

MANET における Cluster-by-Cluster ルーティング アルゴリズムの提案と実装・評価

鳴海寛之[†] 高橋 修^{††}

高移動・高通信頻度の大規模アドホックネットワークにおける従来のリアクティブ型プロトコルを用いた通信では、通信経路が長経路となった場合、中継ノードの移動による経路切断や経路構築要求メッセージのネットワーク全体へのフラッディングによる一時的な輻輳によりパケット到達率が低下することが分かっている。ノード移動への対応能力を向上させる一般的な手法としてクラスタリングが用いられるが、従来のアルゴリズムには長経路通信に経路切断が発生するという問題がある。そこで本研究では、長経路通信自体の発生を抑制するというアプローチのもと、クラスタリングおよび Cluster-by-Cluster のルーティングアルゴリズムを提案し、通信信頼性の向上を図る。さらに、本論文では提案方式を代表的なリアクティブ型プロトコルである DSR 上に実装し、計算機シミュレーションによりその有効性を実証評価する。その結果、ノードが高速移動する (10.0m/s) 場合にはパケット到達率が従来の DSR よりも約 52% 向上し、ルーティングオーバーヘッドは約 92% 減少した。また、大規模ネットワーク (250 ノード) の場合も、パケット到達率が約 22% の向上、ルーティングオーバーヘッドは約 95% 減少した。これらの結果から、本提案方式は従来よりも高い通信信頼性を有することを示す。

Proposal, Implementation and Evaluation of the Cluster-by-Cluster Routing Algorithm in MANET

HIROYUKI NARUMI[†] OSAMU TAKAHASHI^{††}

Existing reactive routing protocols in Mobile Ad-hoc Network (MANET) decrease the packet delivery ratio in the high mobility and traffic environments. This is because the temporary congestion occurs by the flooding of control packets for the route establishment and by the route break in the long route communication. Generally, clustering is effective method to improve the capacity to deal with the node mobility. However, existing algorithms have the problem of the long route communication. Consequently, in this paper, we propose clustering and Cluster-by-Cluster routing algorithms that rein the emergence of the long route communication. Furthermore, we implement our proposed method on DSR is known as representative reactive routing protocol and evaluate the effectiveness by the computer simulation. As a result, in the high mobility environment (10.0m/s node velocity, pose time 0.0s), the proposal method improves PDR (Packet Delivery Ratio) about 52% better than DSR and decreases the routing overhead about 92%. In addition, in the large-scale network (250 nodes), the proposal method improves PDR about 22% and decreases the routing overhead about 95%. By these results, we show our proposal provides the high communication reliability than ever before.

1. はじめに

近年、無線通信技術の発達と移動無先端末(ノード)の小型化・高性能化に伴い、モバイルアドホックネットワーク (MANET) に関する研究が活発に行われている。MANET では通信方式としてマルチホップ通信を採用しており、通信経路上に位置するノード (中継ノード) がデータを転送することによってエンド-エンド間の通信が行われる。MANET におけるルーティングプロトコルとして、DSR[1]に代表されるリアクティブ型プロトコルがある。本研究では、最初に基礎シミュレーション実験を通して、高移動頻度 (ポーズタイム 0 秒) のネットワーク環境ではリアクティブ型プロトコルの経路構築特性がデータ転送に悪影響を及ぼし、パケットドロップ率が上昇することを示す。

さらに本研究では、長経路通信を複数の短経路通信に分割するというアプローチによって、従来よりも高移動頻度のネットワークにおいて高い通信信頼性を提供する新たなルーティングアルゴリズムを提案する。さらに、提案方式を DSR 上に適用し、既存の DSR と比較評価を行うことにより、その有効性を示す。

