

MANETにおける Geocastを用いたマルチキャストメンバ 管理方式の提案と実装

三木遼[†] 白石陽^{††} 高橋修^{††}

MANET における位置情報を用いたアプリケーションのために、Geocast が提案されてい
る。Geocast は、Geocast Region と呼ばれるエリア内に存在するノードに対し
マルチキャスト送信する。しかし、マルチメディアデータのストリーミング配
信などを想定した場合、データを受信し続けたいユーザはそのエリアを離れるこ
とができないという問題が生じる。そこで本研究では、マルチキャストにおける
セッションの広告とメンバ情報収集に Geocast と GPSR を組み合わせた手法を用
いて、送信元がマルチキャストグループを管理する方式を提案する。送信元は収
集したメンバ情報を基に、マルチキャストを実行する。本稿では、提案方式の詳
細について述べた上で、シミュレーションによる実験評価を行い、その有効性を示す。

A Proposal of Multicast Membership Management Algorithm using Geocast in MANET and its Implementation

Ryo Miki[†] Yoh Shiraishi^{††} Osamu Takahashi^{††}

The Geocast is a routing method based on geographic information. It realizes multicast
communication to the member nodes within a specified region "Geocast region".
However, it has a problem that the members cannot receive multicast data continuously
when they move away from the Geocast region. In this paper, we propose a multicast
group management algorithm using Geocast and GPSR in order to advertise multicast
session and gather the member information. Our method constructs multicast tree by
using location information of multicast members. The sender transmits data packets by
the multicast tree. We implemented the proposed method and show the experimental
results by simulation.

1. はじめに

近年の無線通信端末の発達に伴い、モバイルアドホックネットワーク(MANET)に関
する研究が活発に行われている。MANET とは、無線 LAN モジュールを搭載した携帯
電話やモバイル PC 等の端末(ノード)が、自律的に構築するネットワーク形態のこ
とである。MANET では、直接無線電波が届かないノードに対するデータ送信を行う
際に、第3者であるノードを介して通信を行う。

MANET におけるルーティングプロトコルの代表例として、AODV[1]や DSR[2]があ
るが、アプリケーションからの要求によって同一のパケットを複数の宛先に送信する
必要がある場合、このようなユニキャストプロトコルではなくマルチキャストが用い
られる。マルチキャストは、利用可能なネットワーク帯域が乏しい MANET 環境にお
いて非常に有効な技術である。

また、Global Positioning System(GPS)等の位置取得技術の発達に伴い、MANET にお
いてもノードの位置情報を用いたプロトコルやサービスの提案と検討が行われている。
MANET 上の位置情報を用いたマルチキャストにおいては、Geocast[3]が提案されてい
る。Geocast では、ノードの位置情報を用いてマルチキャストルーティングを行い、送
信元が定義する任意のエリア (Geocast Region, 以下 GR) 内に存在するノードの集合
をマルチキャストグループとし、データの送信を行う。

Geocast を用いたサービスの例の1つとして、特定のエリアに対する動画や音声デー
タのストリーミング配信が考えられるが、既存の Geocast では GR 内のノードのみに
データ送信を行う。そのため、ユーザがデータを受信し続けたいと考えたとき、エリ
アを離れることが出来ないという問題が発生する。

ここで本研究では、この問題点の解決策として、特定のエリアに入ったノードがエ
リアを離れてもメンバとして参加可能なマルチキャストメンバ管理方式の提案を行う。
本稿では2章で関連研究、3章では提案方式の詳細について示し、4章では実験評価
を行う。5章ではまとめを述べる。

2. 関連研究

MANET における様々なマルチキャストアルゴリズムが提案されている。ODMRP[4]
は、MANET におけるグループ会議等のアプリケーションを実現する多対多の通信モ
デルを対象にしたマルチキャストアルゴリズムである。この手法では、Forwarding
Group と呼ばれるデータパケットの転送を行うノードの集合を定義することで、全メ

