

アドホックネットワークのための蓄積型フラッディングプロトコルの提案

萩野 浩明 原 隆浩 塚本 昌彦 西尾 章治郎

大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻[†]

E-mail: {hagino,hara,tuka,nishio}@ise.eng.osaka-u.ac.jp

本稿では、アドホックネットワークにおける移動体間の接続性向上のための蓄積型フラッディングプロトコルを提案する。アドホックネットワークでは、一般にパケットをフラッディングすることで通信を実現する。蓄積型フラッディングプロトコルは、パケットのフラッディング時に、移動体が受け取ったパケットを一定時間保持しておき、その間に接続した全ての移動体にパケットをフォワードする。これによって、通信開始時に、通信を行う2つの移動体の間に通信経路が存在しない場合でも、その間に位置する移動体が移動して、パケットを物理的に中継することで通信が可能になるため、接続性の大幅な向上が期待できる。

Proposal of the Store-and-Flooding Protocol for Ad-hoc Networks

Hiroaki HAGINO Takahiro HARA Masahiko Tsukamoto Shojiro Nishio

Department of Information Systems Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University[†]

In this paper, in order to improve the connectivity in ad-hoc networks, we propose a new routing protocol called the *store-and-flooding protocol*. In conventional ad-hoc networks, packets are flooded among interconnected mobile hosts to find the destination host. In our proposed protocol, if a mobile host other than the destination host receives the packets, it stores the received packets for a while, and forwards the packets to mobile hosts which newly enter its communication range. As a result, even if a route from the sender host to the destination host does not exist, when the sender starts to flood the packets, the packets can reach the destination via other hosts which move and relay the packets. Thus, our proposed protocol can drastically improve the connectivity in ad-hoc networks.

1 はじめに

近年、計算機の小型化、軽量化および無線インフラストラクチャの整備により、いつでもどこでもネットワークにアクセス可能な移動体計算環境が急速に普及しつつある。移動体計算環境は、移動体が必ず基地局を経由して固定ネットワークにアクセスする環境と、移動体自身がパケットを中継して相互に通信を行う環境とに分類される。後者はアドホックネットワークと呼ばれ、研究が盛んに行われている [1][3][9]。

アドホックネットワークでは、各移動体がルータの機能を持ち、直接接続していない移動体間で通信が行

われる場合は、その間に位置する移動体がパケットを中継する。そのため、パケットを中継する移動体が移動すると通信経路が変化してしまう。そこでアドホックネットワークでは、通信時にフラッディングと呼ばれる技術が利用される。フラッディングとは、宛先を探すための制限つきブロードキャストのことを指し、パケットを受け取った移動体は、その宛先が自局でなくパケットのホップ制限が満たされていないなら、そのパケットを、さらに自局と直接接続している移動体へフォワードする。最終的に、宛先までパケットがフォワードされると経路が発見される。

しかし、ユーザが自由に移動する環境では、通信したい相手との間に通信経路自体が存在しない可能性もあり、そのような場合にはフラッディングを行っても通信経路を発見できない。そのため、単純なフラッディ

[†] 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1[‡] 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871

ングでは接続性の点において、ユーザの要求を満たすことは困難である。

そこで本稿では、アドホックネットワークにおける移動体間の接続性の向上を目的として、蓄積型フラッディングプロトコル (SFP: Store-and-Flooding Protocol) を提案する。SFP では、パケットを受け取った移動体はそのパケットを一定時間保持しておき、新たに接続した移動体を検出するとその移動体にもパケットをフォワードする。これによって、通信開始時に、通信を行う2つの移動体の間に通信経路が存在しない場合でも、その間に位置する移動体が移動することで、パケットを物理的に中継することができ、接続性の大幅な向上が期待できる。

以下では、2章において、これまでに提案されている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について説明する。3章で本稿で提案するSFPについて説明し、4章でSFPの性能評価のために行ったシミュレーション実験について述べる。5章で、性能以外の観点からSFPを考察し、最後に6章で結論と今後の課題を述べる。

2 関連研究

IETF (Internet Engineering Task Force) では、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がいくつか提案されている。フラッディングを用いないプロトコルとしては、DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector)[10]が提案されている。DSDVは、定期的なブロードキャストにより経路情報を獲得する距離ベクトル型ルーティングプロトコルである。このプロトコルでは、トポロジが変化する度にネットワーク全体で経路情報の更新が行われるため、移動体が頻繁に移動するアドホックネットワークでは有効ではない。逆に通信時にフラッディングしか用いないプロトコルとして、AODV (Ad Hoc On Demand Distance Vector)[11]とDSR (Dynamic Source Routing)[2]がある。これらのプロトコルは、通信時に経路要求パケットのフラッディングを行うことで経路情報を獲得し、その情報に基づいて通信を行う。しかし、通信時にフラッディングで経路を発見するため、通信が頻繁に発生する環境では有効ではない。そこで、ZRP (Zone Routing Protocol)[4]やCBRP (Cluster Based Routing Protocol)[5]、ULSR (Uni-directional Link State Routing)[8]では、各移動

