下の処理を行う。
 - 4-1. LOOP キャッシュが空であるならば、このメッセージに含まれるアドレスシーケンスから S への経路を取得し、LOOP キャッシュに保存する。
 - 4-2. このメッセージに含まれるアドレスシーケンスを用いて、LOOP をユニキャストする。
5. S が D をアドレスシーケンスに含む LREQ を受信することで $R_{S \rightarrow D} + R_{D \rightarrow S}$ が得られる。以降、 S は LREQ を受信しても LOOP を送信しない。□

2.2 複数経路構築プロトコル

AODV、DSR、LBSR、C-LBSR は、いずれも単一経路構築のルーティングプロトコルである。構築された送信元 S から送信先 D への経路を用いてメッセージ配送を行なっているときに、その経路上にある中間コンピュータの移動やバッテリー容量切れによる電源断によって経路上にあるいずれかのリンクが切断された場合、再度経路構築を行なわなければならない。経路構築では、ルート要求メッセージをフラッディングするため、衝突、競合が発生する [13]。経路上にはない移動コンピュータもルート要求メッセージをブロードキャストするため、要する通信コストが大きい。そこで、経路探索時に S から D への複数経路を検出し、検出された経路のうちの一つを用いて通信し、この経路が利用できないときには、他の経路に切替えて通信する複数経路構築ルーティングプロトコルが求められている。これま

で、MultipathDSR [10]、SMR [7]、AODV-BR [6]、MNH [5]、MR-AODV [16]などが提案されている。

AODV-BR、MNH、MR-AODVでは、テーブルベースルーティングを行なうAODVを拡張して複数の経路を構築する。AODVを複数経路構築プロトコルに拡張するためにAODV-BRでは、無線通信メディアがブロードキャストベースであることを利用する。ここで、AODVによって構築される経路をプライマリルートと呼ぶこととする。プライマリルートに含まれない移動コンピュータもRREPを受信する。リンクの切断を検出した中間移動コンピュータがルート変更要求メッセージを無線信号到達範囲内にブロードキャストし、このメッセージをRREPを受信した移動コンピュータが受信することによって、この移動コンピュータを中間移動コンピュータとして含む迂回経路への切替えを行なう。ただし、この方法では、プライマリルートから1ホップ外れた経路への切替えしか行なうことができない。

MNHは、RREQのフラッディングをAODVと同様の方法で行なう。中間移動コンピュータは、2回目以降に受信したRREQに対して、1回目と同様にバックワードリンクを設定する。ただし、RREQをブロードキャストせずに破棄する。RREPは複数設定されたバックワードリンクに沿って配送される。また、中間移動コンピュータが複数回RREPを受信する場合は、受信したRREPを送信した移動コンピュータへのフォワードリンクを設定し、2回目以降に受信したRREPを破棄する。これにより複数の経路が構築される。しかし、複数経路を構築するためには、RREQの受信タイミングが厳しい制約条件を満たすことが求められる。

これらの問題を解決したプロトコルがMR-AODVである。MR-AODVでは、RREQのフラッディングによりプライマリルートを検出するとともに、これに接続する枝経路を検出する。これらの枝経路を互いに接続することによってSからDへの複数経路を構築する。このプロトコルでは、最初に検出された経路から複数ホップ離れた経路を検出することが可能であるとともに、RREQの受信タイミングに依存することなく、複数経路が構築できる。また、複数経路構築とデータ通信を並列に実行することが可能であり、経路探索の開始からデータ通信の開始までに要する時間がAODVと同じであるという利点を持つ。

MultipathDSRとSMRは、ソースルーティングを行なうDSRを拡張したプロトコルである。SからRREQがフラッディングされ、Dに到達すると、Dは到達した複数のRREQに格納された経路を格納したRREPをSに送信する。これによって、Dへの複数の経路をSが得ることができる。

これらの複数経路構築ルーティングプロトコルでは、移動コンピュータ間のリンクがすべて双方向であることを仮定している。そこで、次章では、片方向リンクを含むアドホックネットワークのための単一経路ルーティングプロトコルであるLBSR [14]を拡張し、複数経路構築を可能とし、リンク切断の検出とともに他の経路へ

