

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

萩野 浩明[†] 原 隆浩[†]
塚本 昌彦[†] 西尾 章治郎[†]

本論文では、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、移動体を受け取ったパケットを一定時間保持しておき、その間に接続したすべての移動体に対してパケットのフラッディングを再開する。これによって、通信開始時に、通信を行う2つの移動体の間にエンド・ツー・エンドのパス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。

Store-and-flood Protocol for Ad-hoc Networks

HIROAKI HAGINO,[†] TAKAHIRO HARA,[†] MASAHIKO TSUKAMOTO[†]
and SHOJIRO NISHIO[†]

In this paper, in order to improve the connectivity in ad-hoc networks, we propose a new routing protocol called the *store-and-flood 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 restarts flooding of 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、研究がさかんに行われている^{1)~3),5)~15)}。

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、その宛先が自身でなくパケットのホップ制限内であれば、そのパケットを、さらに自身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。経路発見後は、送信元の移動体はその経路を指定してパケットを宛先に送信する。

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エンド・ツー・エンドのパス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。また、移動体が頻繁に移動する環境では、通信中にトポロジが変化すると再びフラッディングによって経路を発見しなければならぬため、通信性能が劣化する。

そこで本論文では、アドホックネットワークにおける接続性の向上を目的として、蓄積型フラッディング

[†] 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻
Department of Information System Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University

プロトコル(SFP: Store-and-Flood Protocol)を提案する。SFPでは、経路を発見するためのパケットではなく、直接データパケットをフラディングする。これによって、トポロジが変化するたびに経路発見を行う必要がなくなるため、移動体が頻繁に移動する環境における通信性能の劣化を防ぐことができる。さらに、フラディングの際、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つの移動体の間にエンド・ツー・エンドのパス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述べ、本論文で提案するSFPとの比較を行う。3章で、本論文で提案するSFPについて説明し、4章でSFPの有効性を示すために行ったシミュレーション評価について述べる。5章で考察を行い、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。フラディングを用いないプロトコルとしては、DSDV(Destination-Sequenced Distance Vector)^{13),14)}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。DSDVでは、すべての移動体がネットワーク全体の経路情報を保持しているため、通信時にフラディングを用いる必要がない。逆に通信時にフラ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)¹⁵⁾がある。AODVは、通信時に経路要求パケットのフラ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。また、経路上に存在する移動体もその経路情報を保持し、次の通信時に利用できる。DSDVは、トポロジが変化するたび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。一方、AODVは、通信時には基本的にフラディングを用いるため、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)⁵⁾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ディングを用いて通信する方式が取られている。

移動体計算環境における片方向リンクを考慮したルーティングプロトコルとして、DSR(Dynamic Source Routing)^{2),8)}、CBRP(Cluster Based Routing Protocol)⁷⁾、ULSR(Uni-directional Link State Routing)¹¹⁾などがある。ここで、片方向リンクとは、2つの移動体の間で1方向にしかパケットを送信できないリンクのことをいう。DSRは通信時につねにフラディングを用いる。ただし、通信元から宛先への経路に片方向リンクを含む場合は、応答パケットを送信するための経路もフラディングで発見する。CBRPはZRPと同様に移動体をグループ分けし、グループ単位で経路情報を保持する。CBRPではこのグループをクラスタと呼ぶ。クラスタごとにクラスタヘッドと呼ぶ移動体を決定し、クラスタヘッドがそのクラスタ内の経路情報や、他のクラスタと通信するために経由すべき移動体(ゲートウェイノード)の情報を管理する。通信時は、パケットは必ずいったんクラスタヘッドに送信される。宛先移動体がクラスタ内に存在するなら経路情報に従ってパケットを送信し、他のクラスタに存在するならゲートウェイノードに送信し、そこからフラディングを開始する。ULSRも移動体をグループ化し、グループ単位で経路情報を管理する。CBRPとは、グループ内のすべての移動体が経路情報を共有する点で異なる。他のグループに属する移動体との通信時は、通信するために経由すべき移動体の情報を保持しないため、通信を発生した移動体がフラディングを開始する。なお、CBRPとULSRでは、DSRと同様に、応答パケットのための経路を、宛先移動体からフラディングを行うことで発見する。

