ループ探索に基づくアドホックマルチキャストルーティング手法*

4G－04

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科†
黒沢 祐介　佐川 陽介　桧垣 博章‡ §

1 背景と目的

近年、コンピュータの小型化と高性能化により、ノート型PCやPDAといった携帯型のコンピュータが広く利用されるようになってきた。また、ネットワーク技術の発達により、ネットワークに接続されるコンピュータの比率が高まっている。これによって、多地点遠隔会議システムやバーチャルユニバーシティ、ソフトウェアや音楽情報などを配信する放送型サービスなどのようなマルチキャストを用いたネットワークアプリケーションが広く利用されつつある。このような背景から、移動コンピュータをネットワークに接続して利用するモバイルコンピューティング環境におけるマルチキャストサービスへの要求が高まっている。移動コンピュータの通信には、IEEE802.11などの無線LANプロトコルが利用されている。移動コンピュータの移動性を活用したネットワークアプリケーションの実行環境として、アクセスポイントを用いないアドホックネットワークが注目されている。ここでは、移動コンピュータがメッセージのルーティングを行なう。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 [4] の多くは、すべての移動コンピュータの信号到達範囲の大きさが同一であると仮定している。しかし、無線通信に用いられる電磁波は、反射、回折、透過を行なうため、信号到達範囲の大きさは一定であるとは限らない。そのため、2つの移動コンピュータ間に片方向接続が存在する場合がある。本論文では、片方向接続を含む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LBSR [5] を拡張したマルチキャストルーティングプロトコルであるLBMR(Loop Based Multicast Routing)プロトコルを提案し、その有効性をシミュレーション実験によって明らかにする。

2 従来手法

アドホックルーティングプロトコルであるAODV [4] とDSR [1] をマルチキャストに拡張したものとして、MAODV [2]、マルチキャスト拡張DSR [3] がある。MAODV(Multicast Adhoc On-Demand Vecter)では、送信元SがRREQ(Route Request)メッセージをフラッディングし、RREQメッセージを受信した各送信先D_iが、Sに対してユニキャストでRREP(Route Reply)メッセージを送信する。これによって、SからD_iへの経路情報が経路上の移動コンピュータに設定される。Sがすべての送信先からのRREQを受信したとき、マルチキャストツリー上の移動コンピュータすべてのルーティングテーブルに配送に必要な設定がなされている。

マルチキャスト拡張DSRでは、Sは各送信先D_iを対象としてRREQメッセージをブロードキャストする。RREQメッセージを受信した移動コンピュータは、この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格納し、ブロードキャストする。フラッディングにより、メッセージを受信したD_iは、RREQメッセージに格納されているアドレスシーケンスをRREPメッセージに格納する。このメッセージはフラッディングによってSへ配送される。RREPに格納されたすべての経路をマルチキャストツリーを作成する。

3 LBMRプロトコル

片方向接続を含むアドホックネットワークにおけるソースルーティングを行なうためには、送信元Sから送信先Dまでの経路情報をSが得ることが必要である。このためには、SからDへの経路$R_{S\to D}$とDからSへの経路$R_{D\to S}$の検出が必要である。DSRでは、これらを2つの独立なフラッディングによって探索しているのに対し、LBSRでは、これら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を通りSに戻る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に戻る経路をユニキャストで利用することにより、経路探索に要するオーバーヘッドを削減している。

移動コンピュータには電源容量が十分ではないという特性があるため、通信においても省電力化が求められる。したがって、メッセージ送信数の削減が必要である。マルチキャスト通信では、複数の送信先への経路を重複させることによって実現される。LBMRでは、探索済みのループ経路を利用するLBSRの特性を利用する。これによって、アプリケーションメッセージの配送に要するコストの小さい経路を獲得する。(図1)

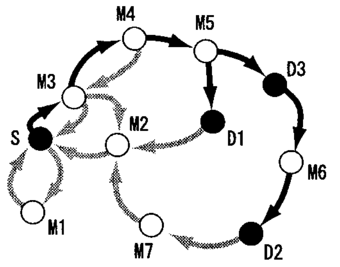

図1: マルチキャストツリー構築

LBMRでは、経路探索時に2種類のメッセージRREQとLOOPを用いる。RREQは、SからSへ戻るループを探索するためのメッセージであり、マルチキャスト通信のすべての送信先$\mathcal{D}=\{D_j\}$のアドレスと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含まれている。LOOPには、SからSに戻るループ上のアドレスのシーケンスを含んでいる。LOOPは、このルー

*Loop Based Multicast Routing (LBMR) Protocol
†Tokyo Denki University
‡Yusuke Kurosawa, Yuusuke Sagawa, and Hiroaki Higaki
§{kuro, sgw, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