[†] 公立はこだて未来大学大学院

Graduate School of Future University Hakodate

^{††} 公立はこだて未来大学

Future University Hakodate

ンバがデータの送信を行うことが可能なメッシュ型の通信を実現する。一方、AMRoute[5]はストリーミングデータ配信等のアプリケーションを想定したツリー型のマルチキャストアルゴリズムである。ツリー型のアルゴリズムは、メッシュ型と比較して少ない転送回数でデータパケットを送信することができる。しかし、これらの手法では、マルチキャストセッションの広告と経路の構築と維持にフラッドイングを用いるため、スケラビリティに問題がある。Chenら[6]はマルチキャストメンバのすべての位置情報を用いたマルチキャストツリーの構築手法として、Location-Guided Multicastを提案している。この手法では、メンバは送信元の位置情報が付加されたデータパケットを受信することで、送信元の位置を把握する。同時にメンバは自らの位置情報を送信元へ送信することが可能となる。マルチキャストツリーはメンバの位置情報を用いて構築するため、経路維持の際のフラッドイングは不要となるが、マルチキャストセッションの広告の際には依然としてフラッドイングが必要である。

Geocast[3]は、MANETのネットワーク上の特定のエリアに存在するノードへのマルチキャストを行うアルゴリズムである。Geocastは、GPS等を利用して取得可能なノードの物理的な位置情報を基に、マルチキャストグループの定義とデータの配信を行う。この手法では、送信元がGeocast Region(GR)を設定し、データパケットの送信を行う。図1に、Geocastの基本構成図を示す。送信元(Multicast Sender)は任意のエリアをGRとして指定し、GR内に物理的に存在しているノード(Multicast Member)をマルチキャストグループとして定義すると同時に、データパケットの送信対象とする。パケットの転送処理は、自ノードがパケットの送信者よりもGRに近いかどうか判別することで転送の可否を決定し、GR内のノードに対するデータ送信を実現する。

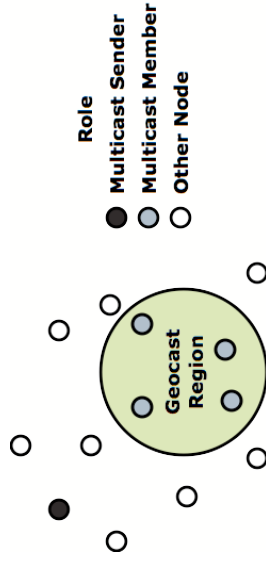


図1 Geocastの基本構成

Geocastでは、GR内に存在するノードのみがデータを受信するため、送信元はセッションの広告とマルチキャストグループの管理を行う必要がない。しかし、ノードを所持するユーザがGeocastによるデータを受信し続けたいと考えた時、ユーザはGRの外に出ることが出来ない。つまり、既存のGeocastでは過去に特定のエリアに存在したノードに対するマルチキャストを行うことが不可能である。

3. 提案方式

3.1 対象とする環境

本研究では、映像・音声などのマルチメディアデータを、特定のエリアを通過したノードに対して送信し続けるようなアプリケーションを想定する。既存のGeocastでは、GRの外に存在するノードはパケットを受信することができないため、このような通信モデルを実現することは不可能である。そこで、本研究では過去にエリアに存在したノードが自由に参加・離脱可能なマルチキャストを実現することを目的とする。

3.2 提案方式の概要

上記を実現するマルチキャストを行うには、以下の2つの要件を満たす必要がある。1つ目は、エリア内に入ったノードがマルチキャストセッションの存在を知ることができ、2つ目はエリア内においてセッションの存在を知ったノードが、何処に存在してもマルチキャストグループへの参加と離脱ができることである。