体が一定ホップ内の経路情報を定期的に獲得し、それ以上離れている移動体に対してはフラッディングを用いて通信する方式が取られている。

これまでに挙げた全てのプロトコルでは、通信発生時に通信元移動体と宛先移動体の間に通信経路が存在しなければ通信はできない。一方、提案プロトコルでは通信経路が存在しなくても、移動体が物理的にパケットを運ぶことで通信が可能になる場合がある。そのため、移動体間の接続性が大幅に向上するものと考えられる。

文献[6]では、モバイルエージェントを用いて、アプリケーション層でアドホックネットワークを実現するアプローチが提案されており、実際にDSRをモバイルエージェントシステムを用いて実現している。このシステムでは、エージェントがデータとしてパケットと必要な状態情報を保持し、移動体間を移動することで、状態情報の処理を容易にしている。また、エージェントが他の移動体の接続を待って、その移動体へ移動することで、本研究と同様にフラッディングの際にパケットを蓄積することができる。しかし、このアプローチはアプリケーション層で実現されているため、汎用性が低い。

3 蓄積型フラッディングプロトコル

本章では、筆者らの提案する蓄積型フラッディングプロトコル (SFP) について説明する。SFPはIPパケットのオプションフィールドを用いて実現する。移動体の移動が頻繁な環境を想定した従来のルーティングプロトコルでは、通信時に経路要求パケットをフラッディングして宛先への経路を発見し、その情報に基づいて通信を行う。そのため、移動体の移動によって、通信中にその経路が利用できなくなると、新たな経路を発見するために再びフラッディングを行わなければならない。特に、本研究のように移動体の移動によってパケットを中継することを想定する場合は、経路要求パケットが宛先へ到着した時点で経路の一部が既に断線している可能性が高い。このような環境では、経路要求パケットをフラッディングするのではなく、データパケットを直接フラッディングして宛先まで届ける方が接続性が向上するものと考えられる。そこで、提案するSFPでは、直接データパケットをフラッディングする。なお、ZRPやCBRP、ULSRなどのプロト

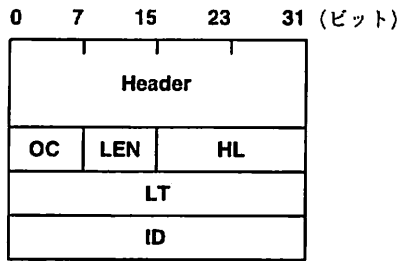


図 1: ヘッダフォーマット

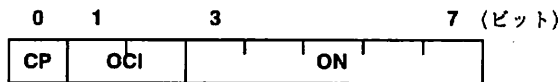


図 2: オプションコード

コルにおいて、パケットをフラッディングする部分にのみ拡張を加えることで、SFPを、グループ化を用いる手法に容易に拡張できる。以下では、各移動体は一定間隔でハローパケットを送出し、その交換によって、直接接続している移動体を検出できるものとする。

3.1 ヘッダフォーマット

SFPにおいてフラッディングするデータパケットのヘッダフォーマットを図1に示す。図中の各フィールドは以下の通りである。

Header: 通常のIPヘッダ。

OC: オプションコード。1バイト。

HL: ホップ制限。2バイト。

LT: パケットの生存時間。4バイト。

ID: パケットID。各移動体が独立に設定する。Headerに含まれる通信元アドレスとの組みでパケットを識別できる。

オプションコードは、図2に示すように、3つのフィールドから成る。

CP: コピーフラグ。1ビット。1に固定。

OCI: オプションクラス。2ビット。0に固定。

ON: オプション番号。5ビット。18に固定。

3.2 プロトコルの動作

SFPにおける通信の手順を以下に示す。

1. 通信を行う移動体は、送信するパケットに、ホップ制限とパケットの生存時間を設定し、フラッディ

ングを開始する。フラッディングするパケットは破棄せずに蓄積しておく。なお、この際の下位層の宛先MACアドレスはブロードキャストアドレスを用いる。

2. パケットを受信した移動体は、自身が宛先の場合はパケットを受け取り、フラッディングを停止する。自身が宛先でないなら、ホップ制限をデクリメントし、それが1以上で、パケットの生存時間が終了していなければ、フラッディングを続ける。またこのとき、フラッディングしたパケットを蓄積する。もし、パケットを蓄積する領域(バッファ)に空きがなければ、蓄積しているパケットのヘッダをチェックし、生存時間が終わっているものを破棄して新しいパケットを蓄積する。全てのパケットの生存時間が終わっていない場合は、最も古くに受け取ったパケットを破棄する。