しかし、これまでにあげたすべ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エンド・ツー・エンドのパスが存在しなければ通信できない。一方、提案プロトコルではパケット送信時にエンド・ツー・エンドのパスが存在しなくても、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。

通信時にいったんパケットを蓄積するものとして、UUCP(Unix to Unix CoPy)⁶⁾でのパケットリレー方式がある。UUCPはTCP/IPネットワークが構築される以前において、2台のUNIXマシンを直接接続してデータを交換するために用いられていた手段である。このUUCPを用いてマルチホップ通信を実現したものがパケットリレー方式である。マルチホップ通信の送

信元と宛先の間に位置する計算機が、受け取ったデータをいったん蓄積し、さらに隣の計算機へ送信することで、データの中継を実現している。UUCP でのバケツリレー方式は、固定ネットワーク上での通信手段であるため、データを蓄積することが有効なわけではない。しかし、SFP はトポロジが変化しやすいアドホックネットワークを対象としているため、バケツを蓄積することで接続性が改善される。また、中継システムがバケツをバッファリングし、順に処理するという観点では、一般のバケツ型通信も提案プロトコルに類似している。アドホックネットワークでのバケツ型通信では、バケツがバッファリングされている間に移動体が移動することで、エンド・ツー・エンドのパスが存在しない場合でも通信が可能になる場合がある。しかし、バケツ型通信では、バケツがバッファリングされる時間が短いため、大きな効果は期待できない。また、バッファリングされたバケツは一度しか送信されないため、バッファリングによる接続性の向上は小さいものと考えられる。一方、提案プロトコルでは、明示的にバケツを蓄積する時間を指定することができる。さらに、バケツをバッファリングしている間は、新たに接続した移動体にバケツのフラッディングを再開する。これによって、提案プロトコルでは、アドホックネットワークにおける接続性の大幅な向上が期待される。

河口市⁹⁾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を提案しており、実際に DSR の通信方式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バケツ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、フラッディングの際にバケツ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、従来の TCP/IP を基盤として開発されたアプリケーションとの親和性がないという問題がある。

3. 蓄積型フラッディングプロトコル (SFP)

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 バケツ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、通信時に経路要求バケツ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

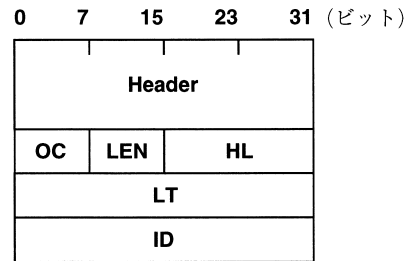


図1 ヘッドフォーマット
Fig.1 Header format.

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バケツを中継することを想定する場合は、経路要求バケツが宛先へ到着した時点で経路の一部がすでに断線している可能性が高い。このような環境では、経路要求バケツをフラッディングするのではなく、データバケツ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、直接データバケツをフラッディングする。SFP は、通信時に必ずバケツをフラッディングするが、ZRP や CBRP, ULSR などの一部でフラッディングを用いるプロトコルに対して、バケツをフラッディングする部分にのみ拡張を加えることで、容易に適用できる。以下では、各移動体は一定間隔でハローバケツを送出しており、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 ヘッドフォーマット

SFP でフラッディングを行うバケツのヘッドフォーマットを図1に示す。図中の各フィールドは以下のとおりである。

Header: 通常の IP ヘッド。

OC: オプションコード。1 バイト。

HL: ホップ制限。2 バイト。

LT: パケツの生存時間。4 バイト。

ID: パケツ ID。各移動体が自局内で一意に設定する。Header に含まれる通信元アドレスとの組でバケツを認識できる。

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なる。

CP: コピーフラグ。1 ビット。1 に固定。

OC1: オプションクラス。2 ビット。0 に固定。

ON: オプションナンバ。5 ビット。18 に固定。

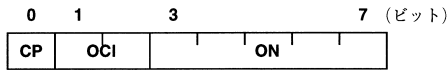


図2 オプションコード
Fig.2 Option code.

