

MANET における自律分散クラスタリングと P2P オーバレイネットワークを用いた経路構築手法

A Routing Protocol Based on Autonomous Clustering and P2P Overlay Network in MANETs

中原 翔馬† Shoma Nakahara 大田 知行† Tomoyuki Ohta 角田 良明† Yoshiaki Kakuda

1. はじめに

近年、携帯電話などの無線インフラストラクチャ通信(3G/LTE 等)と近接無線通信(Wi-Fi 等)を搭載したモバイル通信端末(以下、ノード)が普及している。このノード間で無線マルチホップ通信を用いて構築されるネットワークとして Mobile Ad hoc NETwork(以下、MANET)[1]が提案されている。しかし、ノード密度の低い環境下では MANET の接続性が低下し、多くのデータパケットが転送できない。

本稿では自律分散クラスタリング[2]と P2P オーバレイネットワーク[3]を用いた経路構築手法を提案する。提案法的前提条件として、全てのノードが無線インフラストラクチャ通信と近接無線通信の二つの通信機器を持ち、近接無線通信を用いて MANET を構築する。また、無線インフラストラクチャ通信を用いて P2P オーバレイネットワークを構築する。P2P オーバレイネットワークを用いて経路を構築する事で、ノード密度の低い環境においてデータパケットの到達率向上を目指す。

2. 自律分散クラスタリング

自律分散クラスタリングとはネットワークをクラスタと呼ばれるサブネットワークに分割して管理する手法である。クラスタはクラスタヘッド、クラスタメンバそしてゲートウェイによって構成される。クラスタヘッドはクラスタを管理するノードである。ゲートウェイは異なるクラスタと隣接しているノードである。クラスタメンバはクラスタヘッドとゲートウェイ以外のノードである。クラスタヘッドはクラスタを管理するために、MEP(MEMBER Packet)と呼ばれる制御パケットを用いる。MEP は定期的にクラスタ内にブロードキャストされ、クラスタメンバとゲートウェイは応答パケットとして MAP(Member Ack Packet)と呼ばれる制御パケットをクラスタヘッドに向けて転送する。クラスタヘッドはこの二つの制御パケットを送受信することでクラスタの管理を行う。

3. 提案法

3.1. 概要

本稿では、自律分散クラスタリングと P2P オーバレイネットワークを用いた経路構築手法を提案する。自律分散クラスタリングで選出されたクラスタヘッドが P2P オーバレイネットワークを構築する[4]。P2P オーバレイネットワークに参加するクラスタヘッドをスーパーピアと定義する。図 1 に P2P オーバレイネットワークの構築例を示す。MANET で物理的な隣接関係を持たないノード間でも、スーパーピアが P2P オーバレイネットワークで通信を行えるため、ネットワークの接続性が向上する。

3.2. 経路構築手法

提案法は、AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector)と同様に RREQ(Route REQuest)と RREP

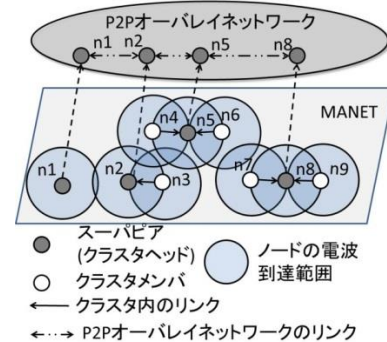


図 1 : P2P オーバレイネットワークの構築例

(Route REPlY)を用いて経路を構築する。経路構築要求が発生した際、送信元ノードは MANET で RREQ のフラッディングに加え、P2P オーバレイネットワークに RREQ のフラッディングを行う。P2P オーバレイネットワークへのフラッディングにより中継ノードが存在しない宛先ノードとの通信を実現する。P2P オーバレイネットワークは MANET で中継ノードが無い遠方のノードとの通信を目的として構築しているため、MANET で中継ノードが存在しない場合のみ使用する。この条件を満たすために、P2P オーバレイネットワークを経由した RREQ を受信したスーパーピアは一定時間待機する。待機中のスーパーピアが MANET を経由した RREQ を受信した場合、P2P オーバレイネットワークを経由した RREQ を廃棄し、MANET を経由した RREQ の転送を行う。待機中のスーパーピアが MANET を経由した RREQ を受信できなかった場合、一定時間経過後 P2P オーバレイネットワークを経由した RREQ を転送し、P2P オーバレイネットワークを経路の一部として使用する。

3.3. 経路修復手法

提案法では経路切断を検知した場合、経路の再構築を行う。また、提案法では MANET と P2P オーバレイネットワークの二つのネットワークを用いるため、それぞれで異なる処理を行う。

MANET ではデータリンク層で経路切断を検知する。データリンク層では送信したデータパケットに対して、送信先ノードから ACK 応答がある。送信元ノードが ACK を受信できない場合、データパケットの再送を行う。何度か再送をしたが ACK を受信できない場合、経路が切断されたと判断する。以下に MANET における経路切断時の経路再構築の手順を示す。

1. データリンク層から経路切断通知を受信
2. 経路切断通知を受信したノードはデータパケットをバッファに保存し、経路再構築のため RREQ をネットワーク内にフラッディング
3. RREQ を受信した宛先ノードは RREQ の送信元ノードに向け RREP をユニキャストで送信

†広島市立大学 Hiroshima City University

上記の手順で、MANET内の経路再構築を行う。

P2P オーバレイネットワークの経路切断は、自律分散クラスタリングによるクラスタヘッド変更処理の際に生じる。P2P オーバレイネットワークの経路はクラスタヘッド変更処理により、スーパーピアでは無くなるため切断される。以下に P2P オーバレイネットワークにおける経路再構築の手順を示す。