プ上をユニキャストで配送される。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。RREQ 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) が保持される。また、LOOP キャッシュには、M_i から S までの経路が保持される。RREQ キャッシュ、LOOP キャッシュへの経路の追加は、それぞれ RREQ 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。

[LBMR プロトコル]

1. S は、RREQ を S の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。
2. M_i または D_j が、RREQ を受信したならば、以下の処理を行なってから、RREQ に含まれる経路を RREQ キャッシュに保存する。
   - 2-1. RREQ キャッシュが空であるならば、ただちに、RREQ を自身の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、RREQ をブロードキャストする前に自身のアドレスを RREQ に含まれるアドレスシーケンスの末尾に加える。
   - 2-2. RREQ 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 RREQ を送信する。ただし、RREQ をユニキャストする前に自身のアドレスを RREQ に含まれる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 を受信するまで待つ。このとき、RREQ は LOOP にピギーバックされる。
3. S が RREQ を受信したならば、RREQ 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_j が LOOP を受信したならば、これに含まれるアドレスシーケンスにしたがって S への経路を取得して、LOOP キャッシュに保存する。そして、LOOP をユニキャストで送信する。
5. S が $\forall D_j \in \mathcal{D}$ のアドレスを含む RREQ の受信により $R_{S \to D_j} + R_{D_j \to S}$ が得られる。

本プロトコルを用いると、$\exists D_j \in \mathcal{D}$ を含むループ経路が複数検出される。これらを組み合わせて得られるマルチキャストツリーのうちメッセージ送信数が最小となる組み合わせをメッセージ配送に用いる。

4 LBMR の評価

本論文で提案した LBMR プロトコルについて評価実験を行なった。評価は、MAODV と LBMR によって構築される配送経路を用いる場合、送信元 S からすべての送信先 $D_j \in \mathcal{D}$ にひとつのメッセージを配送するために必要となるメッセージ送信数によって行なう。シミュレーション環境を表1に示す。

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	100
送信先移動コンピュータ数	2〜20

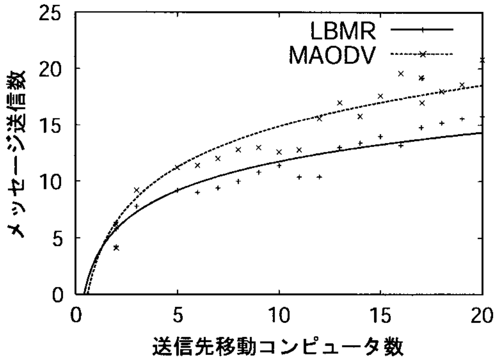

図 2: メッセージ送信数の比較

シミュレーション結果を図4に示す。LBMR では、MAODV の約80%のメッセージ送信数でマルチキャスト配送が可能である。すなわち LBMR によって、送信に要する電力を削減したマルチキャスト通信が可能となる。マルチキャスト通信の各送信先に対して複数の経路を検出し、それらを適切に組み合わせる手続きを送信元で行なうことが可能であることから、マルチキャスト拡張 DSR でも同様のメッセージ送信数が得られるものと考えられる。ただし、マルチキャスト拡張 DSR では、各 D_i が検出した経路を S に通知する際に、各々がフラッディングを行なうことから、経路探索に多数のメッセージを必要とし、送信先の数 $|\mathcal{D}|$ に比例して増加する。これに対して LBMR では、S からのフラッディングとユニキャストの組み合わせで経路探索を実現しており、さらに必要なメッセージ数は送信先の数 $|\mathcal{D}|$ に依存しない点で優れたプロトコルであるといえる。

5 まとめと今後の課題

本論文では、片方向接続を含むアドホックネットワークにおけるマルチキャストルーティングプロトコル LBMR を提案し、その性能評価を行なった。今後は、経路の再構築機能の導入を行なう

参考文献

[1] David, B., David, A., Hu, Y.C., Jorjeta, G., Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-01.txt (1998).

[2] Elizabeth, M.R. and Charles, E.P., "Multicast Operation of The Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol," Mobile Computing and Networking, pp. 207–218 (1999).

[3] Jens, M. and Georg, F., "Multicast Communicaton in "ad hoc" Networks," Proc. of Vehicular Technology Conference, pp. 234–244 (1994).

[4] Perkins, C.E. and Royer, E.M., "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proc. of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 99–100 (1999).

[5] 佐川, 桧垣, "アドホックネットワークにおけるループ型ルーティングプロトコル," 情報処理学会, マルチメディアと分散処理ワークショップ論文集, IPSJ Symposium Series, Vol.2001, No. 3, pp. 157-162 (2001).