2. 基礎実験

高移動頻度のネットワークにおける長経路通信の信頼性を評価するため、DSR による 2 点間 CBR (Constant Bit Rate) 通信のシミュレーションを ns-2[6]を用いて行い、各ホップ数におけるパケットドロップ率を評価した。シミュレーションパラメータは、ノードの移動速度を 2.0m/s (ポーズタイム 0.0 秒)、ネットワークサイズを 1000m×1000m で固定した。このネットワーク環境のもと、ノード数を 50~250 (刻み幅 50) と変化させ、各ノード数に対するパケットドロップ率を測定した。このシミュレーションによ

[†] 公立はこだて未来大学大学院
Graduate School of Future University Hakodate
^{††} 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

り、エンド-エンド間の通信が長経路である場合ほど、パケットドロップ率が増加するという結果が得られた(図1)。特に、250ノードの場合には4ホップ以上の長経路通信のドロップ率が約45%にも達することが分かった。このように、MANETではネットワーク規模が大きい程長経路通信時のパケットドロップ率が増加する傾向にある。これはルーティングプロトコルが経路構築を行う際、エンド-エンド間が長経路であるほど経路構築のための制御メッセージが広範囲にフラッディングされる可能性が高く、最悪の場合ネットワーク全体が輻輳状態となり、正常な通信ができなくなってしまうためと考えられる。また、高移動頻度の環境ではパケットを転送する際に中継ノードが移動することによって生じる経路切断がパケットドロップを誘発することも要因のひとつとして挙げられる。

このように、大規模MANETにおいて安定した通信を行うためには、経路構築メッセージのフラッディング範囲の抑制と、長経路通信の発生を抑制することが重要となる。

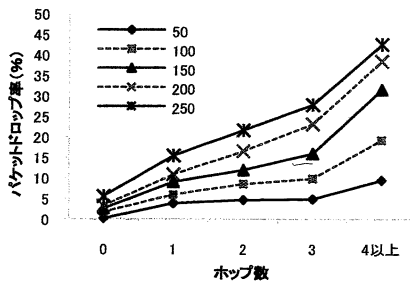


図1 ホップ数に対するパケットドロップ率 (ノード移動速度 2.0m/s)

3. 関連研究

ここでは、MANETにおける一般的なクラスタリングアルゴリズムについて触れ、長経路通信という視点からみた場合の課題を述べる。

3.1 MANETにおけるクラスタリング

高移動頻度のネットワーク環境下で高信頼の通信を提供するために、これまでに CBRP (Cluster Based Routing Protocol) をはじめとする様々なクラスタリングベースのルーティングプロトコルが提案されている[2, 3, 4]。これらのプロトコルで用いられる一般的なクラスタリングの概念図を図2に示す。MANETにおけるクラスタリングでは、物理的に近いノード同士がクラスタヘッド (CH: Cluster Head) を中心としてクラスタを形成する。CHは自クラスタに現在所属しているノードの情報を集中管理する。異なるクラスタ

の境界に位置するノードはクラスタゲートウェイ (CG: Cluster Gateway) として、クラスタを跨ぐ通信時の橋渡しとしての役割を担う。

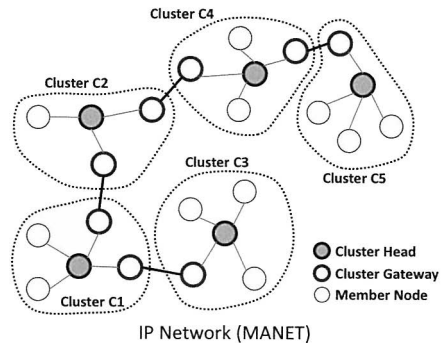


図2 MANETにおけるクラスタリング

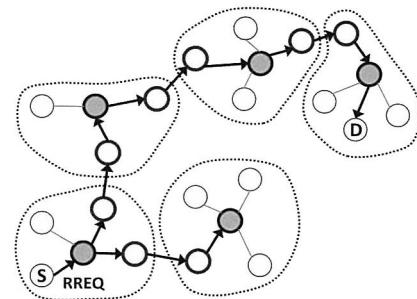


図3 クラスタリングベースにおける一般的な経路探索 (RREQの転送)

