

アドホックネットワークにおける ユニキャスト複数配信とマルチキャスト配信との性能比較

日比野 裕^{†1} 野口 拓^{†1} 川合 誠^{†1}

アドホックネットワークにおけるコンテンツ配信等をねらいとするマルチキャスト通信の実現方法としては、マルチキャストプロトコルを用いる方法とユニキャストプロトコルを用いて複数配信する方法がある。本稿では、受信者の地理的分布と経路の切断場所をパラメータとして、両者の性能比較を行い、ユニキャスト複数配信が優位となる適用領域があることを示す。

Performance Comparison of multiple unicast and multicast for ad-hoc networks.

YUU HIBINO,^{†1} TAKU NOGUCHI^{†1} and MAKOTO KAWAI^{†1}

There are two methods, multicast protocols and multiple unicast using unicast protocols to implement multicast communications for contents transmission etc. This paper compares both methods with parameters of geographic distribution of receivers and a failed route position, and shows that the repetition of unicast protocols can be more advantageous for a certain range of the parameters.

1. ま え が き

近年、スマートフォンの急速な普及に伴い、アドホックネットワークが容易に構成できるようになった。アドホックネットワークは固定インフラを必要とせず、複数のノードによって構成される柔軟なネットワークである。通信方式として、1対1通信方式のユニキャスト、1

対多通信方式のマルチキャストがある。従来、アドホックネットワークではマルチキャスト通信をマルチキャストプロトコルによって実現しているが、ユニキャストプロトコルによる複数配信によっても実現可能である。ユニキャストプロトコルによる実現が一般的でない理由は制御が非効率なためである。しかし、条件によってはユニキャスト複数配信が効率的であることもある。過去の関連文献¹⁾では、ODMRPとAODV複数配信との性能比較を行い、最大移動速度をパラメータとして配信率と遅延を調べ、単一コンテンツの場合に対してはODMRPが優位であることを示している。

本稿では、受信者の地理的分布と経路の切断箇所をパラメータとして特性を調べ、ネットワーク負荷の点でAODV複数配信が優位となる領域があることを示す。比較対象として、マルチキャストプロトコルODMRP (On-Demand Multicast Routing Protocol) およびマルチキャストプロトコルMAODV (Multicast Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing) を用い、シミュレーションによる性能評価を行う。

2. ユニキャスト複数配信

2.1 Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing (AODV)²⁾

AODVは、最短ホップ数で経路を構築するユニキャスト通信プロトコルである。経路に選ばれたノードは、それぞれ送信ノード方向に位置する上流ノードと受信ノード方向に位置する下流ノードを認識しており、データパケットはその経路にそってのみ送信される。ゆえに、ノードの位置関係が乱れるとデータ送信ができなくなるという問題がある。以下にアルゴリズムを示す。

- (1) 最初に送信ノードは経路要求メッセージRREQ (Route Request) をフラッディング^{*1}する。
- (2) RREQを受け取ったノードはRREQの送信元ノードを上流ノードとして認識し、上流ノードへの経路を設定する。
- (3) RREQを受け取った受信ノードは経路応答メッセージRREP (Route Reply) を送信ノードへユニキャストで送信する。
- (4) RREPは、RREQ時に生成された上流ノードへの経路情報を用いて、送信ノードまで送信される。その時、RREPを中継した上流ノードはRREPの送信元ノードを下流ノードとして認識する。

^{†1} 立命館大学
Ritsumeikan University

^{*1} アドホックネットワーク上に接続された送信可能なすべての端末に対して、パケットを送信すること。

- (5) 1~4の手順を受信ノード数分繰り返し行うことで、送信ノードと複数の受信ノードの間に双方向通信経路が構築される。RREPが送信ノードへ到着するとデータパケットを経路情報に沿ってユニキャスト送信する。また、リンク障害が起こった場合、リンク障害を検知したノードが送信ノードに近ければRERR (Route Error)を送信元ノードへ向かって送信していく。RERRを受信することによって、再度経路探索が行われる。リンク障害が起こったノードが受信ノードに近ければそのノードが受信ノードに対してRREQを送信し、経路修復を行う

