

負荷分散を考慮したアドホックネットワークルーティングの提案とその予備 評価

古庄伸一¹⁾ 森若和雄¹⁾ 北須賀輝明²⁾ 中西恒夫²⁾ 福田晃²⁾

¹⁾ 九州大学大学院システム情報科学府

²⁾ 九州大学大学院システム情報科学研究所

³⁾ 九州大学システム LSI 研究センター

概要

ホスト同士の通信の際に間のホストが中継役になりデータのやり取りを実現しネットワークを構成するアドホックネットワークでは、他人の通信を中継するために自分の資源を提供することが求められる。またモバイルアドホックネットワークが活用される環境ではホストは電池により動作するため消費電力を抑えることは重要である。本稿では代表的なルーティング手法である DSR を踏まえ、データ送信に多経路を使うことで各ホストの負荷を分散させる LB-DSR(Load Balancing-DSR) を提案し、その予備評価を行う。シミュレーションにより予備評価を行った結果、LB-DSR は特定のホストに負荷が集中することを防ぎ、その他のホストに分散できることが確認された。

Load Balancing Routing for Wireless Ad-hoc Network and Its Preliminary Evaluation

Shinichi Furusho¹⁾, Kazuo Moriwaka¹⁾, Teruaki Kitasuka¹⁾, Tsuneo Nakanishi^{1) 2)}, Akira Fukuda¹⁾

¹⁾ Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

²⁾ System LSI Research Center, Kyushu University

Abstract

When two hosts that are not within wireless transmission range of each other in ad-hoc network want to communicate, other hosts relay packet offering own resource to these two hosts. In addition in mobile network, it is important to consider how to reduce power for that each mobile host works by battery. In this paper we propose new routing protocol LB-DSR(Load Balancing DSR), and evaluate it. The proposed method is based on DSR, and aim of reducing loads on each mobile hosts by using multiple routes to send data packets. In this research, we make a simulator, ANS(Ad-hoc network simulator), and evaluate LB-DSR by using it. Preliminary simulation experiments showed that LB-DSR prevents loads concentrating on particular hosts and spreads it among other hosts.

1 はじめに

モバイルコンピューティングの一形態として、サーバなど中央でルーティングなどを管理する特殊なインフラストラクチャーの必要なしに、端末同士で通信を実現するアドホックネットワークがある。中央でのホストやパケットなどの管理がないために、ルーティングはブロードキャストを基本としたフラッディングによって行われる。しかしすべてのホスト

がフラッディングを用いて通信を行うと、ネットワーク中にパケットが氾濫しパケットの衝突による通信干渉が発生し、サービスが滞る危険性が増す [1]。またパケットが増すことで必要以上の処理が必要になり、資源やネットワーク帯域の浪費にもなる。これらの問題を解決するためこれまで多くのルーティング手法が提案されている [2, 3]。

アドホックネットワークの代表的なルーティング手法に DSR(Dynamic Source Routing) がある [4, 5]。DSR はオンデマンドに経路を確立し無駄な

パケットの伝播を防ぐ効率的な手法である。ルーティングによって経路が確立されると実際にデータが送信されることになるが、その際確立された1つの経路によって通信が行われる。そのためホスト同士が大量のデータを送信する場合には中継ノードの負荷が大きくなり、データの中継のみに自分の資源が使われてしまうということも考えられる。一方で中継に使われなかったホストは余るほど資源が残っていることも考えられる。本稿ではそれらの負荷の格差をなくす手法 LB-DSR(Load Balancing DSR)を提案する。

本稿の第2節では、現在提案されているルーティング手法を紹介する。第3節ではLB-DSRについて説明する。第4節ではシミュレーション結果について述べる。最後に第5節でまとめと今後の課題について述べる。

2 アドホックネットワークにおけるルーティング手法

アドホックネットワークのルーティングには On-Demand 方式と Hop-by-Hop 方式がある。

On-Demand 方式はパケットの送信要求が生じたときにルート探索を行う手法であり、DSR(Dynamic Source Routing)[4, 5] や AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector Routing)[9] などがある。

Hop-by-Hop 方式は周期的にネットワークポロジの変化を監視しそのルート情報を用いてルーティングを行う手法であり、DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)[6, 7] や ZRP(Zone Routing Protocol)[8] などがある。

本稿では DSR を踏まえた手法を提案する。DSR ではパケットの送信要求発生後、送信元ホストは宛先ホストまでの経路を探索するためクエリパケットを周りのホストへブロードキャストする。クエリパケットは送信元ホストのアドレス、宛先ホストのアドレス、経由ホストのリスト、パケットの ID などを持ち、宛先ホストに到達するまでブロードキャストによるパケットリレーでネットワークを伝播する。クエリパケットを受け取った宛先ホストは送信元ホストへ Ack パケットを返し、送信元ホストに自身までの経路を通知する。一般にクエリパケットを受け