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) パケットを受け取った移動体は、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。すべ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止める。
- (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、まず蓄積しているすべ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について、検出した移動体に対してフラッディングを再開する。生存時間が終了しているパケットはフラッディングを再開せずに破棄する。

4. シミュレーション評価

本章では、SFP 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。SFP 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、 20×20 の XY 座標平

面上に移動体を 10 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 V の指数分布に基づいて決定した。このような、個々の移動体が自由に移動するモデルは文献 [10] などを用いられており、アドホックネットワークにおける一般的な移動モデルである。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 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 LT 単位時間、ホップ制限を 5 に設定し、各移動体はパケット BUF 個分のバッファを持つものとした。

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。まず初めに、 $V = 5$, $LT = 5$ として、 $BUF = 5$, $BUF = 10$, $BUF = 20$ のそれぞれの場合において、通信頻度を変化させたときのパケット到達率とネットワーク内のパケット数の変化を調べた。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、実線のグラフは従来のフラッディングを、点線のグラフは提案プロトコルを示している。上段のグラフが通信頻度とパケット到達率の関係を示し、下段のグラフは通信頻度とパケット数の関係を表している。

まず、上段のそれぞれのグラフから、通信頻度が大きくなると、パケット到達率が低下することが分かる。これは、通信によって多くのパケットが生成されるため、パケットがバッファ内に蓄積されてから追い出されるまでの時間が短くなるためである。また、上段の 3 つのグラフを比較すると、バッファサイズが大きくなると、パケット到達率が向上することが分かる。これは、バッファサイズが大きいと、それだけ蓄積できるパケット数が増加するためである。

一方、下段のそれぞれのグラフから、通信頻度が小さいところでは、SFP において交換されるパケット数が急激に増加するのに対して、通信頻度がある点を超えると、SFP と従来のフラッディングは一定の差を保ったまま増加することが分かる。これは、通信頻度が大きくなり、すべての移動体においてオーバフローが発生している状態では、ネットワーク内に存在するパケット数はつねに一定となるため、バッファリングされているパケットのフラッディングによって生じる

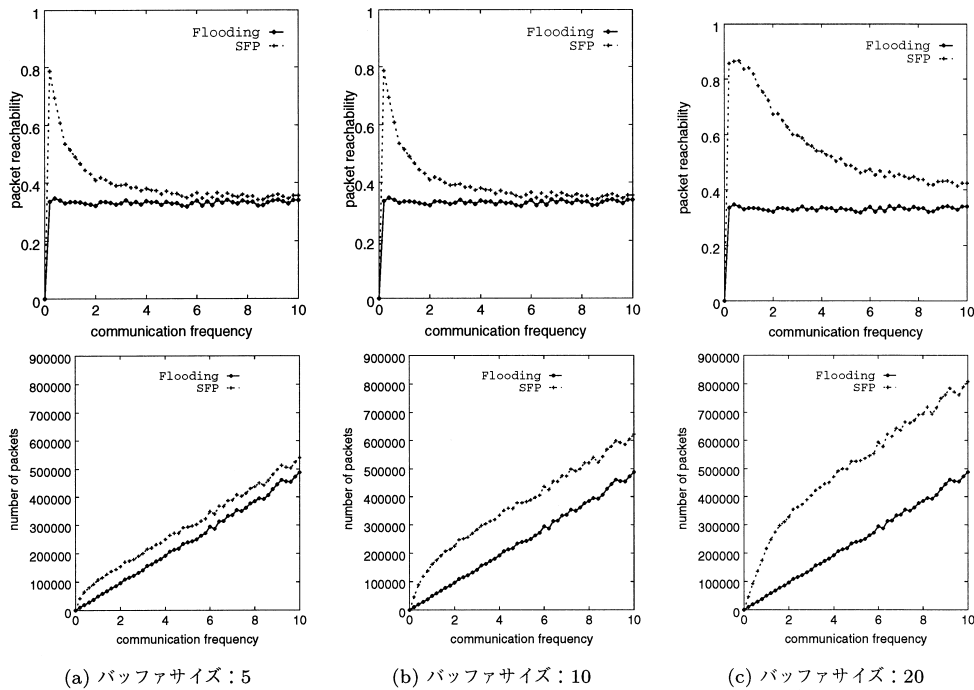


図3 通信頻度, バッファサイズの影響

Fig. 3 Influence of communication frequency and buffer size.

