

M-069

# ワイヤレスメッシュネットワークにおける傾斜型クラスタを用いた経路制御 Gradient-Cluster Based Routing in Wireless Mesh Networks

清水 公一<sup>†</sup>      澤村 崇博<sup>‡</sup>  
Koichi Shimizu      Sawamura Takahiro

松本 倫子<sup>†</sup>      吉田 紀彦<sup>†</sup>  
Noriko Matsumoto      Norihiko Yoshida

## 1. はじめに

Wireless Mesh Network(WMN)[1]とは、アクセスポイントとクライアントノードをそれぞれ網の目状に無線で接続し、アクセスポイントのいくつかを有線でインターネットと結びことにより、インターネット接続を可能にした無線ネットワークである(図1)。

WMNでは、クライアントノードが別のノードと通信を行う場合、まず、手近なアクセスポイントに対して、経路要求パケットを送信する。次に、インターネットや他のアクセスポイントを経由して、送信元ノードと宛先ノード間の経路を作成し、通信を行う。しかし、作成される経路は必ずアクセスポイントを経由した経路となり、最短経路とならない場合がある。そこで本研究では、アクセスポイント以外の近隣のノードにも経路要求パケットを送信し、より短い経路作成が可能な傾斜型クラスタ[2]を用いた経路制御手法の提案、設計を行った。

## 2. WMNにおける経路制御

WMNでは、アクセスポイントがノードの経路情報を管理し、各ノードはアクセスポイントに依存した経路制御を行っている。WMNでの通信経路作成の具体例を図2に示す。ノードAが別のノードBと通信を行うことを考える。まず、ノードAは自分から一番近い位置にあるアクセスポイントに向けて、経路要求パケット(Route Request Packet)を送信する。次に、パケットを受信したアクセスポイントは、自身の保持している経路情報に宛先ノードBが含まれているかを調べる。含まれていなければ他のアクセスポイントへ問い合わせを行い、ノードBを探す。これを繰り返し、ノードBへの経路情報をもつアクセスポイントにRREQパケットが到達すると、経路応答パケット(Route Reply Packet)が作成され、送信元ノードに返信される。このようにして通信経路(a)が作成される。

ここで、図2のトポロジにおいて、ノードAC間、ノードBC間にリンクが存在したとする。経路(b)のように

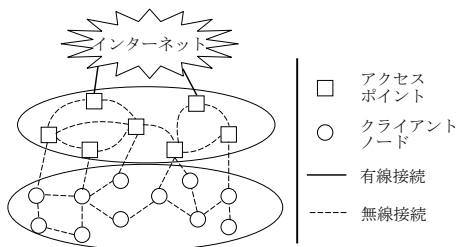


図1: Wireless Mesh Network

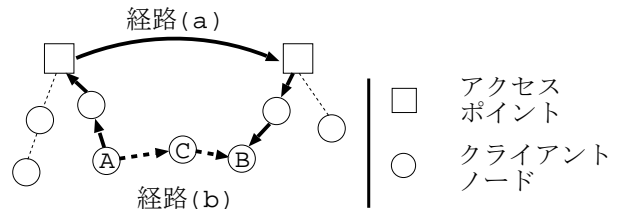


図2: WMNにおける経路制御

ノードCを経由する方が最短であったとしても、作成される経路は必ずアクセスポイントを経由した通信経路となる。このように、作成される経路は必ずしも最短経路とならない場合がある。この問題点を解決すべく、本研究では、WMNの階層的な構造がアドホックネットワークにおける経路制御手法の一つであるCBRP(Cluster Based Routing Protocol)[3]と酷似している点に着目し、従来のCBRPを改良した傾斜型クラスタを用いた経路制御手法を提案する。

## 3. 傾斜型クラスタの導入

### 3.1 WMNへの従来のCBRPの適用

傾斜型クラスタの導入の前段階として、WMNへ従来のCBRPの適用を考えた場合、従来法とは異なる点が二つある。一つは作成されるクラスタが任意のものではなく、経路情報を管理するアクセスポイントをクラスタヘッドとしたクラスタが作成される点である。もう一つはアクセスポイントがゲートウェイノードの役割も果たすので、ゲートウェイノードが存在しない点である。この2点を変更することにより、従来のWMNの構造を大きく変えることなく適用が可能となる。しかし、このままでは依然として、前述の問題点が残るので、次節で説明する傾斜型クラスタの導入を考える。

