

アドホックネットワーク上のマルチキャストにおける 動的負荷分散型の経路制御

Dynamic Load Balancing in Multicast Routing over Ad-Hoc Networks

澤村 崇博[†]
Takahiro Sawamura

松本 倫子[‡]
Noriko Matsumoto

吉田 紀彦[‡]
Norihiko Yoshida

1. はじめに

現在アドホックネットワークで用いられている経路制御方式の多くは、最短路もしくは最短路に近い経路を構築する。従って、従来の方式では、経路の重複が考慮されず特定のノードに通信が集中してしまい、これにより競合が多発し、輻輳が引き起こされる。その結果、ネットワークにおいてネットワークリソースにかかる負荷に偏りが生じ、ネットワークのスループットが低下してしまうことになる。

アドホックネットワークでは、一般的にメディアアクセス制御方式として CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) が用いられる。CSMA/CA では、データパケットの衝突を防ぐために、メディアが一定時間 (DIFS) 空いていることを確認し、さらにランダムな時間 (バックオフ) 待機してからパケットの送信を開始する。この CSMA/CA に起因する伝送遅延の影響は大きく、VoIP 通信では 3 つ、音声映像のストリーミング配信では 2 つを超えるセッションが 1 つのノード上で重なると、サービスの品質に影響が現れるという報告がなされている [1]。

現在、このような問題を経路制御によって解決しようとするいくつかの研究がなされている。これらの研究はユニキャスト通信を前提として議論される場合が多く、本稿では、マルチキャスト通信において、特定のノードのネットワークリソースにかかる負荷の偏りを経路制御によって軽減する方式を提案する。

2. 負荷分散方式

アドホックネットワークの経路制御方式の多くは、最短路もしくは最短路に近い経路を構築する。しかし、これらの経路構築方式では、ノードのネットワークリソースにかかる負荷が考慮されず、このような負荷の高いノードを含んだ経路を用いて VoIP 等の通信を行うと、上記のメディアアクセスの競合やパケットの衝突に起因して、平均伝送遅延が増加するという問題が発生する。

現在、このような問題を解決するために、経路制御により競合や衝突の多発する負荷の高いノードを回避した経路を構築することで、負荷を分散させる方式が提案されている。この方式には、分散型と代表ノードによる集中型の 2 種類がある。

2.1 分散型の負荷分散

分散型の方式としては DLAR [2] や文献 [3] のプロトコルが提案されている。これらの方式は、アドホックネットワークにおけるリアクティブ型経路制御方式 (主に DSR [4]) を基本として動作する。以下に分散型の方式の動作を示す。

[†]NEC 情報システムズ NEC Informatec Systems
[‡]埼玉大学 Saitama University

- 通信の要求が発生したノードはネットワーク中に探索パケットをフラッディングする。
- 各ノードは、自分にかかっている負荷をチャンネルの利用率などから把握している。探索パケットは経由したノードのうち、ある閾値以上の負荷がノードにかかっている場合、その情報をパケット内に格納する。
- 宛先ノードは複数の探索パケットを受信し、送信元宛先間の経路を複数知ることができた場合、探索パケットのフィールドから混雑状態にあるノード数が最も少ない経路を採用する。これにより、負荷の低い経路を構築する。

2.2 集中型の負荷分散

集中型の方式としては、ネットワーク内に代表ノードを生成し、その代表ノードに経路情報を集約し、各ノードの経路構築を代表ノードが行う方式 [5] が提案されている。以下に集中型の方式の動作を示す。

- 通信の要求が発生すると、送信元ノードは代表ノードに対して、送信元ノード宛先ノード間の経路を要求する。
- 代表ノードは各ノードの競合発生が起こりやすさを重みとして把握している。代表ノードは、この重みに基づいて、送信元ノード宛先ノード間の経路をダイクストラ法により作成する。これにより、競合の少ない経路が構築できる。

3. 提案方式

上記のような負荷分散の経路制御方式が提案され、その効果が報告されているが、これらの方式はユニキャスト通信を前提として議論がなされており、マルチキャスト通信においても、ユニキャスト通信と同様に負荷の偏りの問題は発生する。マルチキャスト通信は、アドホックネットワーク上での映像や音声配信をはじめとする様々なサービスの実現に有用な技術である。これらのサービスには安定した伝送品質が求められるため、負荷の偏りによる遅延は大きな問題となる。

そこで、本研究では前述の分散型の負荷分散経路制御方式を応用し、マルチキャスト通信におけるネットワークリソースにかかる負荷を分散させる方式を提案する。なお、本研究ではマルチキャスト配送構造として、送信元ノードをルートとしたマルチキャストツリーを使用する。提案方式において、負荷分散はマルチキャストグループへの新メンバの参加と、サブツリーの張り替えという 2 つのフェーズにより達成される。