と切替え、さらに無効経路を決定するプロトコルであるMR-LBSRを提案する。

3 MR-LBSR ルーティングプロトコル

3.1 複数経路構築

MR-LBSRでは、Dを通る複数のループ経路を検出する点がLBSRと異なる。そこで、Dが複数のLREQを受信することができるようにする点と、Dを通るループ経路に対してもLOOPによるループ経路確定を行なうようにする点を変更する。

1. Sは、無線信号到達範囲内にあるすべての移動コンピュータにLREQをブロードキャストする。
2. M_i または D が、LREQを受信したならば、以下のいずれかの処理を行なってから、LREQに含まれる経路をLREQキャッシュに保存する。

- LREQキャッシュが空であるならば、ただちに、LREQを自身の無線信号到達範囲内にあるすべての移動コンピュータにブロードキャストする。ただし、LREQをブロードキャストする前に自身のアドレスをLREQに含まれるアドレスシーケンスの末尾に加える。

- LREQキャッシュが空でないならば、LOOPキャッシュに含まれる経路に沿ってユニキャストでLREQを送信する。ただし、LREQをユニキャストする前に自身のアドレスをLREQに含まれるアドレスシーケンスの末尾に加える。LOOPキャッシュが空である場合には、LOOPを受信してLOOPキャッシュに経路が格納されるまで待つ。このときLREQはLOOPにビジーバックされる。

3. SがLREQを受信したならば、LREQに含まれるアドレスシーケンスを用いてソースルーティングされるLOOPをユニキャストで送信する。
4. M_i または D が LOOP を受信したならば、以下の処理を行う。

- 4-1. LOOPキャッシュが空であるならば、このメッセージに含まれるアドレスシーケンスからSへの経路を取得し、LOOPキャッシュに保存する。

- 4-2. このメッセージに含まれるアドレスシーケンスを用いて、LOOPをユニキャストする。

5. SがDをアドレスシーケンスに含むLREQを受信することで $R_{S \rightarrow D} + R_{D \rightarrow S}$ が得られる。
6. 検出されたループ経路のうちの1つをSが選択し、この経路に沿ってSTARTをユニキャストする。
7. M_i または D は START を受信すると、このループ経路における1ホップ下流の移動コンピュータのアドレスを下流キャッシュに格納し、STARTをこの下流コンピュータにユニキャスト送信する。□

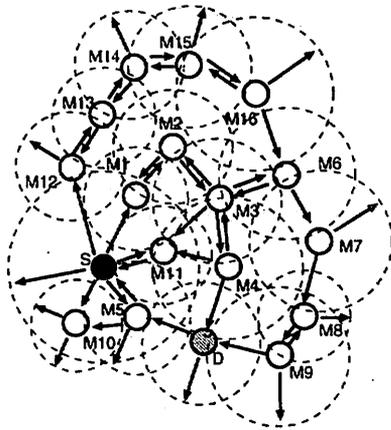


図 3: MR-LBSR におけるループ経路探索

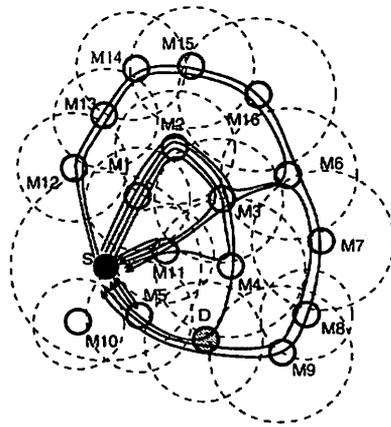


図 4: MR-LBSR におけるループ経路構築

3.2 経路切断検出と経路切替え

$R_{S \rightarrow D} + R_{D \rightarrow S} = \langle S = M_0, M_1, M_2, \dots, S \rangle$ (ただし $\exists M_j = D$) のいずれかのリンク $M_i M_{i+1}$ が切断されたことは、タイムアウトで検出する。タイムアウトを用いるために、もし S が送信すべきメッセージが一時的になくなる場合には、空メッセージを送信する。