受け取ったパケットのホップ制限が0、もしくは、パケットの生存時間が終了しているなら、パケットを破棄してフラッディングを停止する。

3. パケットを蓄積している移動体は、新たに自身に接続した移動体を検出すると、まず蓄積している全てのパケットのヘッダをチェックする。そして、その中で生存時間が終了していないパケットのみを、検出した移動体に対してフラッディングする。生存時間が終了しているパケットはフラッディングせずに破棄する。

4 シミュレーション評価

本章では、提案プロトコルの有効性を検証するために行ったシミュレーション評価の結果を示す。提案プロトコルの比較対象としては、従来のフラッディングによるルーティング方式を用いた。

4.1 シミュレーションモデル

シミュレーション評価では、10×10のXY座標平面上に移動体を5体配置し、それぞれの移動体が平面上を自由に移動する環境を用いた。各移動体の移動の方向は単位時間ごとにランダムに決定し、移動距離は平均5の指数分布に基づいて決定した。各移動体が、単位時間ごとに生成するパケットの個数を、平均COM

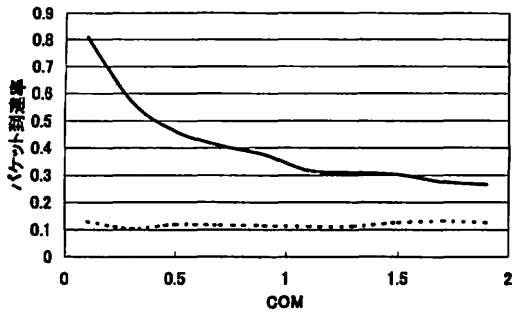


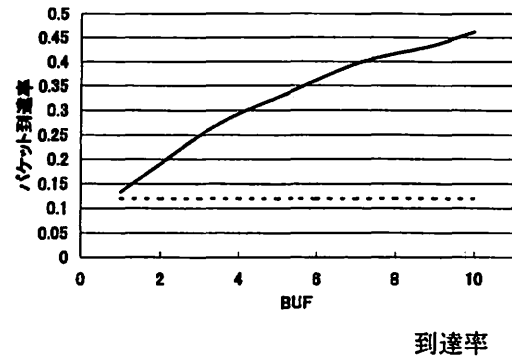
図 3: 通信頻度とパケット到達率

のポアソン分布に基づいて決定した。ここで、平面上において、各移動体を中心とする半径 2 の円内を、その移動体の通信電波が到達可能な範囲とした。SFP において、パケットの生存時間を 100 単位時間、ホップ制限を 10 に設定し、各移動体はパケット BUF 個分のバッファをもつものとした。

4.2 シミュレーション結果

4.1 節のモデルに基づいてシミュレーション評価を行った。まず始めに、 BUF を 10 とし、 COM を変化させたときの移動体間の接続性を調べた。その結果を図 3 に示す。ここで、パケット到達率は、ネットワーク内の移動体が生成したパケット数に対する、宛先まで到達したパケット数の割合として定義している。また、実線のグラフは SFP を、点線のグラフは従来のフラディングを示している。この結果より、提案プロトコルによって、パケットの到達率が大幅に向上することがわかる。特に、通信頻度が非常に小さいときには、到達率が約 6 倍となっている。また、従来のフラディングでは、通信頻度が到達率にほとんど影響しないのに対して、SFP では、通信頻度が大きくなるにしたがって、パケット到達率が小さくなっている。これは、通信量に対して、バッファサイズが十分ではないため、パケットが宛先に届くまでに破棄されてしまうことを示している。この結果から、SFP において接続性を向上させるためには、通信量に応じた十分なサイズのバッファが必要であることがわかる。

次に、 COM を 0.5 とし、 BUF を変化させたときのパケット到達率の変化を調べた。その結果を図 4 に示す。まず、従来のフラディングではパケットの蓄積を行わないため、バッファサイズを変化させても、パケット到達率が変化していない。一方、SFP では、