単位時間あたりのパケット数も一定になるためである。最後に、下段の3つのグラフを比較すると、バッファサイズが大きくなると、パケット数も増加することが分かる。これは明らかに、バッファサイズの増大によって単位時間あたりに交換されるパケット数が増加するためである。

次に、 $V = 5$, $BUF = 10$ として、通信頻度が1と5のそれぞれの場合において、生存時間を変化させたときのパケット到達率とパケット数の変化を調べた。その結果を図4に示す。上段はパケット到達率を、下段はパケット数を示したグラフである。まず、上段のそれぞれのグラフから、生存時間が増加するとパケット到達率が向上することが分かる。ただし、生存時間が一定の値以上になると、生存時間の増加はパケット到達率に影響を与えない。これは、生存時間が長くなると、ネットワーク内にパケットが存在する時間が長くなるため、バッファのオーバーフローが発生するためである。また、左右の2つのグラフを比較すると、図3と同様に、通信頻度が大きくなるとパケット到達率が低下することが分かる。次に下段のそれぞれのグラフから、生存時間が長くなるとパケット数が増加するが、ある点を超えると収束することが分かる。これも、バッファでのオーバーフローが原因である。通信頻度の増加によってパケット数の増加が発生するこ

とも確認できる。

最後に、 $BUF = 20$, $COM = 1$, $LT = 5$ として、移動体の移動速度の変化がパケット到達率とパケット数に与える影響を調べた。その結果を図5に示す。左がパケット到達率、右がパケット数を示すグラフである。左のグラフから、移動体の移動速度が増加すると、パケット到達率が改善することがわかる。また、右のグラフから移動体の移動速度が増加すると、ネットワーク内で交換されるパケット数が増加することが分かる。これは、移動体の移動速度が大きくなると、移動体の隣接関係が変化しやすくなるので、蓄積されたパケットのフラディングが頻繁に行われるためである。

5. 考 察

SFPを用いることで、エンド・ツー・エンドのパスが存在しない場合でも通信が可能となるため、移動体間の接続性が向上する。しかし、従来のフラディングと比較してトラヒックが大きくなってしまおうという問題点がある。本章では、このような問題点など、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について