取ったホストは次のステップに従い処理を進める。

1. もしクエリパケットが以前受け取ったクエリパケットと同じであればパケットを破棄しそれ以上処理を進めない。(重複パケットの破棄)
2. さもなければ、もしすでにこのホストのアドレスがクエリパケットの経由ホストのリストにあればパケットを破棄しそれ以上処理を進めない。(ループ回避)
3. さもなければ、もしこのホストが宛先ホストであれば、パケットには送信元ホストからのルート情報がリストされている。このルート情報のコピーをつけたパケットを送信元ホストへ送り返す。(宛て先ホストへの到着)
4. さもなければ、クエリパケットの経由ホストのリストにこのホストのアドレスを追加して再びブロードキャストする。(パケットの中継)

3 LB-DSR

LB-DSR は、中継ホストの負荷の格差をなくすためにルーティング時に複数の経路を確立させ、その複数の経路を用いてデータを送信する。

3.1 最大経路選択数

LB-DSR では複数のルートを使ってデータを送信する。最大経路選択数とは使用するルート数の最大値である。たとえば、最大経路選択数が3である場合、送信元ホスト S から宛先ホスト D へのルートが4つ以上発見されたとしてもデータの送信には3つのルートしか使われない。

3.2 Route Cache

データを送信する場合、Route Cache にソースルート(宛て先までのルート情報)がある場合はそのソースルートを使ってデータを送る。LB-DSR では Route Cache から最大経路選択数以上のルートが見つかった場合、ホップ数の少ないルートを選択する。

3.3 経路発見

各ホストは基本的に DSR と同じルーティングを行う。しかし、パケットを受け取ったホストが宛先ホストである場合は、前に同じパケットを受け取っているにかかわらず、破棄せずに Route Reply パケットを送り返す。DSR では 1 つの経路が発見できればいいので 2 つ目以上の経路の情報は送り返さないが LB-DSR では 2 つ目以上でも発見されれば Ack パケットを送り返す。これによって宛先ホストへ到達した複数の異なるソースルートを送信元ホストへ送り返している。

3.4 データ送信の待機

送信元ホストは Ack パケットを受け取るとデータパケットにソースルートを格納し宛先ホストに向けて送信することになる。LB-DSR では Ack パケットを受け取りデータパケットにソースルートを格納した後、一定時間送信を遅らせる。この待機時間の間に異なるソースルートをもった Ack パケットが返ってくると、送信を待っているデータパケットの中からいくつかのパケットを選びソースルートを書き換える。この時点で最初の Ack パケットのソースルートをもったデータパケットと後に返ってきた Ack パケットのソースルートをもったデータパケットがつかわれ、送信されると異なるルートをたどっていくことになる。

4 シミュレーション

次のような環境でシミュレーションを行った。

- ノードは 100*100m のフィールド内に置く。
- フィールド内にはノードを 150、250 台設置する。
- 最大送信半径は 25m とする。
- データパケットは 20 パケット送信する。
- シミュレーションは 50 回行う。
- LB-DSR では最大経路選択数を 3、6 と設定する。

また DSR と LB-DSR において、次の 3 つの代表的なシナリオについて、データを中継したノードの数とデータのホップ数を比較した。

シナリオ 1：フィールドの中心のホストへ周りの 16 ホストからパケットを送信する。(サーバ・クライアント型)

シナリオ 2：フィールド中の 8 ホストがそれぞれ別の 8 ホストへパケットを送信する。(特定の相手への P2P 型)

シナリオ 3：100 単位時間シミュレーションをつけ、異なるホストへパケットを送信する。(ランダムな相手への P2P 型)

4.1 パケットを中継したホストの数とデータパケット数の関係

図 1、図 2、図 3 にデータパケットを中継したホストの数とデータパケット数の関係を示す。図 1 はシナリオ 1、図 2 はシナリオ 2、図 3 はシナリオ 3 の場合である。ここで x 個 (x 軸) のホストが y 個 (y 軸) のパケットを中継していることを意味している。従ってこのグラフではよりなだらかなグラフほどパケットをさまざまなホストで中継し負荷が分散していることを表している。また曲線と x 軸、y 軸で囲まれた領域の面積はデータパケットの数を表している。各図 (a) はホスト数 150、(b) はホスト数 250 の場合である。また、グラフ中の LB-DSR_3 は最大経路選択数が 3 の LB-DSR、LB-DSR_6 は最大経路選択数が 6 の LB-DSR を表している。