提案方式では、送信元がGeocastを用いてマルチキャストセッションの存在を広告する。広告を受信したノードは、グループへの参加と維持を行うために自らのIDと位置情報を送信元へ定期的に送信する。こうして、送信元はネットワーク上に存在するマルチキャストメンバのIDと位置情報を収集して管理する。データの送信には、位置情報を用いたツリー構築手法であるLocation-Guided Multicast[6]を用いたデータ送信を行うことで、過去に特定のエリアに入ったノードが、エリア外に存在してもデータの受信が可能なマルチキャストを実現する。

3.3 前提条件

提案方式は、IEEE 802.11b等の無線通信機能とGPS等の位置情報取得機能を搭載した移動ノードで構成されるアドホックネットワーク上で動作する。また、すべてのノードはユニークなIDを持っており、電波到達範囲は一定である環境を想定する。

3.4 提案方式で使用する制御パケット

提案方式では、以下の3種の制御パケットを用いる。

- **Advertiseパケット** - 送信元がマルチキャストセッションの広告を行う際に用いる。本研究では、Advertiseパケットの宛先エリアをAdvertise Region(AR)と定義する。Advertiseパケットは、Geocastアルゴリズムを用いて送信される。また、このパケットを受信したノードは、送信元に対する経路を保持する。
- **Join/Keepパケット** - AR内にてAdvertiseパケットを受信したノードが、マルチキャストグループへの参加(Join)と維持(Keep)を行う際に用いる。送信元は、このパケットを受信することでグループメンバの更新を行う。Join/Keepパケットは、Advertiseパケットの宛先エリアの中心に近いノードに対して転送され、途中で送信元への経路を持つノードに達した場合、位置情報ベースのパケット転送からノードルーティングによるパケット転送へ切り替えて送信元まで届ける。

- **Leave** パッケージトーマルチキャストグループに参加しているノードが、グループから離脱する際に送信元へ送信される。

3.5 提案方式の構成要素

提案方式では、構成要素として 3 つの手法を用いる。1 つ目は Greedy Perimeter Stateless Routing(GPSR)[7]である。GPSR は提案方式のデータと Join/Keep パッケージの送信時に用いる。2 つ目は Location-Guided Multicast[6]の手法の一つである Location-Guided K-ary(LGK)である。LGK はマルチキャストツリー構築アルゴリズムとして用いる。3 つ目は隣接ノード情報を用いた Geocast で、これは Advertise パッケージの送信時に用いる。

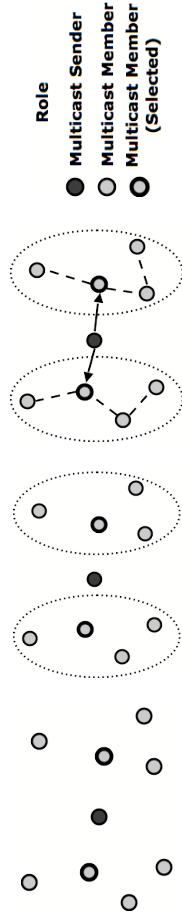
3.5.1 Greedy Perimeter Stateless Routing(GPSR)

GPSR は、位置情報を利用したユニキャストプロトコルであり、宛先と自ノード、そして隣接ノードの位置情報を利用してデータパッケージの転送先を決定する。基本的には宛先の座標に最も近い隣接ノードを選択してパッケージの転送を行うが、自ノードよりも宛先に近い隣接ノードが存在しない場合、「右手の法則」に従ったデータ転送を行うことで、パッケージの到達性を高めている。

GPSR では、データパッケージの送信時に位置情報を用いて経路を決定するので、隣接ノードを管理するための Hello パッケージ以外の制御パッケージを必要としない。そのため、通信頻度が高い環境においてスケラビリティが高い。

3.5.2 Location-Guided K-ary (LGK)

LGK は、Location-Guided Multicast アルゴリズムの一つである。LGK では、マルチキャストメンバの位置情報を用いてマルチキャストツリーの構築を行う。LGK の手順を図 2 に示す。図 2 には、送信元とマルチキャストメンバのみを表示している。



