

アドホックネットワークの経路制御における動的クラスタリング Dynamic Clustering in Ad-hoc Network Routing

澤村 崇博[†]

Takahiro Sawamura

吉田 紀彦[†]

Norihiko Yoshida

1. はじめに

アドホックネットワークとは、ルータや基地局のようなネットワークインフラを必要とせず、端末(ノード)のみによりその場地的に構築されるネットワークである。アドホックネットワークは、ノードの移動性やネットワークの「その場地的」な発生を想定しているため、目的のノードとの安定した通信を確立するには、経路制御は重要な要素である。現在までに多くの経路制御プロトコルが提案されているが、その中にクラスタを用いた方法がある。アドホックネットワークへクラスタを導入することは、フラッディングの抑制やノードが保持すべき経路情報量の抑制といった点で有効である。しかし、アドホックネットワークが、ノードの移動などによりトポロジが常に変化するという特徴を持っているため、クラスタを固定的に形成することは困難である。

そこで、本研究ではネットワークの開始後にクラスタを動的に形成させる方式についての提案と設計を行った。

2. 経路制御手法の例

アドホックネットワークの経路制御手法には、大別して Reactive 型と Proactive 型がある。Reactive 型は通信の要求が発生してから経路を作成する方法であり、Proactive 型は定期的にノード同士が経路情報をやり取りすることで、あらかじめネットワーク内の経路情報を保持しておく方法である。

2.1 Reactive 型と Proactive 型

Reactive 型の経路制御方法において、ノードが他のノードへの経路を探索する場合は、ネットワーク中のノードへ経路探索パケットを送信する。これをフラッディング(flooding)という。フラッディングの多発はネットワーク内のトラフィックを増大させてしまう問題がある。代表的な方式には、DSR[1]やAODV[2]などがある。

フラッディングを抑制するという観点から、Proactive 型の経路制御は定期的にネットワーク内のノードと経路情報をやり取りしており、通信要求が発生した際にフラッディングは発生しない。しかし、経路情報を有効に維持するための負荷が大きくなってしまいう問題がある。代表的な方式には、OLSR[3]やTBRPF[4]が挙げられる。

2.2 クラスタ

フラッディングを抑制するという点において、クラスタ[5]を用いることは有効である。クラスタは、ネットワークをいくつかの集団に分割したものである。各クラスタでは、代表のノード(クラスタヘッド)がクラスタ内の経路情報を保持している。クラスタ内のノードは、通信要求が発生したときにはクラスタヘッドへ経路を問い合わせる。これにより、フラッディングの発生を抑制できる。Proactive 型とは違い、経路情報を保持するのは

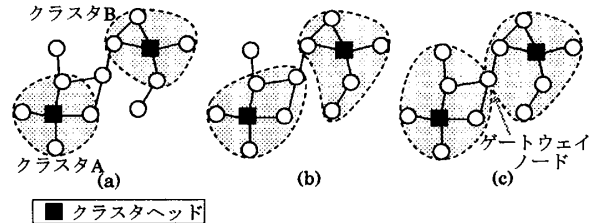


図1: クラスタの形成概念図

クラスタヘッドだけであり、保持すべき経路情報の範囲も制限される、というメリットもある。

しかし、アドホックネットワークにおいてクラスタを固定的にしてしまうことは、次の点から困難である。

- アドホックネットワークは任意の空間にその場地的に形成されるネットワークであるため事前の取り決めができない。
- ノードの移動などによりトポロジが変化する。

そこで、本研究では動的にクラスタを形成させる方式を提案する。

3. 提案方式

本節では、クラスタを動的に形成させる方式の概要について記述する。この提案方式の前提として、Reactive 型(具体的にはAODV)で動作しているアドホックネットワークにおいて、何らかの方法[†]によりクラスタヘッドとなるノードが選出されているとする。このとき、クラスタは次のような手順で形成されていく。

3.1 クラスタ形成の概要

まずネットワーク内で、あるノードがクラスタヘッドとして選出されると、クラスタヘッドは自分の周囲1ホップを自分のクラスタ内に取り込む(図1(a))。クラスタに取り込まれたノードにおいて通信の要求が発生したときは、クラスタヘッドへ目的のノードへの経路を問い合わせる。クラスタヘッドが要求された経路情報を保持していれば、その経路を要求元へ返すが、経路情報を保持していなければ、要求元のノードはReactive型のフラッディングによる経路探索を行う。

その後、クラスタは周囲のノードを1つずつ取り込んでいき、徐々に拡大していく(図1(b))。クラスタは一定の大きさになるか、クラスタが別のクラスタと接触するまで大きくなっていく(図1(c))。クラスタ同士が接触した場合、クラスタ間の境界にあるノードがそれぞれのクラスタヘッドへ他方のクラスタヘッドの存在を通知する。この境界ノードはゲートウェイノードの役割を果たし、クラスタヘッドは他のクラスタヘッドと通信を行うことができるようになる。クラスタヘッドが他のクラスタヘッドと通信を行うことができれば、一方のクラスタヘッドが保持していない経路情報をもう一方のクラスタ