図 1(b) では DSR では 70 個以上のパケットを中継したホストが存在しているが、LB-DSR では最大経路選択数が 3、6 のどちらの場合も最もパケットを中継したホストでも DSR の 2 分の 1 のパケットしか中継していない。また DSR では 20 個のホストが集中してパケットを中継している。そのうち 16 個のホストは 20 個以上のパケットを中継している。これに対して最大経路選択数が 6 の LB-DSR では 20 個以上のパケットを中継しているホストは 7 つのみである。

また、多数のたくさんのパケットを中継するホストの数が減った分、他のホストが代わりに中継しており、最大経路選択数が 6 の LB-DSR では約 60 個のホストがデータパケットを中継している。LB-DSR は DSR に比べ、14 個以上のパケットを中継したホストの数は減っており、14 個以下のパケットを中継したホストの数が増えている。従って LB-DSR は DSR よりもグラフがなだらかになっていることが

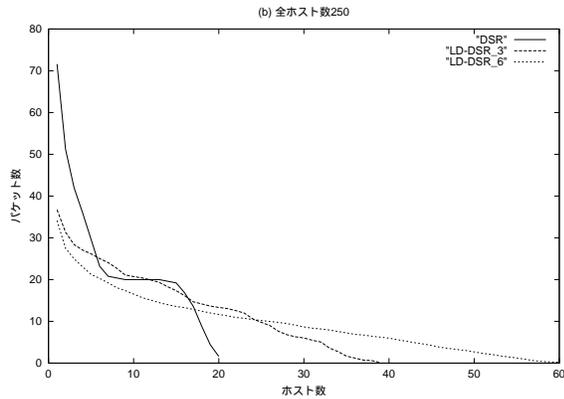
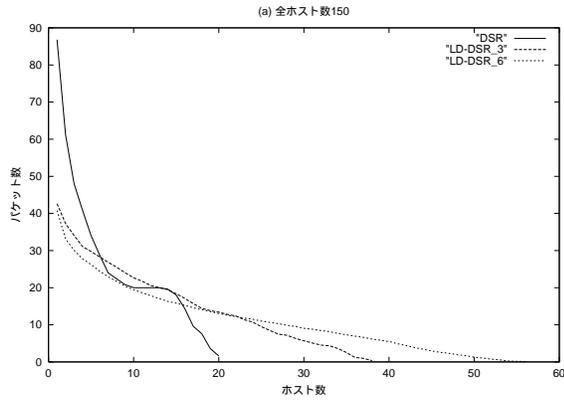


図 1: 中継パケット数とホスト数の関係:シナリオ 1

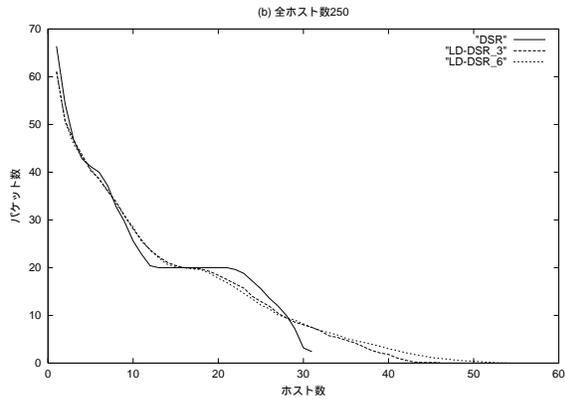
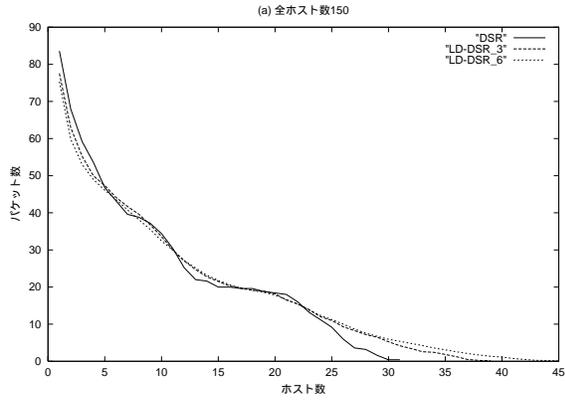


図 2: 中継パケット数とホスト数の関係:シナリオ 2

ら、より負荷が分散されていることがわかる。

図 2(a) で最も多く中継したホストのパケット数は 7 パケット程減っている。グラフは若干なだらかになっているものの DSR と比べそれほどの差は無い。これは宛先ホストが各々異なるので各ホストのキャッシュが機能しなかったためにあまり多くの経路を発見できなかったためと考えられる。