(a)子ノードの選択 (b)配下の決定 (c)パッケージ送信

図 2 Location Guided K-ary(k=2)のツリー構築

LGK では、まず自ノードに近い k 個のメンバを子ノードとし、パッケージの送信対象とする (図 2(a)). 図 2 では、 $k=2$ としている。次に、送信元は残りのメンバが子ノードのどちらに近いか計算し、近い子ノードの配下に置く (図 2(b)). そして、送信元は配下となるメンバの情報に付加したデータパッケージを子ノードへ送信する。パッケージを受信した子ノードは、パッケージに記載されているメンバ情報から新たな子ノードとその配下の選択を行い、データパッケージの送信を行う (図 2(c)). これらの処理を繰り返す。

返すことで、全てのメンバに対するマルチキャストを実現する。提案方式では、子ノードへのパッケージ送信に GPSR を用いる。

3.5.3 隣接ノード情報を用いた Geocast

提案方式では、GPSR を実行する際に用いる Hello パッケージによる隣接ノードの情報が利用可能である。そこで、フラグメンテーションベースの Geocast よりも少ない転送回数でパッケージを送信するために、パッケージの送信時に次に転送を行う隣接ノードをあらかじめ指定する Geocast を提案する。具体的なアルゴリズムについては後述する。

3.6 提案するメンバ管理手法のアルゴリズム

提案方式の機構は、Hello パッケージによる隣接ノード情報の交換、Advertise パッケージによるセッションの広告、Join/Keep パッケージによるマルチキャストメンバの管理、LGK による収集したメンバ情報を用いたデータ転送、そしてメンバの離脱・再参加処理に分けられる。

3.6.1 隣接ノード情報の交換

ネットワーク上のすべてのノードは、GPS 等によって取得した自らの位置情報を載せた Hello パッケージを定期的に送信する。Hello パッケージを受信したノードは、隣接ノードテーブルの更新を行う。隣接ノードテーブルには、パッケージの送信ノードの ID と位置情報のペアが格納される。なお、一定時間の間に同一ノードからの Hello パッケージを受信しなかった場合は電波範囲から離脱されたものと判断し、テーブルからエントリを削除する。このようにして、各ノードは直接通信可能な隣接ノードの情報を管理する。

3.6.2 セッションの広告

マルチキャストデータの送信元は、Advertise パッケージを定期的に送信する。このパッケージには、以下の 2 つの役割がある。

1. マルチキャストセッションの広告
2. マルチキャストデータ送信元までの経路構築

Advertise パッケージは、送信元が Advertise Region を対象に定期的に送信する。提案方式では、3.5.3 項で述べた隣接ノード情報を用いた Geocast を用いる。具体的な手順は以下の通りである。

[手順 1: Advertise Region の指定]

送信元ノードは、Advertise パッケージを送信する AR を指定する。AR は、中心の座標と半径で表される円で表す。なお、AR は変更しないものとする。

[手順 2: 転送ノードの指定とパッケージの送信]

Advertise パッケージを送信するノードは、まず Advertise パッケージを送信するノード

(転送ノード)の選択を行う。この処理は、自らの隣接ノードテーブルを参照し、自ノードよりもARの中心に近い隣接ノードの中から、ARの中心に近い順にn個まで選択し、Advertiseパケットに選択したノードのIDを記載することで実現する。次に、Advertiseパケットに経路情報を記載する。これは、Advertiseパケットに自らのIDを追記することで実現する。こうしてAdvertiseパケットには転送ノードのリストと、自ノードから送信元までの経路が記載された上で送信される。

Advertiseパケットの送信処理は、自ノードよりもARに近い隣接ノードが存在しない場合でも必ず行う。これは後述する手順4において、AR内のノードへの到達性を高めるための処理である。

[手順3：パケット受信時の処理]