2.2 利点・欠点

AODV 複数配信の利点として、TCP や、ユニキャストフレームによるレイヤ2再送処理などのユニキャスト用の既存技術を利用できる点が挙げられる。問題点として、上記のアルゴリズムを受信ノード数分行うため、受信ノードの増加にしたがいパケット量が増大する。また、受信ノードの地理的分布に偏りがあると経路を共有するノードが増えるためパケット衝突が頻繁に発生する。さらに、リンク障害が送信ノードの近傍で起これば、多数の経路を再構築する必要が生じ、パケット量が増大する。

3. マルチキャスト配信

3.1 On Demand Multicast Routing Protocol (ODMRP)³⁾

ODMRPは、メッシュベースのマルチキャスト通信用のプロトコルであり³⁾、AODV、MAODVと同様に、受信ノードとの最短ホップ上にあるノードを経路として選択する。選択されたノードはFG (Forwarding Group) ノードとなり、送信ノードから送信されたデータパケットを、FGノード間でのフラッディングを行うことにより受信ノードまで中継する。AODV、MAODVと異なり、データの中継するFGノード間にルーティング上の上流・下流の関係がないため、多少経路が乱れてもFGノード同士隣接していればデータ中継を行うことができる。以下にアルゴリズムを示す。

- (1) 最初に送信ノードは、参加要求メッセージJQ (Join Query) をフラッディングする。
- (2) JQを受け取ったノードは、JQ送信元ノードを上流と認識する。
- (3) JQを受け取ったマルチキャスト受信ノードは、参加応答メッセージJR (Join Reply) をJQ受信時に認識した上流ノードにブロードキャスト送信する。
- (4) JRを中継したノードは、データ中継を行うFGノードとなる。
- (5) ブロードキャスト送信を繰り返して、JRが送信ノードまで到着すると、データパケットはFGノード間をフラッディングされる。JQは定期的にフラッディングされ、経路

が再構築される。また、FGノードには離脱時間が設定されており、時間内にJRを受信しなければ、FGノードから離脱する。また、マルチキャストグループに加わるには、定期的に送信されているJQに対し、JRで応答することにより加わることができる。

3.2 Multicast Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing (MAODV)⁴⁾

MAODVは、AODVをマルチキャスト用に改良したツリー型のルーティングプロトコルである。マルチキャストグループごとに共有木を形成し、ノードがグループに参加する場合や、ノードの移動や離脱によってリンクが切断した場合には、木を再構成することで、グループ内の経路を常時維持する⁴⁾。以下にアルゴリズムを示す。

- (1) 最初に送信ノードは経路要求メッセージRREQ (Route Request) をフラッディングする。
- (2) RREQを受け取ったノードは、RREQの送信元ノードを上流ノードとして認識し、上流ノードへの経路を設定する。
- (3) RREQを受け取ったマルチキャストツリーメンバは、経路応答メッセージRREP (Route Reply) を送信ノードへユニキャストで送信する。
- (4) RREPは、RREQ時に生成された上流ノードへの経路情報を用いて、送信ノードまで送信される。その時、RREPを中継した上流ノードはRREPの送信元ノードを下流ノードとして認識する。
- (5) AODVと同様1~4の手順で、送信ノードとマルチキャストツリーメンバの間に経路が構築される。RREPが送信ノードへ到着すると、送信ノードのマルチキャストツリーへの参加が完了し、データパケットの送信が可能となる。ツリーの制御にはMACT (Multicast Activation) メッセージを使用する。また、MAODVにはAODVのRERR (Route Error) 機能がなく、定期的に送信されるGRPH (Group Hello) メッセージによってノードの有無を確認する。