図 3(a) において最もパケットを中継したホストは DSR のそれより 4 分の 3 程度しかパケットを中継していない。また LB-DSR は DSR に比べ 15 個以上のパケットを中継したホストの数は少ない。さらに、その分 15 個以下のパケットを中継したホストの数が増えている。

図 3(b) でも同じように最も多く中継したホストは DSR では 120 個を越えているが LB-DSR では 100 個程に減っている。また DSR に比べ 10 個以上のパケットを中継したホストの数は減っており、10 個以下のパケットを中継したホストの数が増えている。この場合もシナリオ 1 の場合程では無かったが各ホストの負荷が分散されていることが分かる。

全体的にシナリオ 1 の場合に効果をはっきりと現れている。

4.2 ホップ数

図 4,5,6 に LB-DSR と DSR のデータパケットのホップ数の比を示す。図 4 はシナリオ 1、図 5 はシナリオ 2、図 6 はシナリオ 3 の結果である。図 4 ではどちらも 1 を超えていることから DSR よりもホップ数は大きくなっている。DSR は発見された複数の経路の中から最短の経路を使ってデータパケットを送る。LB-DSR では他の経路の中からホップ数の小さいものから複数選びパケットを送っているため、DSR よりもホップ数は大きくなる。そのため、より多種類の経路を使う方がホップ数は大きくなり、最大経路選択数 6 の LB-DSR ではホスト数 250 個の時、DSR の 1.13 倍になっている。一方最大経路選択数 3 のときもホップ数は増えるものの 6 のときよりも小さく、1.084 倍になっている。ホスト数が大きいとホップ数の比が小さくなっているが、これは

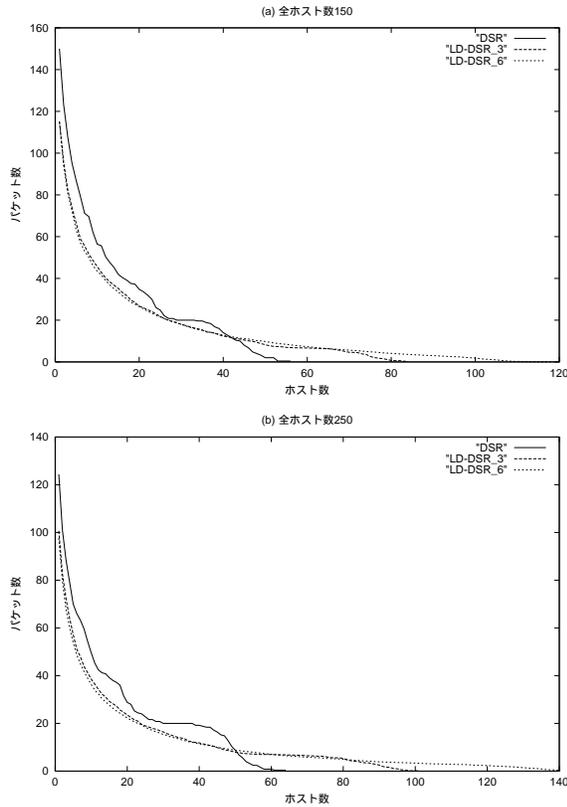


図 3: 中継パケット数とホスト数の関係:シナリオ 3

ホストが多いほど多くの経路が見つかり、その中でホップ数の小さいほうから送信経路に選ばれるためだと考えられる。図 5,6 でも同じように DSR よりもホップ数は大きくなっている。