到達率

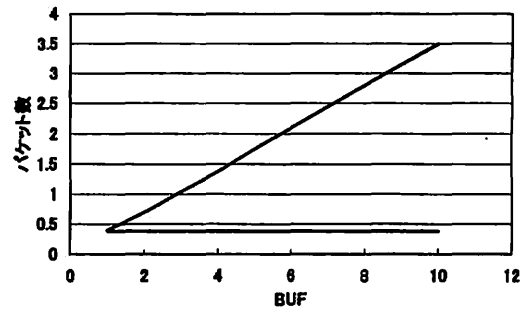


図 5: バッファサイズとパケット量

バッファサイズが大きくなると、パケット到達率が大きく向上している。これは図 3 とは逆に、十分なバッファサイズが得られれば、接続性が大幅に向上することを示している。

以上の結果から、SFP では、バッファサイズが接続性に大きな影響を与えることがわかる。そこで最後に、提案方式のオーバーヘッドを調べるために、 BUF を変化させたときの、各移動体が単位時間に受け取るパケット数を調べた。その結果を図 5 に示す。バッファサイズが小さいときは、従来のフラディングと SFP の間の差は大きくないが、バッファサイズが大きくなるにしたがって、従来のフラディングと SFP との差が大きくなっている。特に、バッファサイズが 10 のときは、パケット数が 9 倍程度になっている。これによって、各移動体のパケット処理能力も大きく低下するため、通信性能が劣化する。そこで、SFP では、移動体間の接続性と、通信性能とのトレードオフが重要な問題であることがわかる。

5 考察

SFP では、パケット送信時に通信経路が存在しない場合でも通信が可能のため、移動体間の接続性は向上

するが、従来のフラッディングと比較してトラヒックが大きくなってしまふ。本章では、このような問題点を含めて、いくつかの観点から SFP について考察を行う。

(1) 他のプロトコルとの関連性

SFP における、フラッディングの際にパケットを蓄積するというアプローチは、従来のフラッディングの概念を拡張したものである。そのため、フラッディングを利用しているプロトコルであれば、そのプロトコルに蓄積型フラッディングを導入することは容易である。ただし、従来のプロトコルの多くが、経路要求パケットをフラッディングするため、データパケットのフラッディングも可能にするような機能拡張が必要である。

また、経路発見のためのフラッディングと蓄積型フラッディングは必ずしも排他関係にあるわけではない。パケットの生存時間を短く設定すれば、蓄積型フラッディングを用いて発見された経路を以後の通信に利用できる可能性が高くなる。そこで、蓄積型フラッディングにおいて通信経路の再利用性を高める方法として、宛先からの応答が得られた場合に、まずパケットが宛先まで届いた際の経路情報に基づいてパケットをルーティングし、経路が途切れていることを検出すると、そこから宛先に対して蓄積型フラッディングを行うことなどが考えられる。

(2) 応用について

蓄積型フラッディングを用いた応用としては、様々なものが考えられる。以下にいくつかの例を示す。

- 提案プロトコルは、災害時などにおいて、ユーザが助けを求めるときなどに利用できる。災害時には固定ネットワークが破壊される可能性が高いため、アドホックネットワークの利用が有効であると考えられているが、さらに蓄積型フラッディングを導入することによって、ユーザの送信するパケットが宛先へ到達する可能性が高まる。
- 通信手段として、赤外線ポートのみをもつ 2 つの計算機が、互いの赤外線の通信可能範囲よりも遠くに位置している場合、直接通信することはで

きない。しかし、2 つの計算機の間を移動体が行き来しパケットを中継することで通信が可能になる。これは、フロッピーディスクやファイル転送を用いることでも実現できる。しかし、蓄積型フラッディングプロトコルを用いることで、ユーザは複雑な操作を意識せずに、通常の通信と同様にパケットを中継することが可能である。

- 2 つめの応用例を恣意的な利用とすると、1 つめの応用例は恣意的ではない利用といえる。恣意的な利用と恣意的でない利用の中間の応用例として、道路に沿って 2 つの移動体が位置している場合の通信が考えられる。つまり、2 つの移動体が道路にそって離れた場所に存在する場合、インターネットに接続できない状況でも、道路を走る車が移動体間で交換されるパケットを中継することで、通信が可能である。

(3) ネットワークに対する負荷

提案プロトコルは IP を拡張することで実現される。そのため、移動体が IP ルータとして機能する必要があり、移動体に対する負荷が増加する。しかし、提案プロトコルでは、経路情報の交換など、本来 IP ルータが行うべき処理を必要としないため、増加する負荷は実用上、問題にはならないものと考えられる。