### 3.2 傾斜型クラスタの概要

従来のCBRPでは、ネットワーク中のノードは経路探索に関してアクセスポイントに完全に依存している。その依存関係が最短経路の作成を困難にしている。そこで、本研究ではアクセスポイントからのホップ数に応じて、クライアントノードとアクセスポイント間の依存関係に傾斜をつける傾斜型クラスタの導入を考える。「傾斜をつける」とは具体的には、アクセスポイントからの距離が近いノードには、クラスタヘッドに対して高い依存度を、遠いノードには低い依存度をもたせるということである。アクセスポイントに向かう隣接ノードだけではなく、その他の隣接ノードにもこの依存度に応じた確率を用いて、経路要求パケットの作成・送信を行うことで、パケットの増加を抑制しつつ、より短い経路作成を実現する。次章でその詳細を説明する。

<sup>†</sup>埼玉大学, Saitama University  
<sup>‡</sup>NEC 情報システムズ

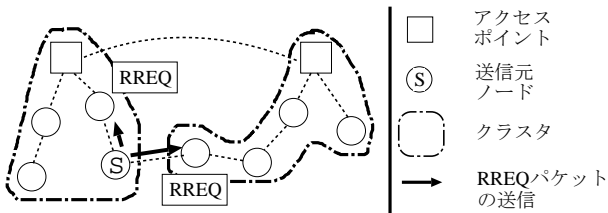


図 3: アクセスポイントを経由しないクラスタ間通信

## 4. 設計

### 4.1 提案手法の原理

3章で述べた通り、従来のCBRPを適用しただけでは、アクセスポイントに向かう隣接ノードのみがRREQパケットを受信することになり、結果的に冗長な経路が作成されてしまう場合がある。そこで、提案手法では、他のクラスタのノードとリンクをもつノードを利用してクラスタ間通信を行う。そのためには図3のように、送信元ノードから一番近いアクセスポイントに向かう隣接ノードだけでなく、その他の隣接ノード宛のRREQパケットの作成・送信を別途行う必要がある。

しかし、単純に上述の方法を導入しただけでは制御パケットの増加を招いてしまう。そこで、前述の依存度に応じた確率を用いてRREQパケットの送信の有無を決め、経路制御パケットの増加を抑制する。以下にRREQパケット作成の手順を示す。

1. 送信元ノードはまず、アクセスポイント宛のRREQパケットを作成・送信する。
2. 次に、送信元ノードの保持する情報を基に算出した自身のアクセスポイントからのホップ数  

$$\frac{\text{ネットワークにおけるクラスタ内の最大ホップ数}}{\text{他の隣接ノード宛のRREQパケットの作成・送信を行うか否かを決定する}}$$
3. 以降は従来のCBRPと同様に、RREPパケットから得られた経路レコードに従い、データの転送を行う。

上記の手順2に示した送信確率は、アクセスポイントへの依存度が高いノードほど小さくなり、依存度の低いノードほど大きくなる。これは以下の理由によるものである。

- 依存度が高いノードの場合  
アクセスポイントまでのホップ数が小さいので、従来法により作成される経路と、提案手法により作成される経路との間に、ホップ数の差が現れにくい。
- 依存度が低いノードの場合  
アクセスポイントまでのホップ数が大きいので、従来法により作成される経路と、提案手法により作成される経路との間に、ホップ数の差が現れやすい。

つまり、「RREQパケットを従来法よりも多く転送するに見合うだけの効果があるか」ということに基づいた設定である。

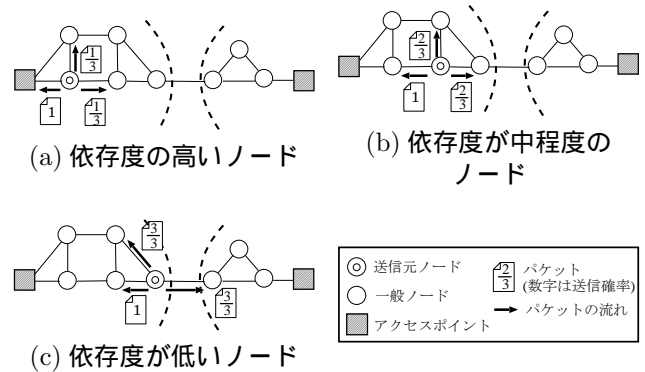


図 4: 通信要求の発生

アクセスポイントからクラスタ内の任意のノードまでの最大ホップ数が3ホップであるネットワークを例に、提案手法でのRREQパケットの作成の様子を図4に示す。図4(a)では、送信元ノードがアクセスポイントから1ホップの位置にあるので、アクセスポイント以外の隣接ノードに確率 $1/3$ で送信する。同様に図4(b)では、送信元ノードが2ホップの位置にあるので $2/3$ で送信、図4(c)では、3ホップの位置にあるので $3/3$ で送信する。