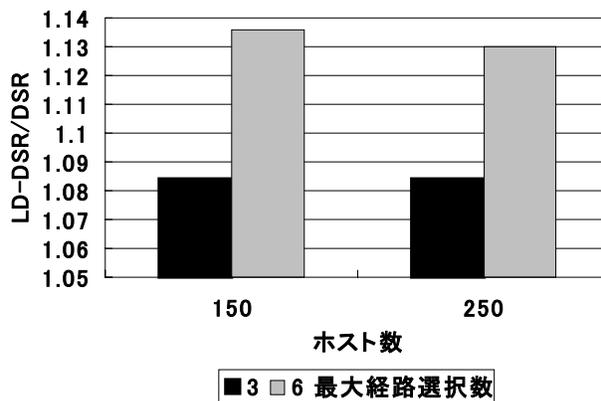


図 4: ホップ数の比:シナリオ 1

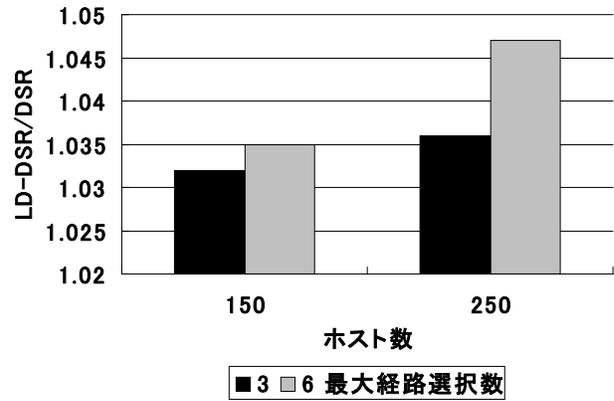


図 5: ホップ数の比:シナリオ 2

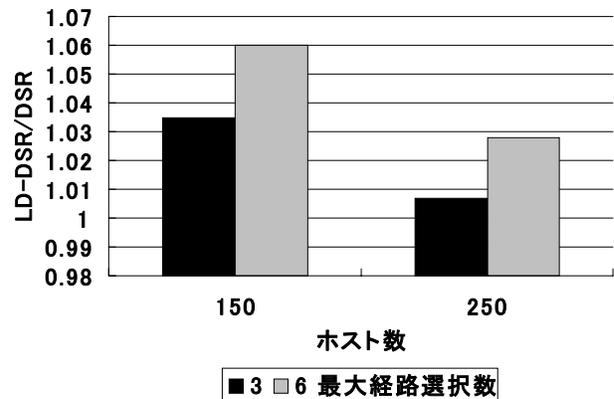


図 6: ホップ数の比:シナリオ 3

5 おわりに

代表的なルーティング DSR を改良しデータパケットの送信に複数の経路を使用する手法 LB-DSR を提案し、検討を行った。

DSR と LB-DSR の動作を実現するシミュレータを作成し、予備評価を行った結果、サーバ・クライアント型のネットワークモデルで最も効果が現れ、LB-DSR が集中的にパケットを中継するホストの中継量を削減し、他のホストが代わって中継することで中継ホストの負荷が分散できることが確認できた。今後の研究の課題として以下のようなものがある。

1. 今回のシミュレーションでは各ホストを固定的に配置し、移動することはなかったが実際の環境では各ホストは移動しながら通信を行ってい

る。今後はシミュレータの開発を進め各ホストが移動する場合のシミュレーションを行う必要がある。

2. 今回のシミュレータでは各ホストには順番にパケットの処理ができる時間が回される。今回は全てのホストが1回ずつ処理した時間を1単位時間としたがシミュレーションするにあたり、送信要求からデータ到達までの実際の時間を測れることが望ましい。そこで通信の速度などを評価するために実際の時間が測定できるシミュレータの実装が必要である。
3. 前述したとおり LB-DSR では各中継ホストの負荷を分散できるものの DSR に比べホップ数が増える結果になった。最大経路選択数を増やすと負荷はより分散されるがホップ数はより増える。今後は、このトレードオフの関係にある2つを考慮し最適値を導出する方法を考える必要がある。また、その値をネットワーク環境にあわせて動的に変化させることで最適化できる可能性がある。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金(基盤(B)課題番号:12480099)の助成を受けている。

参考文献

- [1] N.Sze-Tao, T.Yu-Chee, C.Yuh-Shyan, S.Jang-Ping, “The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network”, Proc. IEEE/ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking(MOBICOM), pp.151-162, 1999.
- [2] C.E.Perkins, “Ad Hoc Networking”, Addison Wesley, 2000.
- [3] D.B.Johnson, “Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts”, Proc. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp.158-163, 1994.
- [4] D.B.Johnson and D.A.Maltz, “Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks”, Mobile Computing, Kluwer Academic

Publishers, 1996.

- [5] D.B.Johnson, D.A.Maltz, Y-C.Hu, J.G.Jetcheva, “The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks”, Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-06.txt, 2001.
- [6] C.E.Perkins and P.Bhagwat, “Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers”, Proc.SIGCOMM, pp.234-244, 1994.
- [7] C.Perkins and E.Royer, “Destination-Sequenced Distance-Vector”, Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-00.txt, 1998.
- [8] Z.Haas and M.Pearlman, “The Zone Routing Protocol(ZRP) for Ad Hoc Networks”, Mobile Ad-hoc Network (MANET) Working Group, IETF, 1998.
- [9] C.E.Perkins and E.M.royer, “Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing”, Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-02.txt, 1998.