Advertiseパケットを受信したノードは、送信元までの経路を保持する。具体的には、手順2でAdvertiseパケットに記載された経路を用いて、経路テーブルの更新を行う。経路テーブルは、送信元のID、送信元の位置情報、送信元からの経路、そして経路の寿命を記載する。また、AR内のノードはAdvertiseパケットの受理を行い、上記に加えて送信元のIDとARの中心の座標、そしてAR半径を保持する。

[手順4：パケット転送の条件]

以下のいずれかの条件を満たしたノードは、手順2に従ったパケットの転送を行う。

- 1) 手順2で自ノードが転送ノードとして指定されたパケットを受信した場合
- 2) Advertise Region内に自ノードが存在する場合

以上の処理を、パケットの転送が行われなくなるまで繰り返すことで、ARへの送信を行う。なお、同一のAdvertiseパケットを受信したノードは、該当パケットの転送を行わない。図3に、選択する隣接ノード数(n)を2にした場合の動作例を示す。データの送信元(AD Packet Sender)はARを定義した上で、隣接ノードからARの中心に近い2個のノードを選択し、Advertiseパケットをブロードキャストする。Advertiseパケットを受信したノードは自らが前ホップノードによって選択されていない場合でも、送信元までの経路を保持する(Route Cache)。さらに、転送ノードとして自ノードが選択されていた場合は、パケットの転送を行う(Packet Transmit)。ただし、自らがAR内に位置する場合は、前ホップノードによって選択されていなくてもパケットの転送を行う。この際、同時にAdvertiseパケットを受理する(Packet Accept)。

3.6.3 マルチキャストグループへの参加・維持

マルチキャストメンバの参加・維持の処理は、3.6.2項に示すAdvertiseパケットを受理したノードが送信元へJoin/Keepパケットを定期的な送信することで実現する。Join/Keepパケットには、過去に受信したAdvertiseパケット内の送信元IDと、ARの中心の座標を利用して送信元までの転送の依頼を行う。具体的には、以下の手順で作る。

[手順1:Join/Keepパケットの生成]

Advertiseパケットを受理したノードは、グループへの参加と維持を行うためにJoin/Keepパケットを生成する。Join/Keepパケットには、ARの中心の座標と、データ送信元のID、そして自ノードの座標とIDが含まれている。

[手順2:Join/Keepパケットの転送]

Join/Keepパケットを送信する前に、自らの経路テーブルを参照する。もし経路テーブルに送信元への経路が存在する場合は、その経路に従ったソースルーティングによるパケット転送を行う。その際、パケットには送信元までの経路が記述される。

送信元までの有効な経路を持っていない場合は、宛先の座標をARの中心としてGPSRのアルゴリズムに従ったパケットの転送を行う。この処理は、送信元への有効な経路を持つノードにパケットが到達するまで行われる。

[手順3:Join/Keepパケットの受信]

Join/Keepパケットの宛先(送信元)は、メンバテーブルの更新を行う。メンバテーブルには、Join/Keepパケットの送信者のIDと座標、そして寿命が格納される。

これらの処理によって、送信元はすべてのマルチキャストメンバの新鮮な位置情報を得る。図4に、過去にAdvertiseパケットを受信したノードが送信元に対するJoin/Keepパケット送信処理の概念図を示す。マルチキャストメンバは宛先の位置としてARの中心を指定し、GPSRのアルゴリズムに従ったJoin/Keepパケットの送信を行う。パケットを受信したノードは、経路テーブルに送信元までの経路が保持されているか調べる。もし経路を保持している(Has Route to Sender)場合は、ソースルーティング(SR)によるパケット転送に切り替え、送信元へパケットを送信する。