フラ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、従来のフラディングの概念を拡張した

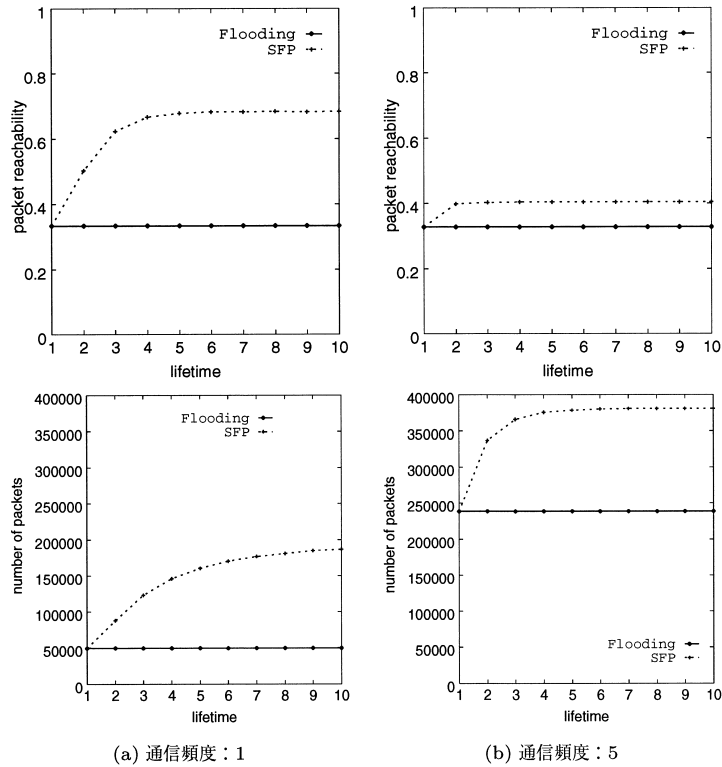


図 4 生存時間の影響

Fig. 4 Influence of life time.

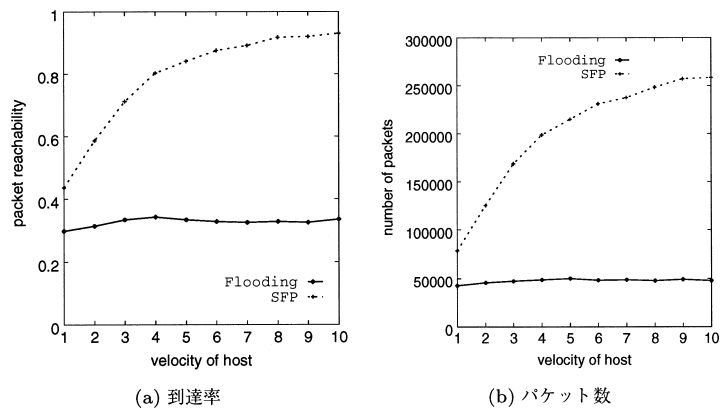


図 5 移動速度の影響

Fig. 5 Influence of velocity of mobile hosts.

ものである。そのため、フラ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ディングするため、データパケットのフラディングも可能にするような機能拡張が必要である。ここで、経路発見のためのフラディングと蓄積型フラ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、蓄積型フラディングを用いてルーティングされたパケットの経路を、以後の通信に利用できる可能性が高くなる。この場合、宛先からの応答が得られるなら、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する。しかし、蓄積型フラディングは、パケット送信時にエンド・ツーエンドのパスが存在しない場合でも通信が可能であるため、従来のフラディングと

比較して、前のパケットが通った経路を再利用できる可能性が低い。そこで、蓄積型フラ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、まず応答パケットに記された経路情報に従っ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ディングを行うことなどが考えられる。

(2) アドレッシングの問題

アドホックネットワークでは、ネットワーク全体で情報交換することは一般的でないため、アプリケーションで指定された宛先の識別子を IP アドレスに変換するのは困難である。そのため、アプリケーションで直接 IP アドレスを指定できなければならない。しかし、IP アドレスはサブネットワークの位置に依存して決定するため、その情報の獲得は難しい。そこで、本プロトコルでは各移動体の IP アドレスを、Mobile-IP¹⁶⁾ で用いられているホームアドレスなどのように、計算機を一意的に特定できる識別子として定義する。ユーザは通信したい相手の持つ計算機の IP アドレスを直接入力することで宛先を決定する。

(3) インターネットとの接続

SFP は従来の IP パケットのオプションフィールドを用いて実現する。そのため、ネットワーク内にインターネットの基地局と通信できる状態にある移動体が存在すれば、インターネットにそのままパケットを送信できる。ただし、SFP が実装されていないルータが SFP のパケットを受け取ると、認識できないオプションを検出し、パケットを破棄する可能性がある。そこで、基地局においてパケットのオプションをコピーしない仕組みが必要となる。なお、IPv6⁴⁾ では、オプションを認識できない場合に、パケットを破棄するか、オプションを無視して処理を行うかを選択できるフラグが存在する。これを用いれば、オプションを保持したままインターネット上で通信できる。ただし、インターネットを経由して他のアドホックネットワークと通信する場合は、現時点ではインターネット上のルータに手設定で SFP パケットを中継させるしか方法はない。そのため、SFP パケットを中継するための情報交換プロトコルについて検討する必要がある。