### 4.2 RREQパケットの受信

提案手法では既存のRREQパケットの情報に加えて、「送信元ノードが所属するアクセスポイントのアドレス」と「所属するアクセスポイントまでのホップ数」の2つの情報を追加する。RREQパケットを受信したノードは、パケット中のそれらの情報と自身のクラスタにおける位置関係をもとに、パケットの転送の有無を決める。具体例を図5に示す。ノードSが提案手法により、各隣接ノードにRREQパケットを送信する場合を考える。

- ノードAにおける処理(図5(a))  
ノードAはノードSよりもアクセスポイントに近い位置にあるので、従来の処理と同様にアクセスポイントに転送する。
- ノードBにおける処理(図5(b))  
ノードBはノードSとアクセスポイントからのホップ数が同じであり、送信元ノードと異なるアクセスポイントに所属している隣接ノードが存在しないので、パケットを破棄する。
- ノードCにおける処理(図5(c))  
ノードCはノードSよりアクセスポイントから遠い位置にあるノードであり、送信元ノードと同じクラスタに所属しておらず、かつ送信元ノードと異なるクラスタに所属する隣接ノードが存在しないので全ての隣接ノードにパケットを転送する。
- ノードDにおける処理(図5(d))  
ノードDはノードSの所属するクラスタに所属していないので、従来の処理と同様に、アクセスポイントにパケットを転送する。

転送されたRREQパケットが(送信元ノードが所属している、していないに関わらず)アクセスポイントに一

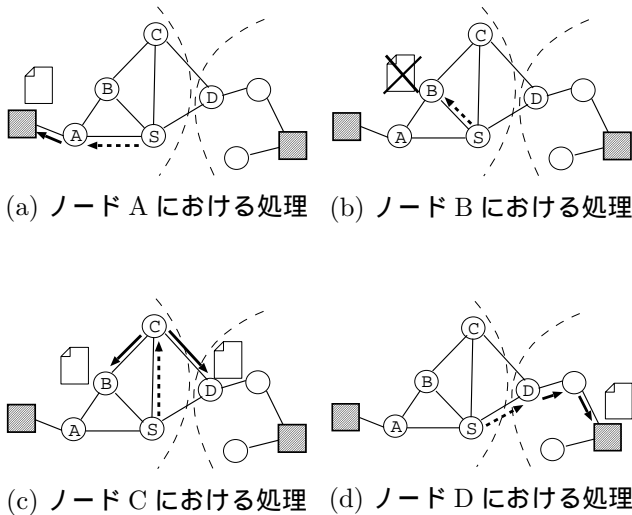


図 5: 受信ノードの位置による RREQ パケットの処理

度到達した場合、それ以降は従来の CBRP と同様に、他のアクセスポイントにパケットが転送され、経路探索が引き続き行われる。

提案手法を用いることで、図 5(d) のように送信元ノードが所属するアクセスポイントを経由せずに RREQ パケットの転送を行うことが可能となり、従来の経路制御で作成される経路より、短い経路を作成することができる。

### 5. 実験結果と考察

提案手法の有効性を確かめるために、プログラミング言語の一つである Java 言語を用いてシミュレータを作成し、実験を行った。今回はアドホックネットワークに置き換えて実験を行った。また、全てのノードについて、移動性は考慮しないこととした。実験では、フラッディングにより経路を作成する DSR[4]、従来手法である CBRP、提案手法の 3 つの経路制御手法について、作成された 1 経路あたりの平均ホップ数と転送された総パケット数を求めた (1 通信あたりのデータパケット数は 100、それ以外のパケット数は 1 と設定した)。ノード数 200 台、通信要求回数 1000 回でシミュレーションを行った。シミュレーションは、10 通りのランダムトポロジについて行い、各トポロジごとに評価項目を採取し、その平均を算出した。また、クラスタ内の最大ホップ数の違いにおける提案手法の効果を確認べく、クラスタ内の最大ホップ数が 3, 4, 5, 6 ホップの場合において、実験を行った。以下に実験の結果を示す。