3.3 利点・欠点

ODMRPの利点はデータ中継を行うFGノード間には上下の関係がないため、送信ノードとグループ受信ノード間でFGノード同士が隣接していれば、データの送信が可能となる。そのため、移動環境において高信頼にデータ中継が行える。欠点は受信ノードがネットワーク全体に散らばっているとFGノードが増えるため、転送されるパケット量が増大し、パケット衝突を頻繁に発生する。

MAODVの利点はツリー型の経路情報を持っているためトポロジの変化によってツリー全体を更新する必要がなく、接ぎ木、枝切り、結合などを行うことによりマルチキャストグ

ループ情報を維持することで、効率のよい通信を行うことができる。欠点は AODV と違い定期的に送信される MACT メッセージと GRPH メッセージによってツリーの制御をするため、MACT、GRPH が送られるまで経路切断を検知できず、AODV と比べて通信切断時間が延びる問題がある。

4. 受信ノードの地理的分布と経路切断場所が与える影響

受信ノードの地理的分布がデータ配送に与える影響を図 1 に示す。受信ノードが地理的に固まっている場合、マルチキャスト配信の方が効率的にデータ配信が可能である。一方、受信ノードが地理的に散らばっている場合、構築される経路の点ではユニキャスト複数配信もマルチキャスト配信も大きな差はない。

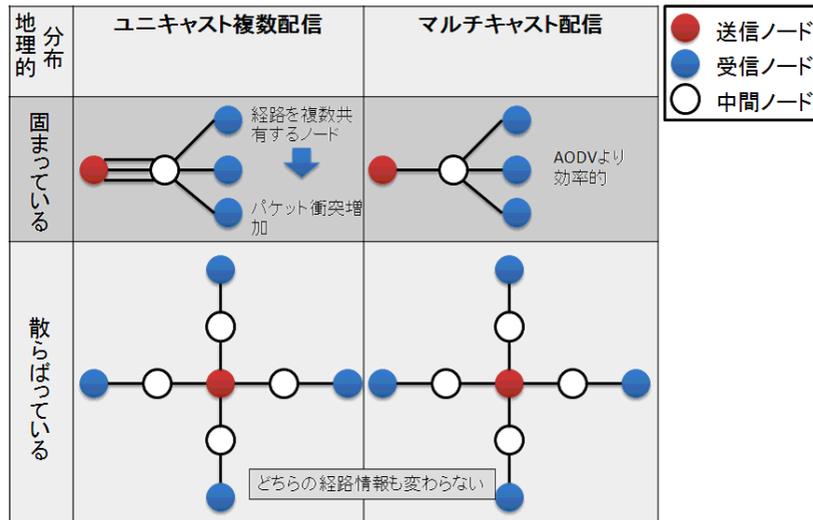


図 1 受信ノードの地理的分布の影響

受信ノードの経路切断場所による経路修復への影響を図 2 に示す。ユニキャスト複数配信は受信ノード付近で切断を起こした場合、接ぎ木を行い経路修復をするため、修復コストは小さい。マルチキャスト配信は切断場所によらず、一定時間で経路を再構築するため、修復コストはほぼ一定である。