ネットワークを複数のクラスタに分割することにより、経路探索時に発生する制御メッセージを大幅に抑制することが可能となる。既存のアドホックルーティングプロトコルにおける経路探索では、経路構築のための制御メッセージ (RREQ/RREP) がネットワークの広範囲にフラッディングされてしまうが、クラスタを形成することによりネットワーク上の各CHにのみリクエスト (RREQ) を送信するだけでよい(図3)。これにより任意のノードに対する経路を素早く形成することができるため、クラスタリングベースのルーティングプロトコルは既存のアドホックルーティングプロトコルに比べてノード移動への対応能力が高いということが知られている。

しかし、比較的多くのクラスタが存在するような大規模ネットワークにおいては、長距離通信の際に複数のクラスタを跨いで通信を行わなければならない状況が発生する。こうした状況下では、上述したような従来のクラスタリングベースのルーティング方式では経路探索によって形成される経路は自ずと多くの中継ノ

ードを介す“長経路”となってしまふ。このような経路を利用してパケットを送信した場合は、2章で述べたようにパケットドロップ率が高くなるという問題が既存のリアクティブ型プロトコルと同様に発生する。中継ノードの移動による経路切断に対応するため、クラスタリングベースのルーティングプロトコルには既存のリアクティブ型プロトコルが備える経路修復や経路メンテナンスと同等の機能を備えている手法もあるが、長経路通信の発生自体を抑制するというアプローチはほとんど存在しない。

そこで本研究では、オーバーレイネットワークの概念を導入し、パケットを Cluster-by-Cluster で転送するというアプローチにより、長経路通信の発生自体を抑制し、大規模・高移動頻度のネットワークにおける通信信頼性の向上を図る。

4. 提案方式

本章では、まず 4.1 節で本提案方式の基本構成を示す。4.2 節以降は提案方式の詳細について述べ、最後に 4.6 節で提案方式の位置付けについて述べる。

4.1 提案方式の基本構成

本提案方式はオーバーレイネットワーク上にクラスタを形成し、任意の宛先ノードが所属するクラスタまで Cluster-by-Cluster でパケットを送信する (図 4)。このとき、クラスタ間の境界に位置している“一時的な”境界ノード (Boundary Node) を宛先としてそれぞれ指定することにより、長距離通信であったとしても、クラスタ間の転送毎に通信が区切られるため、長経路通信の発生を抑制することが可能となる。図 5 の例では、従来のルーティングプロトコルでは 7 ホップ必要とする通信 (図 5b) が、提案方式では 0, 0, 0, 1, 1 ホップの 5 つの通信の組み合わせによって構成される (図 5a) ことを表している。

このような通信の分割を実現するため、本提案方式は次の 4 つのコアアルゴリズムによって構成される。

- 1) 基本クラスタリングアルゴリズム (RLM 修正)
- 2) クラスタ間の隣接情報収集アルゴリズム
- 3) Cluster-by-Cluster ルーティングのためのクラスタ経路決定アルゴリズム
- 4) Cluster-by-Cluster ルーティングアルゴリズム

次節以降でそれぞれのアルゴリズムの詳細を述べる。

4.2 基本クラスタリングアルゴリズム

RLM (Random Landmarking) [5]は、MANET における動的クラスタリングの代表的手法のひとつである。本提案方式では RLM のノード ID 公開/取得処理を本提案方式用に修正したものを、クラスタリングの