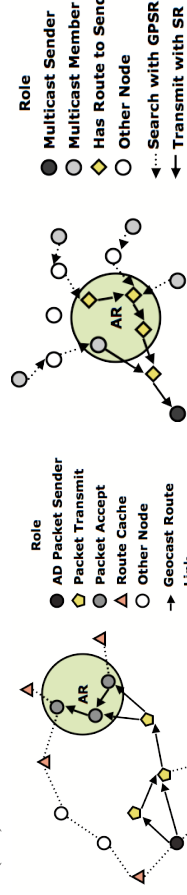


図3 Advertiseパケットの配送例

3.6.4 マルチキャストデータの送信

マルチキャストデータの送信は、送信元のメンバテーブルに格納されたメンバの位置情報とIDを用いて、LGKのアルゴリズムに従ったデータ送信を行う。LGKを実行するに当たって、ユニキャストルーティングプロトコルにはGPSRを用いる。

図4 Join/Keepパケットの送信処理

3.6.5 マルチキヤスタグループからの離脱と再参加

マルチキヤスタメンバーからの離脱処理は、メンバーが送信元に対して Leave パケットを送信するか、メンバーグループの寿命を過ぎた時に送信元が削除することで実現する。 Leave パケットは、3.6.2 項で説明した Join/Keep パケットの送信と同様の処理で送信する。グループへの再参加は、再び Join/Keep パケットを送信することで実現する。

4. 評価実験

提案手法を NS-2[8]上で実装した。ここでは、実験評価の内容とその結果を示す。

4.1 評価実験内容

提案手法の性能評価を行うために、2つの環境において実験を行う。1つは、提案した Geocast アルゴリズムの性能評価を目的とし、送信元と受信ノードを固定した環境で、到達率とオーバーヘッドを測定する。もう1つは、提案手法の性能評価を目的とし、送信元を含むすべてのノードが移動する環境で、データパケットの到達率と Join/Keep パケットの到達率、そして全体のパケット数を測定する。

4.1.1 Geocast アルゴリズムの評価実験

提案した Geocast アルゴリズムの性能評価を行うため、送信元と Geocast パケットの受信ノードを固定した環境における実験を行う。表 1 と図 5 に実験環境を示す。ネットワークエリアは 1000 x 1000m、ノード数は 100 で、送信元と受信ノードは各 1 ノードずつとし、送信元と受信ノード以外のノードは Random-Way-Point に従った移動を行う。ノードの移動速度は一定とし、ポーズタイムは 0 秒に設定した。なお、受信ノードは GR の中心に配置する。比較対象とする Geocast アルゴリズムには、文献[3]で提案されている Adaptive Distance Scheme(ADS)と、転送時に選択する転送ノード数(n)として、Hello パケットの送信間隔(binT)と、転送時に選択する転送ノード数(n)があるが、binT は 1.5, 3.0, 4.5 秒のそれぞれに対して実験を行い、n は 3 とした。

表 1 Geocast の評価実験パラメータ

シミュレータ	ns-2.30
エリア範囲	1000x1000 m
電波到達範囲	250 m
全ノード数	100
送信ノード座標	(100, 100)
受信ノード座標	(900, 900)
移動モデル	Random-Way-Point(送信・受信ノード以外)
ノード移動速度	1.4 or 2.5 or 5.0 or 7.5 or 10 m/s
ポーズタイム	0 sec
Hello送信間隔(binT)	1.5 or 3.0 or 4.5 sec
GR中心座標	(900, 900)
GR半径	100m
パケット送信間隔	4 packets/sec
提案手法の転送ノード数(n)	3
実験時間	110 sec

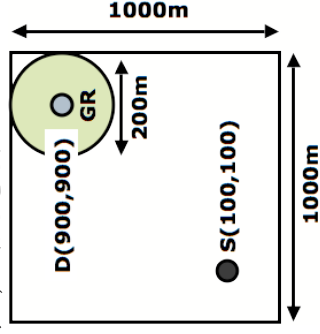
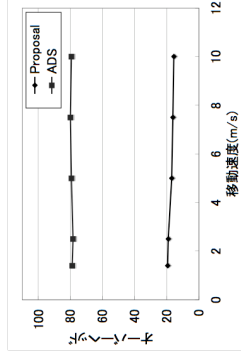