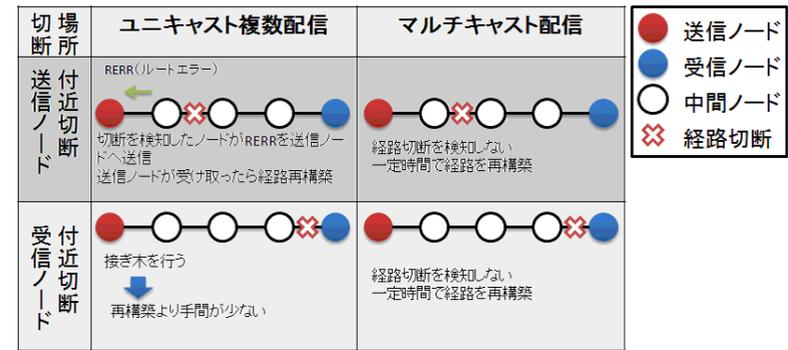


図 2 経路切断場所の影響

5. 性能比較要件と評価指標

5.1 シミュレーション環境

ノードは 27*27 の 150[m] 間隔の格子状に、送信ノードは中心に配置した。そのトポロジで AODV、ODMRP と MAODV による受信ノード数、受信ノード分散、経路切断場所が変化する場合の packets 到達率と 1 秒間に 1 ノードが受け取るバイト量を算出した。受信ノード数は 5,15,30 と変化させる。受信ノード分散は中心の送信ノードの座標を $(x,y)=(0,0)$ とした時、式 (1) で与えられる。この値が大きいくほど受信ノードの地理的分布の広がりが大きい。 σ^2 は受信ノード分散、 n は受信ノード数、 x_k は受信ノード k の x 軸座標、 y_k は受信ノード k の y 軸座標である。

$$\sigma^2 = \sqrt{\left\{ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2 \right\}^2 + \left\{ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2 \right\}^2} \quad (1)$$

経路切断はノードの移動によってのみ発生するものとし、切断場所を表す値として送信ノードからのホップ数を用いた。例えば、切断場所が 3 ホップの場合は、送信ノードから受信ノードまでの経路において、3 ホップ目に位置するノードが移動して経路切断が生じる。

シミュレーションで使用したネットワークトポロジを図 3 に示す。中心の送信ノードか

ら 1~10 ホップ (図 3 中オレンジ枠) 目まではノード移動により経路切断が発生するエリアである. 11~13 ホップ (図 3 中青枠) は受信ノードが存在するエリアであり, このエリアに属するノードから受信ノードがランダムに選ばれる.

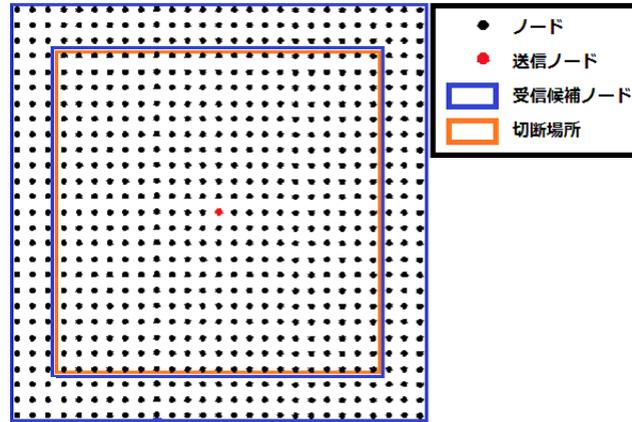


図 3 ネットワークトポロジ

シミュレータは NS-2 (Network Simulator version 2) を使用し, 基本的な環境は表 1 に示す.

項目	値
試行回数	100[回]
シミュレーション範囲	4200*4200[m ²]
シミュレーション時間	110[秒]
Radio Layer モデル	802.11b
電波到達範囲	250[m]
ノード数	729
送信ノード数	1
パケットサイズ	256[バイト]
送信回数	100[回]
ノード速度	10[mps]

5.2 シミュレーション結果・受信ノード数 5

受信ノード数 5 である時の AODV, ODMRP, MAODV のパケット到達率と 1 秒間に各受

信ノードが受信する平均バイト量を図 4 に示す.