3.1 新メンバの参加フェーズ

まず、新メンバの参加では、あるノード (以下、参加ノード) が新たにマルチキャストグループへ参加するために、次のような手続きを行う。

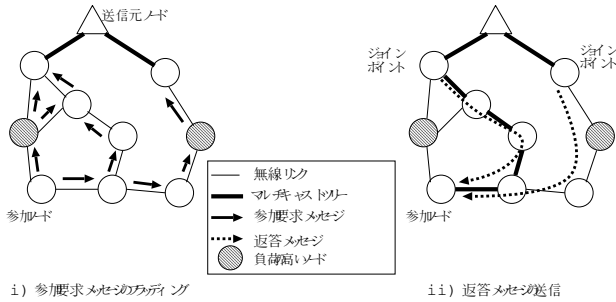


図 1: マルチキャストツリーへの参加

- 参加ノードは、参加したいマルチキャストグループを指定した参加要求メッセージをネットワーク中にフラディングする(図 1.i)。
- ノードは自身の負荷情報を把握しており、参加要求メッセージは経由したノードとそのノードの負荷情報を自身に記録していく。ここで、負荷情報とは、ノードにかかる負荷を数値で表したものであり、この合計値が小さい経路ほど負荷の低い経路である。また、この負荷の数値(以下、負荷値)は、ノードが多く通信経路に組み込まれるほど大きな値が設定される。
- 参加要求をマルチキャストグループのメンバが受信すると、そのメンバは参加要求の送信元へ返答メッセージを送信する。返答メッセージにはマルチキャストの送信元ノードから参加ノードまでの経路とその負荷情報が含まれる。ただし、メンバはすぐに返答メッセージを送信することはせずに、一定時間待機してから、送信を行う。これは、他の経路を経由して参加要求が到達する可能性があるためである。複数の参加要求メッセージをメンバが受信した場合、メンバは最も負荷の低い経路を選択し、返答メッセージを送信する。
- 複数のメンバが参加要求に対して返答したとき、参加ノードは複数の返答メッセージを受信する。その際、参加ノードは返答メッセージから、最も負荷の低い経路を選択し、マルチキャストツリーに接ぎ木する。

このようにして、負荷の高いノードを回避したマルチキャストツリーが構築される。

3.2 サブツリーの張り替えフェーズ

しかし、マルチキャストツリーが構築された後でも、他のマルチキャストツリーやユニキャスト通信などの変化により、構築されたツリー内の特定ノードの負荷が高まる場合がある。この特定ノードより下流のノードに対するマルチキャストデータの配送は、全てこの特定ノードを経由することになる。ゆえに、特定ノードの負荷が高まることによる伝送遅延の影響は、特定ノードとそれより下流の全てのメンバに及ぶことになる。

そこで提案方式では、マルチキャストデータを配送するためのデータパケットに、経由したノードの負荷値を合計し、格納していく。すなわち、データパケットには送信元ノードからデータパケットを受信したノードまでの負荷値の合計が格納される。この負荷値を利用して、

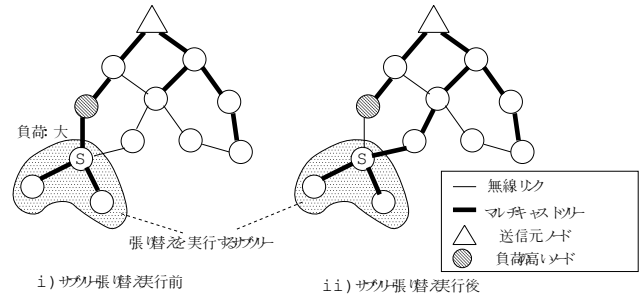


図 2: サブツリー張り替え

サブツリー張り替えフェーズでは、メンバが送信元から自分への負荷が高くなったことをデータパケットから検知した場合、そのメンバは自身を先頭ノードとしたサブツリーをマルチキャストの負荷の低い部分に張り替える(図 2)。これにより、マルチキャストツリー上の負荷が高くなった場合に対応できる。なお、サブツリーの張り替えは、サブツリーの先頭ノードがマルチキャストへの参加フェーズを再度実行することで達成される。

4. 実験

提案方式の有効性を確かめるために、シミュレーションによる実験を行った。実験では、400個のノードを400×400のフィールドにランダムかつ静的に配置し、ノードの通信半径を10と設定した。この環境において、負荷の高いノード、負荷が中程度のノード、そして負荷の低いノードという3種類の負荷レベルのノードをランダムに発生させ、マルチキャストツリーの送信元ノードを1つ配置し、マルチキャストツリーを構築する実験を行った。実験において、ネットワーク内でランダムに選択された100台程度のノードが順にマルチキャストグループへの参加を要求し、ランダムに選択された10台程度のノードが順にマルチキャストグループから離脱する。