ベースアルゴリズムとして適用する。

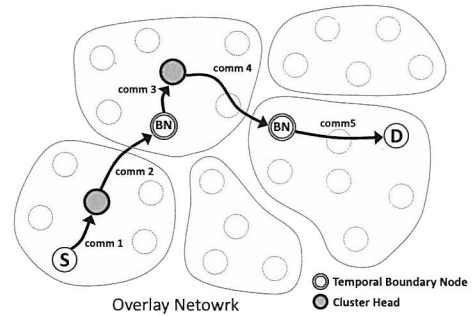
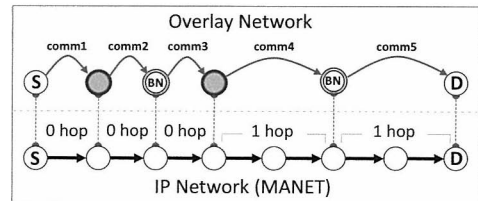
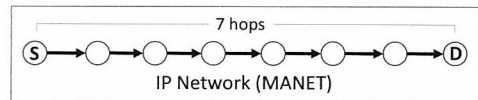


図4 Cluster-by-Cluster ルーティング (提案方式)



a) オーバレイルーティングによる通信分割 (提案方式)



b) 従来のルーティング

図5 従来のルーティングと提案方式のルーティング

RLM では各ノードに対し、ノードアドレス (IP アドレス, MAC アドレスなど) のハッシュ値をノード ID として割り当て、MANET 上にオーバーレイネットワークを構築する。オーバーレイネットワークは複数のクラスタに分割され、各クラスタにはクラスタ ID と呼ばれる固有の識別子が割り当てられる (例: クラスタ数が 16 の場合, 0xC0, 0xC1, 0xC2, ..., 0xCE, 0xCF)。各クラスタの CH は定期的に自クラスタ ID を含んだビーコンメッセージをクラスタ内にブロードキャストする。同一クラスタに属する全てのノードが自身のノード ID の先頭プレフィックスを所属するクラスタのクラスタ ID で統一することで、物理的に近いノード同士をオーバーレイネットワーク (論理空間) 上でも互いに近い位置に配置させることが可能となる (図 6)。

(1) ノード ID の公開 (RLM 修正)

ノードが別のクラスタに移動すると、オーバーレイネットワーク上のノード位置を表すノード ID の更新を行う必要がある (図 6)。この処理は、ノード ID の先頭プレフィックスを新たに参加するクラスタのクラスタ ID に更新するだけでよい。RLM によるクラスタリ

ングでは、ノードがクラスタを跨いで移動する度にノード ID が更新されるため、任意のノードに対してメッセージを送信するためには、宛先ノードの“現在の”ノード ID を知る必要がある。このため RLM では、ノード ID を更新した際には ID をオーバーレイネットワーク上に公開する処理を実行する。RLM に修正を加えた本提案方式におけるノード ID の公開手順を図 7a に示す。

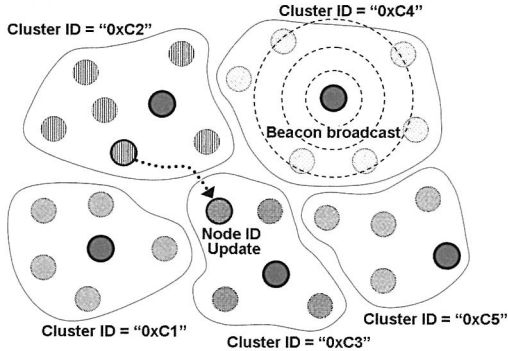


図 6 RLM による動的クラスタリング

(2) ノード ID の取得 (RLM 修正)