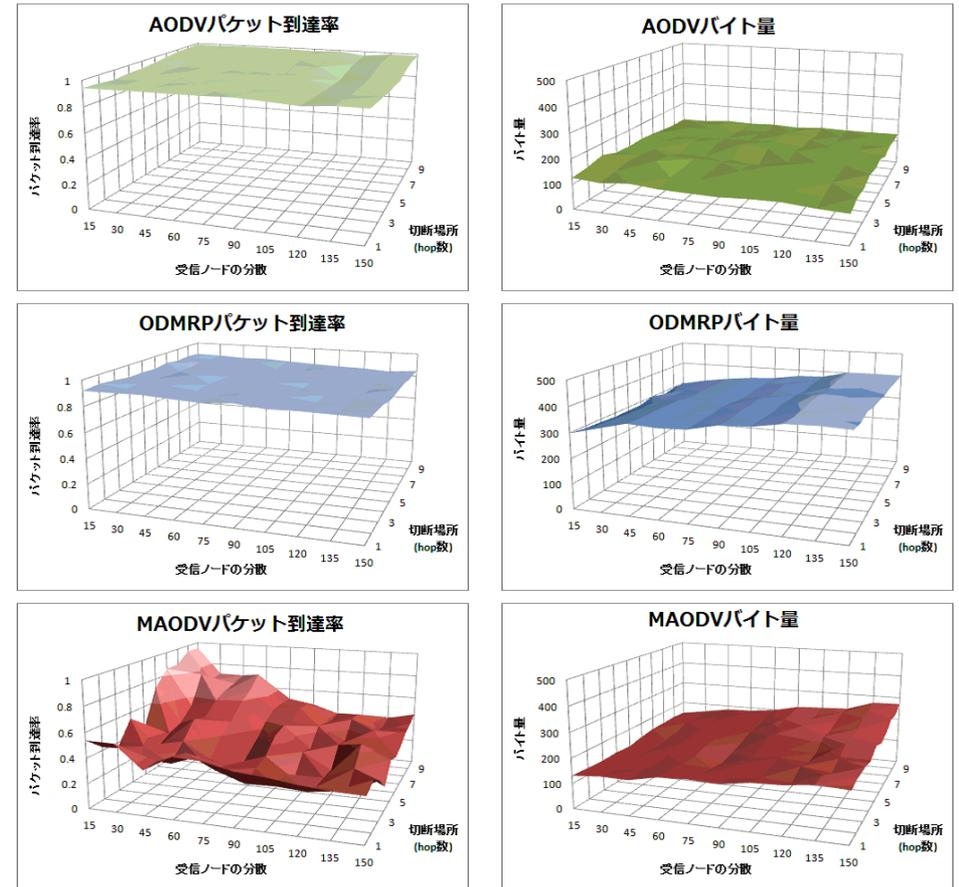


図 4 受信ノード 5 時の結果

AODV のパケット到達率は 90% 以上であり, 高い配送率を示している. これは受信ノード数 5 と少ない受信数であるためネットワークの負荷が小さく, 通常のユニキャストと同じように効率よく通信を行えたためと考えられる. AODV のバイト量を見ても少ないバイト

量で通信を行っている。これはネットワークの負荷に大きく関係しており、パケット衝突などが起こらず、無駄な制御パケットが発生していないためと考えられる。

ODMRP のパケット到達率は平均して 90%以上の値を示している。ODMRP はメッシュ型のマルチキャストプロトコルで、経路が切断されても予備経路が備わっていたためと考えられる。ODMRP のバイト量は受信ノード分散の値が大きくなるほど、高い値を示している。これは受信ノード数に比例して、FG ノードも増加し、FG ノードによって、データパケットが転送される回数が増えたためと考えられる。

MAODV のパケット到達率は低い値と高い値があり、試行回数 100 回では有意な規則性は見出せなかった。MAODV はツリー型配送経路を用いるため、ノード移動による切断に非常に敏感であり、各試行毎のノード移動パターンに大きく影響を受けたものと考えられる。MAODV のバイト量は低い値を示している。これは低いパケット到達率に起因するもので、ネットワーク内に流通するパケット自体が少なかったためと考えられる。

5.3 シミュレーション結果・受信ノード数 15

受信ノード数 15 である時の AODV,ODMRP,MAODV のパケット到達率と 1 秒間に各受信ノードが受信する平均バイト量を図 5 に示す。

AODV のパケット到達率は受信ノード数 5 のときよりは低下したが、85%以上であり、高い配送率を示している。これは受信ノード数が増加した分、ネットワークに対する負荷も高まり、パケット衝突が増加したためと考えられる。AODV のバイト量は受信ノード数 5 の場合より増加したが、他のプロトコルとほぼ同程度のバイト量で通信を行っている。これはパケット衝突によって経路確立の失敗が増え、制御パケットが増加したためと考えられる。