また、提案プロトコルでは、経路要求パケットをフラッディングする従来のプロトコルと比較すると、1 回の通信でフラッディングが行われる回数が多い。しかし、ユーザが自由に移動する環境では、トポロジの変化が頻繁に発生するため、その度に経路要求を行わなければならない従来プロトコルと、提案プロトコルとの差は小さくなる。

さらに、パケットがネットワーク内に長時間存在するため、他のユーザの計算機資源を長時間占有してしまう。また、新たな移動体が接続する度に、パケットのフラッディングを行うため、無線通信による電力消費が大きいという問題もある。

これらの問題点を緩和する方法として、GPS などから得られる位置情報を利用することが考えられる。文献 [7] では、以前の通信時に獲得した宛先移動体の位置情報に基づいて現在の位置を推測し、推測位置から遠ざかる方向へはパケットをフラッディングしない方法

を提案している。提案プロトコルにも、このような拡張を加えることで、トラヒックを低減できるものと考えられる。さらにGPSだけでなく、カーナビゲーションのように目的地を設定できるシステムを利用すれば、移動体の現在地を高精度に推測できるため、トラヒックをより低減できる。ただし、提案プロトコルに拡張を加える場合は、ある移動体が宛先から遠ざかる方向に存在しても、その後で宛先の存在する方向へ移動する可能性を考慮する必要がある。そのため、移動体の位置だけでなく、移動の方向や速度なども考慮してフラッディングを行わなければならない。また、通信元移動体と通信先移動体の位置関係を考慮して、方向によってパケットを蓄積する時間を調整するアプローチも考えられる。例えば、通信先移動体が存在する方向を予想して、それとは反対方向に位置する移動体はパケットを蓄積せずに普通のフラッディングを行うようにし、通信先移動体と同じ方向に位置する移動体でパケットを蓄積することなどが考えられる。

6 おわりに

本稿では、アドホックネットワークにおける移動体間の接続性の向上を目的として、蓄積型フラッディングプロトコル(SFP)を提案した。SFPでは、パケットをフラッディングする際に、各移動体がパケットを蓄積しておき、新たに接続した移動体を検出すると、蓄積しておいたパケットを再びフラッディングする。これによって、通信時に経路が存在しない場合でも、宛先にパケットを送信することが可能となる。

さらに、シミュレーション評価によって、提案プロトコルが移動体間の接続性を大幅に向上させることを示した。また、提案したプロトコルに関して考察を行い、その有効性および問題点について議論した。

今後は、提案プロトコルを実装し、実測評価を行うことで、実環境における有効性を検証する必要がある。

参考文献

[1] Broch, J., Maltz, D. A., Johnson, D. B., Hu, Y. C., and Jetcheva, J.: "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols," *Proc. Mobicom '98*, pp.159-164, 1998.

[2] Broch, J., Johnson, D.B. and Maltz, D. A.: "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," *Internet Draft*, draft-ietf-manet-dsr-00.txt, 1998.

[3] Chen, T. W. and Gerla, M.: "Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad-hoc Wireless Networks," *Proc. IEEE ICC'98*, 1998.

[4] Haas, Z. and Pearlman, M.: "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks," *Internet Draft*, draft-ietf-manet-zone-zrp-01.txt, 1998.

[5] Jiang, M., Li, J., and Tay, Y. C.: "Cluster Based Routing Protocol(CBRP) Functional Specification," *Internet Draft*, draft-ietf-manet-cbrp-spec-00.txt, 1998.

[6] 河口信夫, 外山勝彦, 稲垣康善: "モバイルエージェントによるアドホックネットワークの構築," ソフトウェア科学会 SPA'99 論文集, URL: http://www.softlab.is.tsukuba.ac.jp/spa99proc/026_kawaguchi.pdf, 1999.

[7] Ko, Y. B. and Vaidya, N. H.: "Location-Aided Routing(LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," *Proc. MOBICOM'98*, 1998.

[8] 西澤正稔, 萩野浩明, 原隆浩, 塚本昌彦, 西尾章治郎: "アドホックネットワークにおけるリンク状態を考慮した片方向リンク対応ルーティング方式," 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム論文集, pp.273-278, 1999.

[9] Park, V. and Corson, S.: "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks," *Proc. INFOCOM'97*, 1997.

[10] Perkins, C. and Bhagwat, P.: "Destination-Sequenced Distance-Vector," *Internet Draft*, draft-ietf-manet-dsdv-00.txt, 1998.

[11] Perkins, C. and Royer, E.: "Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing," *Internet Draft*, draft-ietf-manet-aodv-02.txt, 1998.