本提案方式において任意のノードの現在のノード ID を取得するためには、図 7b に示す手順に従う。

4.3 隣接クラスタ情報収集アルゴリズム

効率的な通信分割を行うため、本提案方式では CH がクラスタ内にブロードキャストするビーコンメッセージを利用して各クラスタの隣接情報を収集する。本提案方式における CH のビーコン送信アルゴリズムを図 8a に示す。CH は自身のクラスタ ID をセットしたビーコンを RREQ (Route Request) メッセージにピギーバックしてブロードキャストする。ビーコンを受信したノードは、自身がクラスタ間の境界にいる場合、境界ノード (Boundary Node) としてビーコン送信元 CH に対して“Neighbor Feedback”メッセージを送信する。ビーコン受信処理および Neighbor Feedback 送信・受信処理の流れをそれぞれ図 9a, 図 9b, 図 9b に示す。Neighbor Feedback メッセージは RREP (Route Reply) メッセージにピギーバックして送信することにより、送信元 CH と境界ノードとの間に一時的な双方向の経路が構築される。本提案方式ではこの経路を有効利用することで経路探索の発生を抑制し、制御メッセージを削減する。

例えば、ノード A がクラスタ C2 に属していた場合、A が C1 の CH に返信する Neighbor Feedback には、これまでローカルに保存していた隣接クラスタ情報に加え、“C2 は C1 に隣接している”という旨を隣接クラ

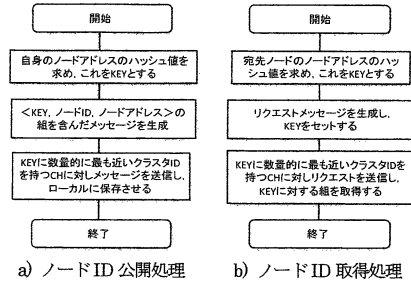


図 7 提案方式におけるノード ID 公開・取得処理

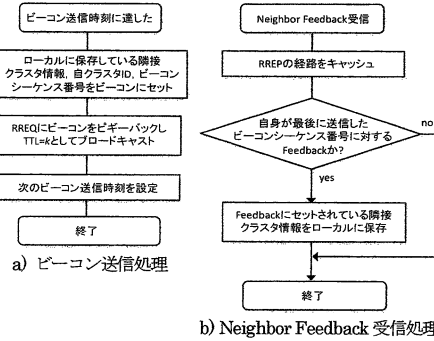


図 8 ビーコン送信処理と Neighbor Feedback 受信処理

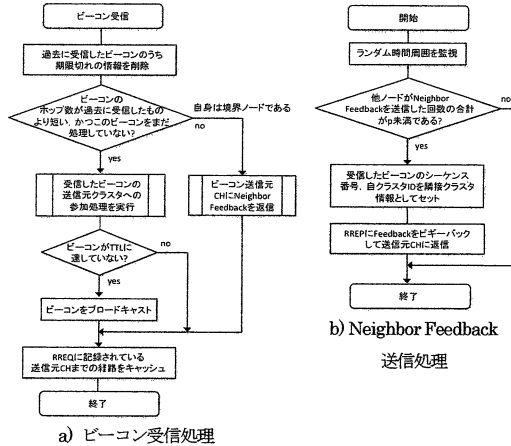


図 9 ビーコン受信処理と Neighbor Feedback 送信処理

スタ情報としてセットする。この Feedback によって、各クラスタの CH は自クラスタに隣接するクラスタの情報を収集することができる (図 10)。そして、クラスタ C1 の CH が次回ビーコンをクラスタ内にブロードキャストする際は、ビーコンに“C1 に隣接するクラスタは C2”であるという情報を追加し、さらにこれまで収集した最新の隣接クラスタ情報をセットして送信する。この処理を各 CH が行う事により、最終的にネットワークに参加している全ノードが全てのクラスタ

の隣接クラスタ情報を知ることができる (図 11),

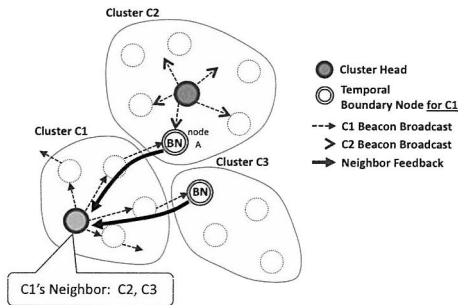


図 10 Neighbor Feedback による隣接クラスタ情報の収集 (1)