1. クラスタヘッド(スーパーピア)ではなくなったノードは前ホップのスーパーピアに自身が P2P オーバレイネットワークに参加しないことを通知
2. 通知を受信したスーパーピアは、経路を削除し RREQ をネットワーク内にフラッディング
3. RREQ を受信した宛先ノードは RREQ の送信元ノードに向け RREP をユニキャストで送信

上記の手順で P2P オーバレイネットワークの経路が切断した場合に、経路再構築を行う。

4. シミュレーション実験

4.1. 実験目的

提案法の性能を評価するため、シミュレータ QualNet version 5.0[5]上に実装しデータパケットの到達率を測定する。

4.2. 実験環境

実験環境を表1に示す。また、各ノードの平均隣接ノード数はノード数が 50, 100, 150 の順に約 1, 2, 3 である。

4.3. 実験方法

送受信ペアを三つ用意し、データパケットを 0.25 秒間隔でそれぞれ 1000 個送信する。比較手法として、ルーティングプロトコルに AODV と経路修復手法を適用していない提案法、経路修復手法を適用した提案法を使用する。シミュレーション実験をそれぞれ 20 回を行い、データパケットの到達率は 20 回の平均を示す。

4.4. 実験結果

シミュレーション実験によるデータパケット到達率を図2に示す。図2の縦軸はデータパケットの到達率[%]、横軸はノード数を示す。エラーバーは各平均値の 95%信頼区間を示す。また、各ノード数におけるグラフは左から順に AODV、提案法(経路修復手法なし)、提案法(経路修復手法あり)である。提案法のグラフにおいて、下段は提案法におけるデータパケットの到達率の内、MANET のみの経路を使用し到達したデータパケットの到達率を示す。また、上段は提案法におけるデータパケットの到達率の内、P2P オーバレイネットワークを用いた経路を使用し到達したデータパケットの到達率を示す。図2より、全ての場合において提案法は高いデータパケット到達率を示した。十分な中継ノードが存在しない環境では、経路構築が難しく AODV のデータパケット到達率は低下するが、提案法では P2P オーバレイネットワークで経路を構築するためデータパケット到達率が高くなった。また、提案法において経路修復手法を適用した場合と、適用しない場合を比較すると、適用した場合がより高い到達率を示した。ノード数が少ない場合、自律分散クラスタリングによってクラスタ同士の結合が頻繁に発生する。従って、クラスタヘッド(スーパーピア)の変更処理が頻繁に発生するため、P2P オーバレイネットワークにおいて経路切断が多発すると考えられる。このことから経路修復手法を適用させた場合の方が高い到達率を示した。

表1: 実験環境

ネットワークシミュレータ	QualNet ver.5.0
ノード数	50,100,150
シミュレーション時間[s]	600
送受信ペア数	3
送信データパケット数	1000
パケット送信間隔[s]	0.25
MACプロトコル	IEEE802.11b
フィールドサイズ[m ²]	3160×3160
ノード移動最高速度[m/s]	10
ノード移動最低速度[m/s]	5
電波到達範囲[m]	250
クラスタサイズ[最大,最小]	50,10

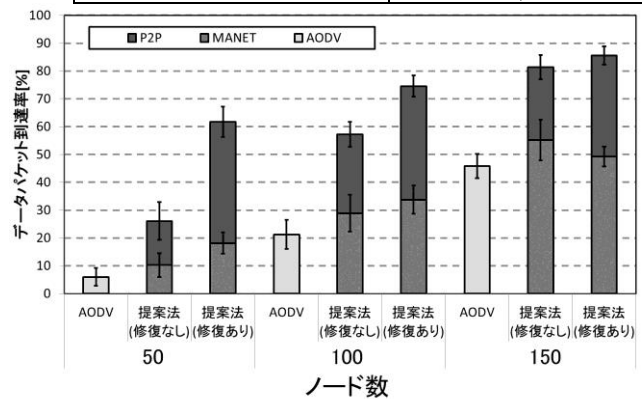


図2: データパケット到達率

5. まとめ

MANETにおける自律分散クラスタリングと P2P オーバレイネットワークを用いた経路構築手法を提案した。シミュレーション実験により、ノード密度が低い環境において高いデータパケットの到達率を示した。今後の課題として、無線インフラストラクチャ通信機能を持つノードと持たないノードが混在する環境での P2P オーバレイネットワークの構築等が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費(24700073, 24300028)及び、広島市立大学特定研究費の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1]Chai-Keong Toh, "Ad hoc mobile wireless networks protocols and systems," Prentice Hall Inc., 2002.
- [2]T. Ohta, et al., "An adaptive multi-hop clustering scheme for highly mobile ad hoc networks," Proc. 6th IEEE Int'l Symp. on Autonomous Decentralized System (ISAD2003), pp.293-300, April 2003.
- [3]Shiao-Li Tsao and Chien-Ming Cheng, "Design and evaluation of a two-tier Peer to Peer traffic information system," IEEE Communications Magazine, pp.165-172, May 2011.
- [4]S. Nakahara, et al., "Experimental evaluation of MANET based on autonomous clustering and P2P overlay network," Proc. CANDAR'13, at the 6th ASON'13, pp.480-483, Dec 2013.
- [5]Scalable Network Technologies Inc., "Qualnet network simulator by scalable network technologies," <http://www.scalable-networks.com/>