1. 切断検出メッセージ DBREAK を送信していない M_i が上流の移動コンピュータ M_{i-1} からメッセージを受信することなくタイムアウトしたならば、 M_i のアドレスを含む DBREAK を下流キャッシュにアドレスが格納されている M_{i+1} にユニキャスト送信する。
2. M_i が M_{i-1} から DBREAK を受信したならば、この DBREAK を下流キャッシュにアドレスが格納されている M_{i+1} にユニキャスト送信する。
3. S が初めての DBREAK を受信したならば、以下の処理を行う。
 - 3-1. 現在メッセージ配送に用いているループ経路を無効化する。
 - 3-2. 有効である D を通るループ経路のうち、経路 $\langle S, M_1, \dots, M_j \rangle$ に含まれるリンク $M_i M_{i+1} (i = 0, \dots, j-1)$ のいずれか (M_j は

DBREAK にアドレスが含まれる移動コンピュータ) を含むものをすべて無効化する。

- 3-3. 有効である D を通るループ経路のうちの一つを選択し、この経路に沿って START をユニキャストする。もし、このようなループ経路が存在しない場合には 2 回目以降の DBREAK 受信もしくは 3.3 節の protocols により有効なループ経路が検出されるまで待つ。それでも検出されない場合には、3.1 節の経路構築をやり直す。

- 3-4. M_i は START を受信すると、このループ経路における 1 ホップ下流の移動コンピュータのアドレスを下流キャッシュに格納し、START をこの下流コンピュータにユニキャスト送信する。

4. S が 2 回目以降の DBREAK を受信したならば、無効化されている D を通るループ経路のうち、経路 $\langle S, M_1, \dots, M_j \rangle$ (M_j は DBREAK にアドレスが含まれる移動コンピュータ) に含まれるリンク $M_i M_{i+1} (i = 0, \dots, j-1)$ のいずれも含まないものを有効化する。□

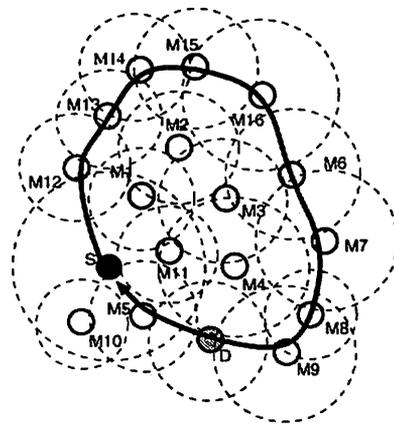


図 5: START メッセージの送信

3.3 無効経路の再有効化

3.2 節の protocols により、十分な時間が経過することにより、 S が受信した DBREAK にアドレスが含まれる移動コンピュータのうち、最も上流にあるものを M_j とすると、リンク $M_{j-1} M_j$ が切断されていることが分かる。そして、3.1 節で検出された D を通るループ経路のうち、経路 $\langle S, M_1, \dots, M_j \rangle$ に含まれるリンク $M_i M_{i+1}$ のいずれかを含む経路が無効化される。この無効化されたループ経路には、いずれのリンクも切断されていないものが含まれている。そこで、これらを検出し、再有効化する protocols を設計する。ここでは $\langle S, M_1, \dots, M_{j-1} \rangle$ に含まれるリンクのうち、 S から連続する切断されていない経路 $\langle S, M_1, \dots, M_k \rangle (k < j)$ を、 D を通らないループ経路に沿ってループ検査メッセージ LPROB をユニキャスト配送することによって

検出し、経路 $\langle M_k, \dots, M_j \rangle$ に含まれるリンクを含まないループ経路を再有効化する。

1. S は 3.1 節で検出したループ経路 (D を含まなくてもよい) のうち、経路 $\langle S, M_1, \dots, M_{j-1} \rangle$ に含まれるリンクを 1 つ以上含むすべてのループ経路に対して、この経路を含む LPROB をユニキャスト送信する。
2. LPROB を受信した M_i は、これに含まれる経路に沿って受信した LPROB をユニキャスト送信する。
3. LPROB を受信した S はこれに含まれる経路が経路 $\langle S, M_1, \dots, M_k \rangle$ を含むならば、現在無効化されているループ経路のうち経路 $\langle M_{k+1}, \dots, M_j \rangle$ に含まれるリンクを含まないものを再有効化する。
□