図 6 は各経路制御手法における、1 通信あたりの平均ホップ数を示す。従来手法の CBRP ではクラスタヘッドに依存した経路制御となるので、最短経路を作成する

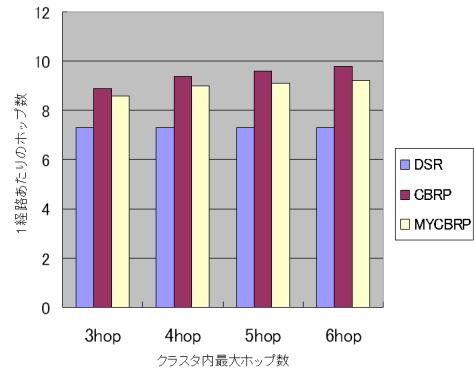


図 6: 1 通信経路あたりの平均ホップ数

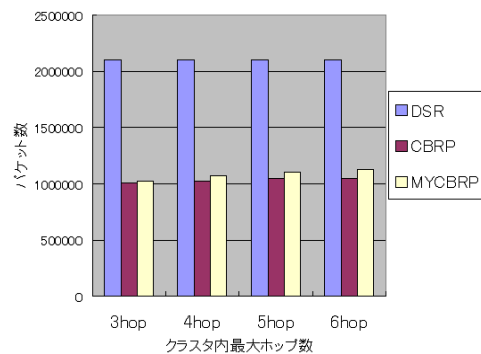


図 7: 総パケット数の平均

DSR よりもホップ数が増えてしまう。CBRP と提案手法とを比べると、提案手法による経路制御の方が CBRP よりも短い経路が作成されているのが分かる。これは、前述の通りクラスタヘッド (アクセスポイント) を経由しないクラスタ間通信が行われ、短い経路が作成されている結果である。また、クラスタ内の最大ホップ数が増加するにつれ、通信経路は短縮されているが、同時に CBRP での通信ホップ数も増えているので、クラスタ内の最大ホップ数による、提案手法の効果の違いはあまり見られなかった。

図 7 は各経路制御手法において、転送されたパケット数の平均を示す。提案手法では、CBRP に比べ、パケット数が増加している。これは、クラスタヘッド方向以外の隣接ノードにもパケットの送信・転送を行うことによるものである。しかし、フラッディングにより経路探索を行う DSR と比べると、パケット数は約半分となっており、CBRP と比べてもほぼ同数のパケットとなっている。また、クラスタ内の最大ホップ数の増加に伴って、提案手法のパケット数も増えているが、やはり CBRP とほぼ変わらないパケット数に抑えられている。

以上のことから、提案手法による経路制御は制御パケットの増加を抑えつつ、より短い経路の作成が行えていることが分かる。

## 6. まとめ

本研究では、WMNの経路制御において、冗長な経路が作成されてしまうという問題点に対し、傾斜型クラスタを用いた経路制御手法の提案、設計を行った。また、シミュレータを用いた実験により、経路制御パケットの増加を抑制しつつ、経路の短縮化が図れることを確認した。

今後の課題の一つとして、ノードの移動性への対応が挙げられる。アドホックネットワークにおける従来のCBRPでは、ノードの移動に伴って、新たにクラスタヘッドを決める必要や、クラスタを再構築する必要がある。一方、提案手法では、固定的であるアクセスポイントをクラスタヘッドとしているので、クラスタヘッドを新たに決めるといった過程は無く、アクセスポイントがクライアントノードの存在と、そのノードまでのホップ数を常に更新、管理するだけである。これらの理由により、ノードの移動性に対して、提案手法は比較的対応可能であると考えられるが、その点に関する検証の必要がある。その他の課題として、さらに経路の短縮化が可能となるRREQパケットの転送確率の設定や、パケットを受信したノードの、より効果的な転送方法の検討なども挙げられる。

## 参考文献

- [1] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, Weilin Wang, "Wireless mesh networks: a survey", Computer Networks Volume 47, Number 4, 2005, Pages 445-487
- [2] 清水 公一, アドホックネットワークにおける傾斜型クラスタによる経路制御, 埼玉大学卒業論文 (2007)
- [3] <http://www3.ietf.org/proceedings/99mar/I-D/draft-ietf-manet-cbrp-spec-00.txt>
- [4] David B. Johnson and David A. Maltz, Mobile Computing. Kluwer Academic Publishers, 1996.