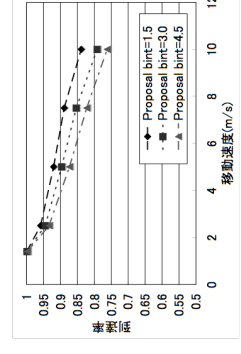
図 5 Geocast 評価実験環境

性能評価は、1つの Geocast パケットを送信するために必要なパケットの転送回数の平均(オーバーヘッド)と、送信元が送信した Geocast パケットを受信ノードが受信する確率(到達率)を測定することで行う。

図 6 に、提案した隣接ノード情報を利用した Geocast アルゴリズムと、Adaptive Distance Scheme(ADS)の比較評価実験の結果を示す。(a)のグラフから、提案方式は 1 度の転送に必要なオーバーヘッドが少ないことがわかる。また(b)より、提案方式は binT の値を低く設定することで、フラッドインディグネーションとなる ADS に近い到達率を実現していることがわかる。



(a)オーバーヘッド



(b)パケット到達率

図 6 Geocast アルゴリズムの評価実験結果

4.1.2 提案方式の評価実験

提案方式におけるデータ到達率と、Join/Keep パケットの到達率、そして全体のパケット数を測定するために、送信元を含むすべてのノードが一定の速度で動く環境で提案方式を実行する。表 2 に、実験のパラメータを示す。

表 2 提案方式の評価実験パラメータ

シミュレータ	ns-2.30
エリア範囲	1000 x 1000 m
電波到達範囲	250 m
全ノード数	100
送信ノード数	1
受信ノード数	20
移動モデル	Random-Way-Point
ノード移動速度	1.4 or 2.5 or 5.0 or 7.5 or 10 m/s
ポーズタイム	0 sec
Hello送信間隔(binT)	1.5 or 3.0 or 4.5 sec
AR中心座標	(500, 500)
AR半径	100m
Advertise送信間隔	3 sec
Advertise転送ノード数(n)	3
LKG外敷数(k)	2
Join/Keep送信間隔	5 sec
データパケット送信間隔	4 packets/sec
実験時間	600 sec

AR の座標はネットワークエリアの中心となる座標(500,500)とし、マルチキヤスタメンバーの数は 20 ノードとした。これらは過去に Advertise パケットを受信し、AR の

中心の座標と送信元の ID を予め知っているという前提で実験を行う。なお、実験中における新たなメンバーの参加、離脱は行わないものとする。Join/Keep パケットの送信間隔は 5 秒, Advertise パケットの送信間隔は 3 秒とする。データ配信に用いる LGK の分岐数(k)は 2 とする。実験時間は 600 秒と定義しているが、最初の 20 秒間は Hello パケットの交換と Advertise パケットの送信時間として設定しているため、データパケットの送信は 20 秒後に開始する。性能評価は、送信元に対する Join/Keep パケットとマルチキャストメンバーに対するデータパケットの到達率の平均、そして提案方式を行う際のすべてのパケット数を測定することで行う。

図 7 に、Join/Keep パケットの到達率と、データパケットの到達率を示す。どちらの結果も移動速度が高くなると到達率が低くなるが、bint が小さいほどパケットの到達率が上がる傾向は、Geocast 評価実験と同様である。これは、頻繁に Hello パケットを送受信する方が信頼性の高い隣接ノードテーブルを保持できるためだと考える。