(4) 応用について

蓄積型フラ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。以下にいくつかの有効な例を示す。

- 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に到達する可能性が高まる。

- 無線通信のみが可能な複数の計算機が、互いに遠くに位置している場合を想定する。これらの計算機の間でデータを交換するには、フロッピーディスクなどの記憶メディアを用いなければならない。しかし、提案プロトコルを用いれば、ユーザが移動体を持ってこれらの計算機の間を行き来することでデータの交換が可能である。これによってユーザは複雑な操作を意識せずに、従来の通信と同様にパケットを中継できる。特に、ある計算機の持つデータを他のすべての計算機にコピーするときは、パケットの蓄積を行うことでデータを物理的に運搬できるうえ、フラディングの持つ同報性によって何度も同じ操作を行う必要がない。
- 2 つめの応用例を故意の利用とすると、1 つめの応用例は故意ではない利用といえる。故意の利用と故意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。この場合、各移動体の無線通信範囲に相手の移動体が入っていない場合でも、道路を走る車がパケットを中継することで通信が可能である。つまり、この例における「車は基本的に道路に沿って走る」というような、地理情報や他のユーザの移動特性を考慮することで、提案プロトコルをある程度、意図的に利用することができる。

(5) 片方向リンクへの対応

蓄積型フラディングは、パケットが通るリンクが維持されていない場合でも通信を可能にするので、片方向リンクが経路に含まれている場合でも動作可能である。

(6) ネットワークに対する負荷

SFP 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のように、本来 IP ルータが行うべき処理が必要でないため、実際に利用するうえで問題となるほどではないものと考えられる。

また、SFP では、経路要求パケットをフラディングするプロトコルと比較すると、1 回の通信でフラ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し、そのたびに経路要求を行わなければならないため、SFP との差は小さくなる。

このほかに、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。さらに、新たな移動体が接続するたびに、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。Koら¹⁰⁾は、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。SFP 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。たとえば、通信先移動体が存在すると思われる方向と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。

(7) 転送制御について

アドホックネットワークでは、通信中にトポロジが変化するたびになんらかの解決を行わなければならない。もし転送制御に TCP を用いていると、その通信不可能な状態を輻輳が発生していると判断し、輻輳制御が行われてしまう。そのため、ユーザが自由に移動する環境では、TCP を用いると通信性能が大きく劣化する。特に蓄積型フラッディングプロトコルは、通信にかかる遅延を重要視していないため、TCP の輻輳制御の与える影響が大きくなる。また、遅延がさらに大きくなると、コネクションの維持自体が困難となる。そこで、現時点では蓄積型フラッディングで用いる転送制御には UDP を想定している。しかし、UDP では、パケットの順序制御や重複パケットの破棄などが行われぬ。また、送信元の移動体はパケットの到達を知ることができないため、本論文のような不安定な通信環境では問題がある。そこで、提案プロトコルに特化した上位層プロトコルとして、UDP の拡張を

検討している。一般に、パケットの到達を通知するために応答パケットが用いられるが、提案プロトコルでは応答パケットが送信元移動体に到達するための経路が存在しない場合があるため、応答パケットの送信にも、蓄積型フラッディングを用いる必要がある。さらに、応答パケットを中継した移動体が、その応答パケットに対応するパケットを蓄積している場合は、そのパケットを破棄することで、無駄なフラッディングを防ぐことができる。

(8) アプリケーションとの親和性

一般に、アドホックネットワークは、2 種類に分類される。1 つはすべてのユーザが同じ目的を持って集まり、その場でネットワークを構築するもの、もう 1 つは、個々のユーザが自由に移動や通信を行うものである。前者の例として、学会の会議場に構築されたアドホックネットワークがあげられる。また、後者の例としては、大学のキャンパス内に構築されたアドホックネットワークがあげられる。前者では、ユーザはほとんど移動しないので、安定した通信が期待できるが、後者では、安定した通信は期待できない。