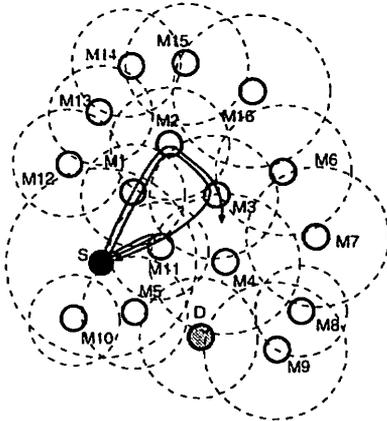


図 6: LPROB による経路切断箇所検出

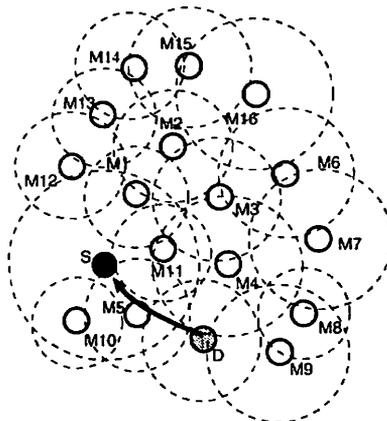


図 7: DBREAK メッセージの送信

4 まとめ

本論文では、片方向接続を含むアドホックネットワークを対象として、ループ探索に基づいて経路探索を行う LBSR プロトコルを、リンク切断に対して安定な通信を提供するために複数経路を検出するように拡張した MR-LBSR を提案した。MR-LBSR では、リンク切断の

検出により、無効化した現経路と共通リンクを持たない経路に直ちに切替えることにより、データ通信の中断時間を短縮している。また、経路探索時に検出した送信元を含み送信先を含まないループ経路を利用して切断リンクを特定し、それを含むすべての経路を無効化することで、切断リンクを含む経路が誤って利用されることを防いでいる。この無効化手続きはデータ通信と並列並行に実行される。切替えにともなうオーバーヘッドの評価と検出される経路群の頑強性の評価が今後の課題である。

参考文献

- [1] "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," Standard IEEE 802.11 (1997).
- [2] "Radio Equipment and Systems (RES); HIPERLAN," ETSI Functional Specifications (1995).
- [3] 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).
- [4] Hedrick, C., "Routing Information Protocol," RFC 1058 (1988).
- [5] Jiang, M.H. and Jan, R.H., "An Efficient Multiple Paths Routing Protocol for Ad-hoc Networks," Proc. of the 15th International Conference on Information Networking, pp. 544-549 (2001).
- [6] Lee, S.J. and Gerla, M., "AODV-BR: Backup Routing in Ad hoc Networks," Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1311-1316 (2000).
- [7] Lee, S.J. and Gerla, M., "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks," Proc. of IEEE International Conference on Communications, pp. 3201-3205 (2001).
- [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] Nasipuri, A. and Das, D.S., "On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks," Proc. of IEEE 8th International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 64-70 (1999).
- [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] Tseng, Y., Ni, S. and Shih, E., "Adaptive Approaches to Relieving Broadcast Storms in a Wireless Multihop Mobile Ad Hoc Network," Proc. of the 21st International Conference on Distributed Computing Systems, pp. 481-488 (2001).
- [14] 佐川, 桧垣, "アドホックネットワークにおけるループルーティングプロトコル," 第9回マルチメディアと分散処理ワークショップ論文集, pp. 157-162 (2001).
- [15] 佐川, 桧垣, "ループ経路接合によるアドホックルーティングプロトコル (C-LBSR)," 情報処理学会第64回全国大会論文集, No. 3, pp. 317-318 (2002).
- [16] 長谷部, 梅島, 桧垣, "複数経路を用いた安定なメッセージ配送のためのアドホックルーティングプロトコル," 情報研報, Vol. 2002, No. 49, pp. 25-32 (2002).