ODMRP のパケット到達率は受信ノード数 5 のときよりも少し高い値を示している。これは受信ノード数が増えることによって FG ノードが増え、より多くの予備経路が作られたためと考えられる。ODMRP のバイト量は受信ノード数 5 のときより、受信ノードの分散によって生じる差が大きくなっている。これは受信ノードが増加したことによって、受信ノードの分散が大きい場合に、より多くの FG ノードが発生したためと考えられる。

MAODV のパケット到達率とバイト量については受信ノード数 5 と同じような結果となった。

5.4 シミュレーション結果・受信ノード数 30

受信ノード数 30 である時の AODV,ODMRP,MAODV のパケット到達率と 1 秒間に各受信ノードが受信する平均バイト量を図 6 に示す。

AODV のパケット到達率は受信ノード数 5 と受信ノード数 15 のときよりさらに低くなっ

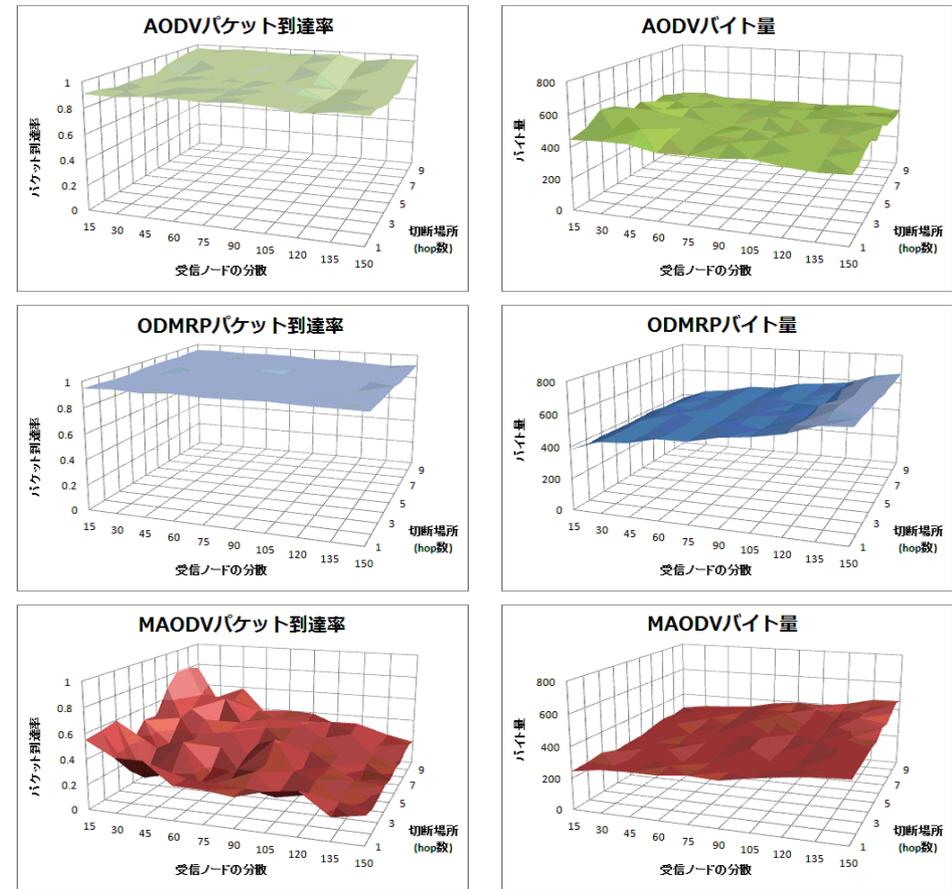


図 5 受信ノード 15 時の結果

たが、80%以上は維持できている。これはネットワークへの負荷がさらに増大したためと考えられる。AODV のバイト量は飛躍的に高い値になった。これは多くの場所でパケット衝突がおき、制御パケットを送信することによってさらにネットワークに負荷を与えて悪循環が発生したためと考えられる。