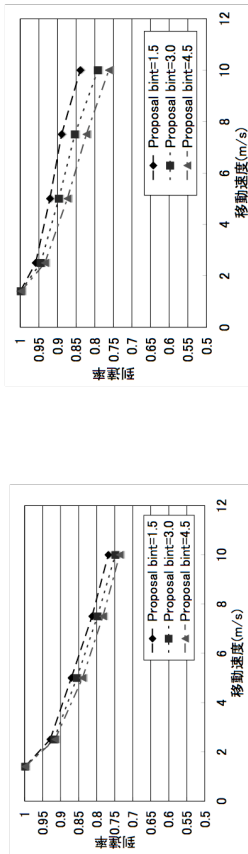


図 7 提案手法の評価実験結果

最後に、図 8 に移動速度が 1.4m/sec における実験で送信された全パケットの内訳を示す。図 8 ではフラッディングによるデータパケットの送信の理論値と比較しているが、提案方式はどの Hello 間隔においても、フラッディングより少ないパケット送信数でデータ送信を実現していることがわかる。特に、データパケットの転送回数は約 38% となった。この差は、ネットワーク内のノード数と、データ送信者の増加に伴って大きくなると考えられる。

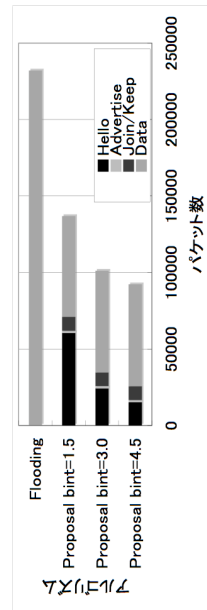


図 8 提案方式のパケット内訳

5. まとめ

本稿では、既存の Geocast では実現できなかった「過去に特定のエリアに存在した」ノードが自由に参加離脱可能なマルチキャストを実現するために、Geocast と GPSR を組み合わせたメンバ管理方式を提案し、実験評価によってその有効性を示した。

また、隣接ノード情報が利用可能な環境下における Geocast アルゴリズムの提案と、その評価を行った。実験の結果、提案方式はフラッディングベースの Geocast である Adaptive Distance Scheme と比較してデータ到達率は劣るものの、低いオーバーヘッドでパケットの送信を行うことができていることを示した。

提案方式は、Hello パケットを必要とするが、マルチキャストセッションの広告からデータパケットの送信処理までにフラッディングを行わないため、ネットワーク規模の増大や、マルチキャスト送信元の増加に対して高いスケールビリティを持つと考えられる。

今後の展望としては、提案方式の性能の向上があげられる。提案方式におけるパケット喪失の主な原因は、パケット転送を行う対象となる隣接ノードの選択失敗である。これを回避するために、ノードの移動速度や Hello パケットの寿命等を加味したメトリックの追加実装を行い、適切な隣接ノードに対するパケット転送を実現する。また、Advertise パケットやデータパケットに Hello パケットの機能を持たせて送信することで、Hello パケット数を抑制し、提案手法の性能向上を図る。最終的には、実機による実装を行う。

参考文献

[1] C. Perkins, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV)", RFC3561, (2003).
 [2] "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)", draft-ietf-manet-dsr.txt, (2003).
 [3] Y. B. Ko, N. H. Vaidya, "Flooding-based geocasting protocols for mobile ad hoc networks", Mobile Networks and Applications, pp. 471-480, (2002).
 [4] S.-J. Lee, M. Gerla, and C.-C. Chiang, "On-Demand Multicast Routing Protocol for Ad-Hoc Networks", Proc. of IEEE WCNC'99, pp. 1298-1302, (1999).
 [5] J.J. Garcia-Luna-Aceves, E.L. Madruga, "A Multicast Routing Protocol for Ad-Hoc Networks", Proc. of INFOCOM'99, pp. 784-792, (1999).
 [6] K. Chen, K. Nahrstedt, "Effective Location-Guided Tree Construction Algorithms for Small Group Multicast in MANET", Proc. of IEEE INFOCOM 2002, (2002).
 [7] B. Karp, H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks", Proc. of ACM/IEEE MOBIOM'2000, pp. 243-254, (2000).
 [8] ns-2, "The Network Simulator version 2", <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>