図3は、負荷が中程度以上のノードの割合を変化させ、提案方式ありの場合と提案方式なしの場合で、マルチキャストツリー内に含まれる負荷の高いノード数をプロットしたものである。なお、負荷が中程度のノード数と負荷の高いノード数の割合は4:1で固定してある。図の横軸は負荷が中程度以上のノードの割合であり、縦軸は負荷の高いノード数である。なお、プロットされた値はシミュレーションを終了した時点のものである。提案方式なしの場合に比べ、提案方式ありの方がマルチキャストツリー内の負荷の高いノード数を少なく抑えられていることがわかる。

次に、図3において負荷が中程度以上のノードの割合が50%の場合を例にとって、マルチキャストツリー内に含まれる負荷の高いノード数の変化を時間ごとにプロットした。結果が図4である。時間100付近で、提案方式ありの方が提案方式なしの場合を上回っているが、それ以外は提案方式ありの方がマルチキャストツリー内の負荷の高いノード数を同じか、もしくはそれより低く抑えられている。

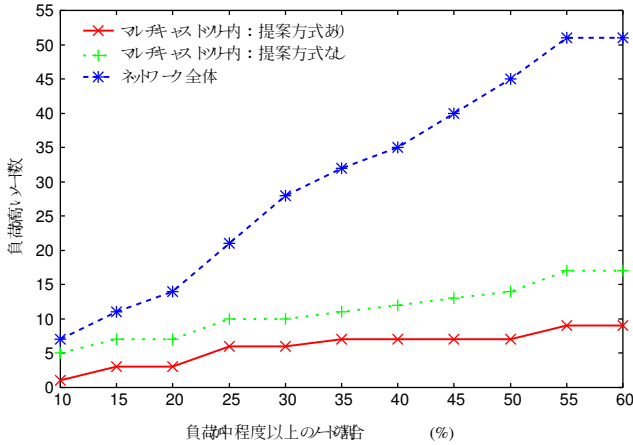


図 3: 負荷が高いノード数の変化

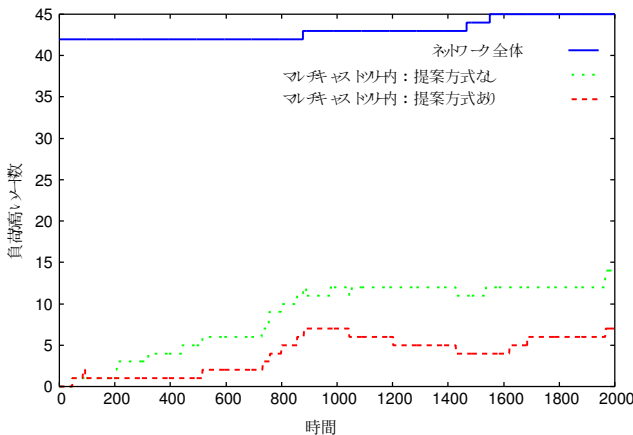


図 4: 時間ごとの負荷が高いノード数の変化

5. まとめ

本研究では、アドホックネットワーク上のマルチキャストにおいて、負荷の高いノードを回避してマルチキャストツリーを構築する経路制御方式について提案を行った。また、提案方式において構築されたマルチキャストツリー上の負荷が変化した場合には、サブツリーをより負荷の低い部分に張り替えることで対応する。

提案方式の有効性を示すために、シミュレーション実験を行い、提案方式を用いた場合と用いない場合を比較し、提案方式を用いた方が負荷の高いノードを回避したマルチキャスト配送構造が構築できることを示した。

今後の課題としては、マルチキャスト通信とユニキャスト通信を混在させたネットワークにおいて、経路重複数を用いたノードの負荷情報の設定を適用して、シミュレーションを行うことが挙げられる。また、提案方式で使用する負荷情報などのパラメータの検討や、ノードの移動性への提案方式の拡張といった点が挙げられる。

参考文献

- [1] 板谷, 長谷川, P. Davis, 門脇, 山口, 小花, “無線アドホックネットワーク上でのメディア配信実験”, 情報処理学会/電子情報通信学会 第4回情報科学技術フォーラム論文集, Vol.4, pp.131-132, 2005.

- [2] S. J. Lee, M. Gerla, “Dynamic Load-Aware Routing in Ad Hoc Networks”, Proc. IEEE Int'l Conf. on Communications, Vol.10, pp.3206-3210, 2001.
- [3] X. Tao, T. Kunz, D. Falconer, “Traffic Balancing in Wireless Mesh Networks”, Proc. Int'l Conf. on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, pp.169-174, 2005.
- [4] The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)
<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-10.txt>
- [5] 田中, “アドホックネットワークにおける競合回避型の経路制御”, 埼玉大学大学院修士論文, 2006.
- [6] 澤村, アドホックネットワーク上のマルチキャストにおける動的負荷分散型の経路制御, 埼玉大学修士論文, 2007.