前者の場合、ネットワークは無線で構築された固定ネットワークとほぼ同等の振舞いを示すため、通信時にフラッディングを用いる必要はない。また、TCP 上で動作するような、複雑なアプリケーションを利用することも可能である。一方、後者の場合は、TCP 上で動作するような、同期を必要とする複雑なアプリケーションは正常に動作しない。このような環境では、UDP 上でも動作するような、単純なメッセージ交換を行う程度のアプリケーションの利用が一般的と考えられる。この場合、交換されるパケット数はそれほど多くないものと考えられるため、パケットの到達性を向上できる提案プロトコルは十分に有効である。

6. おわりに

本論文では、アドホックネットワークにおける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く。そして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、通信時にエンド・ツー・エンドのパス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の有効性とオーバーヘッドについて調べた。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。実環境で

提案プロトコルを利用する場合は、要求される到達率や機器の性能といった条件から、バッファサイズや生存時間などを慎重に決定する必要がある。

今後は、考察で述べた機能拡張や、提案プロトコルの実装および実測評価を行う必要がある。

謝辞 本研究に関して有益なご助言をいただいた大阪大学大型計算機センター春本要講師と大阪大学西尾研究室の諸氏に深謝の意を表す。

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) Deering, S. and Hinden, R.: Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, RFC 1883 (1996).
- 5) Haas, Z. and Pearlman, M.: The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks, Internet Draft, draft-ietf-manet-zone-zrp-01.txt (1998).
- 6) Horton, M. and Adams, R.: Standard for Interchange of USENET Messages, RFC 1036 (1987).
- 7) 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).
- 8) Johnson, D.B.: Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts, *Proc. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp.158-163 (1994).
- 9) 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, spa99proc/026.kawaguchi.pdf (1999).
URL:<http://www.softlab.is.tsukuba.ac.jp/>
- 10) Ko, Y.B. and Vaidya, N.H.: Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks, *Proc. Mobicom'98* (1998).
- 11) 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, 掲載予定 (2000).
- 12) Park, V. and Corson, S.: A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks, *Proc. INFOCOM'97* (1997).
- 13) Perkins, C. and Bhagwat, P.: Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers, *Proc. SIGCOMM*, pp.234-244 (1994).
- 14) Perkins, C. and Bhagwat, P.: Destination-Sequenced Distance-Vector, Internet Draft, draft-ietf-manet-dsdv-00.txt (1998).
- 15) Perkins, C. and Royer, E.: Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing, Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-02.txt (1998).
- 16) Perkins, C.: IP Mobility Support, IETF RFC 2002 (1996).

(平成 11 年 12 月 24 日受付)

(平成 12 年 7 月 5 日採録)



萩野 浩明 (学生会員)

1996 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1998 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。現在、同大学院工学研究科博士後期課程在学中。モバイルコンピューティング、知識処理に興味を持つ。



原 隆浩 (正会員)

1995 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1997 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、同大学院工学研究科博士後期課程中退後、同大学院工学研究科情報システム工学専攻助手となり、現在に至る。工学博士。1996 年本学会山下記念研究賞受賞。2000 年電気通信普及財団テレコムシステム技術賞受賞。データベースシステム、分散処理に興味を持つ。IEEE、電子情報通信学会の各会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学院工学研究科修士課程修了。同年、シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師, 1996

年より, 同大学大学院工学研究科情報システム工学専攻助教授, 現在に至る。工学博士。時空間データベースおよびモバイルコンピューティングに興味を持つ。ACM, IEEE 等 7 学会の会員。



西尾章治郎 (正会員)

1975年京都大学工学部数理工学科卒業。1980年同大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。京都大学工学部助手, 大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授を経

て, 1992年より大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授となり, 現在に至る。2000年より大阪大学サイバーメディアセンター長を併任。この間, カナダ・ウォータールー大学, ピクトリア大学客員。データベース, 知識ベース, 分散システムの研究に従事。現在, Data & Knowledge Engineering, Data Mining and Knowledge Discovery, The VLDB Journal 等の論文誌編集委員。ACM, IEEE 等 8 学会の会員。