ODMRP のパケット到達率は受信ノード数 15 同様、高い値を示している。この理由は受

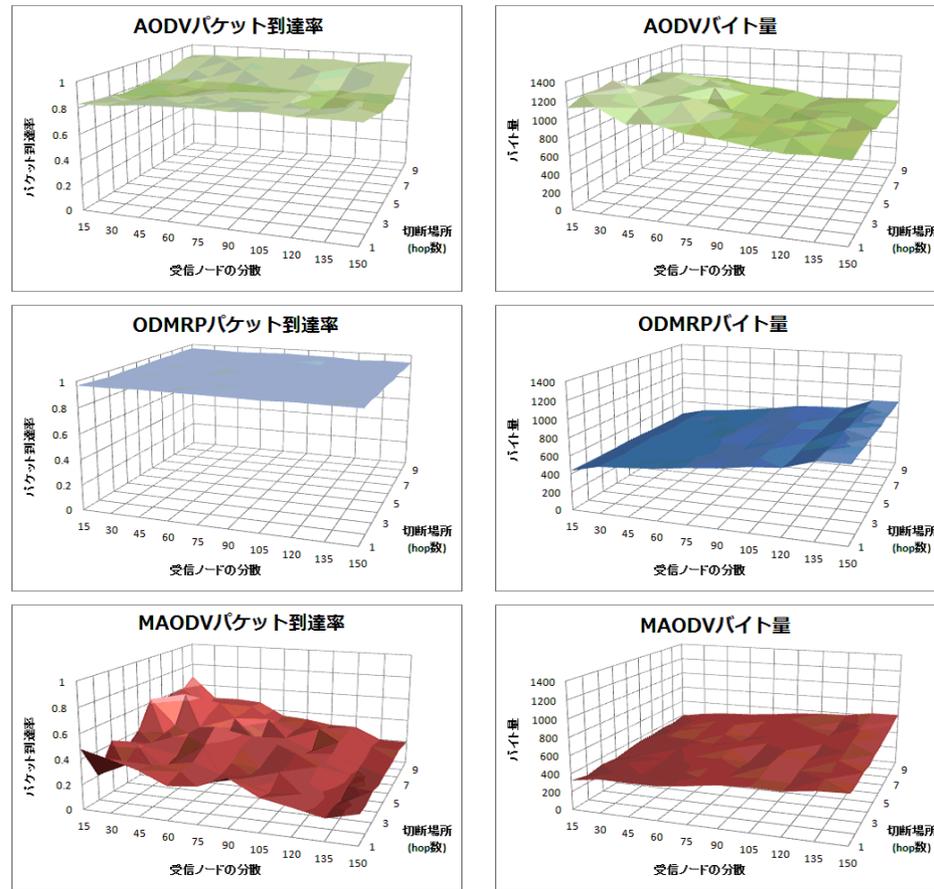


図 6 受信ノード 30 時の結果

信ノード数 15 と同様と考えられる。ODMRP のバイト量は受信ノード数 15 のときより、受信ノードの分散によって生じる差が大きくなっている。理由は受信ノード数 15 と同様だと考えられる。

MAODV のパケット到達率とバイト量については受信ノード数 5 と同じような結果となった。

5.5 シミュレーション結果・まとめ

続いて、受信ノード数と受信ノード分散を変化させた場合のバイト量を調べた。MAODV については配送率が低く有意なデータを得られなかったため比較対象から除外する。受信ノード数 5, 15, 30, 切断場所 5 ホップ目、受信ノード分散 15, 150 であるときのバイト量に占める制御パケットとデータパケットの割合を図 7 に示した。