[†]埼玉大学, Saitama University

[†]クラスタヘッドの選出の方法については、“アドホックネットワークにおける動的経路制御”[6]により提案されている。

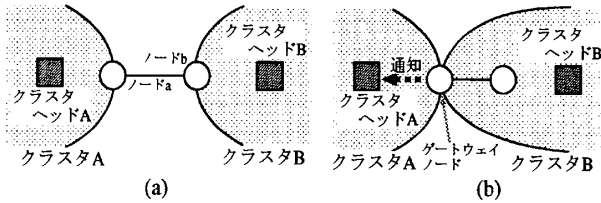


図2: クラスタの拡大と接触

ヘッドへ問い合わせることができる。これにより、クラスタヘッドに経路を問い合わせたときに経路が見つかる確率が高まり、フラッディングの発生が抑制できる [7]。

4. 詳細設計

提案方式の詳細を述べるにあたり、クラスタ内のノードは次の条件を満たすこととする。

「クラスタヘッドが経路情報を保持しているノードであり、かつノード自身もそのクラスタに属していることを知っている (つまり、クラスタヘッドへの経路を保持している)。」

4.1 クラスタの発生

クラスタヘッドが選出されると、クラスタヘッドは周囲1ホップのノードへ自分の存在 (クラスタヘッドのアドレス) を通知する。この通知を受け取ったノードはクラスタヘッドに登録して、自分の属するクラスタの情報を返答する。どのクラスタにも属していない場合は、何も付加せずに返答する。クラスタヘッドは返答を受け取ると、そのノードの経路情報をトポロジ表として保持する。これにより、クラスタヘッドの周囲に1ホップのクラスタが形成される。クラスタ内のノードはクラスタヘッドの存在を知っているので、経路を探索する場合、クラスタヘッドへ経路を問い合わせることができる。

4.2 クラスタの拡大と接触

クラスタの周囲1ホップにあるノードXがフラッディングにより経路探索を行ったとき、クラスタの最も外側のノードYは経路探索パケットを受け取る。このとき、ノードYはノードXが要求する経路情報をクラスタヘッドへ問い合わせるが、その前にノードXとやり取りを行ってノードXの情報も送信する。このノードXの情報とは、具体的にはノードXが属するクラスタのクラスタヘッドのアドレスである。クラスタヘッドはその情報を元にノードXをクラスタに含めるか否かを判断し、その結果を経路探索の結果を返信するときに付加する。このような操作を経て、クラスタは1つずつ周囲のノードを取り込み拡大していく。

このようにクラスタは徐々に拡大し、やがて図2(a)のようにクラスタ同士が隣接しあう状態になる。ノードaが経路探索のためにフラッディングを行ったとすると、前段落のような手順で、ノードaはクラスタBに取り込まれる (図2(b))。このとき、ノードaは既に属しているクラスタのクラスタヘッドAへクラスタヘッドBのアドレスを通知する。なお、クラスタヘッドBはノードaをクラスタに取り込むときに、ノードaからクラスタヘッドAの存在を知るので、通知をする必要はない。

このように、クラスタ同士が接触することで各クラスタヘッドはもう一方のクラスタヘッドと通信することができるようになる。

4.3 他のクラスタへの問い合わせ

クラスタヘッドは要求されたノードへの経路情報を保持していないとき、他のクラスタのクラスタヘッドへ問い合わせを転送する。例えば図2(b)において、クラスタヘッドAからクラスタヘッドBへ問い合わせが行われたとき、クラスタヘッドBは目的のノードからクラスタAとのゲートウェイノードまでの経路をクラスタヘッドAへ返信する必要がある。クラスタヘッドAはその経路を受信すると、ゲートウェイノードから経路の要求元ノード間の経路を作成し、受信した経路とつなぎ合わせる。これが要求元-目的ノード間の経路となる。

4.4 クラスタ内のトポロジ変化への対応

クラスタ内のトポロジが変化すると、クラスタヘッドが保持している経路情報では正しい経路制御が行えなくなる。そのため、クラスタ内の各ノードは定期的にHelloパケットを送出し、隣接ノードとの接続性を確認しあう。隣接ノードの変化を確認したノードは、クラスタヘッドへ変化を報告し、クラスタヘッドはそれに基づいて保持している経路情報を修正する。

5. まとめ

本研究では、選出された代表ノードをクラスタヘッドとして、動的にクラスタを形成していく方式の提案と設計を行った。クラスタは、クラスタヘッドが保持する経路情報の範囲を制御できることや、フラッディングの発生を抑制できるといった利点を持っている。提案方式は、選出されたクラスタヘッドを中心に徐々にクラスタが形成されていく設計となっており、固定的なクラスタの構築が困難であるアドホックネットワークでクラスタを形成することに適していると考えられる。一方、提案方式の初期では各クラスタは独立しており、フラッディングが多くなると考えられる。しかし、クラスタが拡大し、接触すると、クラスタ同士が通信を行えるようになり、フラッディングが抑制されていくと考えられる。

今後の課題として、クラスタ内のトポロジ変化への対処について設計の詳細化を行い、提案方式の動作の確認や性能評価を行うために、シミュレーション実験を行う予定である。

参考文献

- [1] <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-10.txt>
- [2] <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>
- [3] <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>
- [4] <http://www.ietf.org/rfc/rfc3684.txt>
- [5] Tim Nieberg, Stefan Dulman, Paul Havinga, Lodewijk v. Hoesel, Jian Wu, "Collaborative Algorithms for Communication in Wireless Sensor Networks" in T.Basten et al. eds. Ambient Intelligence: Impact on Embedded System Design, Kluwer, 2003
- [6] 田中健介, "アドホックネットワークにおける適応型経路制御の設計", 第3回情報科学技術フォーラム (FIT2004), 2004, L-023, (CD-ROM)
- [7] 澤村崇博, "アドホックネットワークの経路制御におけるゾーンの動的形成", 埼玉大学卒業論文 (2005)