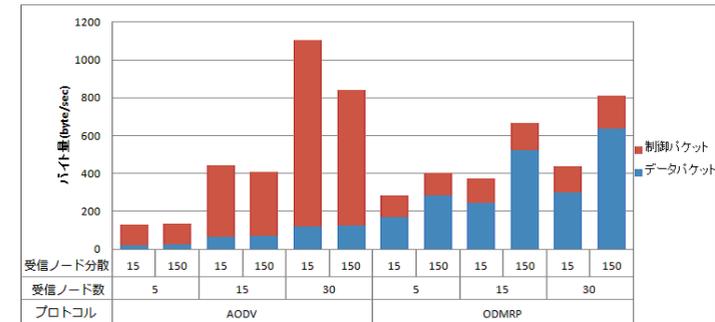


図 7 バイト量内訳

AODV は少ないデータパケット量で通信を行えている。しかし、制御パケットのバイト量が大部分を占めており、受信ノードが地理的に固まっている時ほど多い。受信ノードが地理的に固まっている場合、複数の受信ノードによって同じ中継ノードを共有し易い。共有する中継ノードにはパケットが集中し、パケット衝突の頻度が増加する。この結果、経路確立の失敗が増え、経路再構築のための制御パケットが大量に発生する。また、受信ノードの増加すると、経路切断が発生する回数も増え、制御パケットも増加する。

ODMRP は一定の制御パケット量で経路を確立できている。しかし、データパケットのバイト量が大部分を占めており、受信ノードが地理的に散らばっている時ほど多い。これは受信ノードが地理的に散らばっている場合、FG ノードが増加するためと考えられる。

6. まとめ

本稿では、ユニキャスト複数配信とマルチキャスト配信の比較を行った。MAODV 以外のプロトコルは受信ノード分散、切断場所に関係なく高いパケット到達率を示した。しかし、バイト量に関しては受信ノード分散に大きく左右される結果となった。AODV は受信ノード

が地理的に固まっているとパケット衝突により経路確立が困難となり、何度も経路構築を行うため、制御パケット量が増加する。また、受信ノードの増加によってもパケット衝突が増加し、その結果、送信元が経路探索失敗を繰り返しネットワークに更に負荷をかけるという負の連鎖が生じることが確認された。ODMRP は経路切断時に特別なアクションを起こさないで一定の制御パケット量で高いパケット到達率を示した。しかし、受信ノード数が多く、受信ノードの地理的に散らばっている場合は、FG ノードが増加するためデータパケットのバイト量は大幅に増える。このバイト量の増加は、大量のデータパケットを送信する場合には、より顕著になると考えられる。MAODV は経路切断に弱く安定したパケット到達率を示さなかった。パケットが届いていないためバイト量も小さい値が出た。

以上から、ユニキャスト複数配信は受信ノード分布の分散が大きく、受信ノード数が 15 程度となる場合、マルチキャスト配信より有用であると考えられる。しかし、受信ノード数に比例して、無駄な制御パケットを送信することが多くなり、ネットワークに負荷を与える問題もある。今後、このような無駄な制御パケットを抑制するようなプロトコルの開発を行う必要がある。

参 考 文 献

- 1) Yuki Ohno, Takanori Sudo, Siro Sakata, Hiroyuki Iizuka, Yuichiro Ezure, Akira Matsumoto, Tetsuya Ito, “アドホックネットワークにおける ODMRP と AODV 複数配信との性能比較” IEICE Technical Report IN2005-213, 2005.
- 2) CPerkins, “Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) routing,” Internet-Draft (<http://tools.ietf.org/id/draft-ietf-manet-aodv-00.txt>), 1997.
- 3) S. Lee, W. Su, and M. Gerla, “On-Demand Multicast Routing Protocol (ODMRP) for Ad Hoc Networks,” Internet-Draft (<http://www.mizunotomoaki.com/odmrp/001.html>), 2000.
- 4) A. Vasiliou, and A.A. Economides, “Evaluation of Multicasting Algorithms in Manets,” Woril Academy of Science Engineering and Technology 5, 2005.