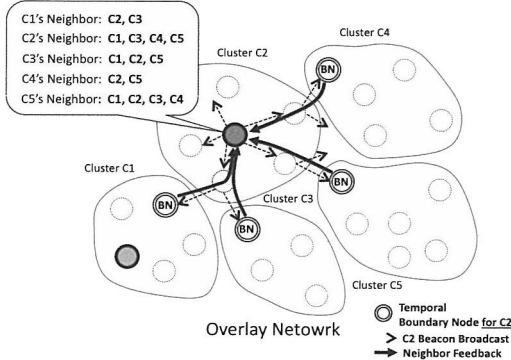
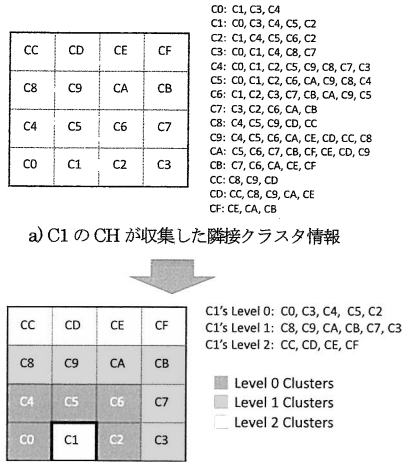


図 11 Neighbor Feedback による隣接クラスタ情報の収集 (2)

4.4 経路決定アルゴリズム

Neighbor Feedback によって収集した各クラスタの隣接クラスタ情報を元に、各ノードは自立的に任意の宛先ノードまでのオーバーレイネットワーク上の経路を決定する。まず、各ノードは自身が保持している各クラスタの隣接クラスタ情報を元に、自クラスタからの相対的な距離に応じてクラスタ情報を整理する。本稿では、自クラスタに隣接しているクラスタを“Level 0”、Level 0 のクラスタに隣接しているクラスタを“Level 1”と呼ぶこととする。図 12 は隣接クラスタ情報を Level ごとに整理した例を表している。クラスタが 16 あり、クラスタ C1 に属しているノード S が図 12 a のような隣接クラスタ情報を持っていたとすると、図 12b のように Level ごとに整理することができる。

このように抽出した Level 情報と、元の隣接クラスタ情報を組み合わせることにより、任意の宛先ノードに対してデータパケットを送信する際に経由するクラスタ経路が決定される。経路決定アルゴリズムを図 13 に示す。図 12 において、クラスタ C1 に属するノ



a) C1 の CH が収集した隣接クラスタ情報

b) C1 の各ノードが自立的に生成する Level 情報

図 12 隣接クラスタ情報からの Level 抽出

ード S がクラスタ CF に属するノードに対してパケットを送信する場合を考える。CF は Level 2 に属している。そこで、Level 1 のクラスタの中から、CF を隣接クラスタ情報として保持しているクラスタを抽出する。この例では CA, CB が該当するため、何らかのメトリック (隣接クラスタ情報がより新鮮なもの、など) によって 1 つに絞る。ここでは CE を選択したとする。次に、Level 0 のクラスタの中から、CA を隣接クラスタ情報として保持しているクラスタを抽出する。ここでは C5 と C6 が該当し、C6 を選択したとする。この時点で経路決定アルゴリズムは終了し、最終的に [C1 ⇒ C6 ⇒ CA ⇒ CF] という経路が構築される。図 4, 5 で説明したように、このオーバーレイネットワーク上の経路をもとに、各クラスタの CH および境界ノード毎に経路を構築することによって、長距離通信の場合でも 1 通信単位の経路を短くすることが可能となる。

4.5 Cluster-by-Cluster ルーティングアルゴリズム

経路決定アルゴリズムによって宛先ノードが現在所属しているクラスタまでの経路を構築すると、Cluster-by-Cluster のパケット転送が可能となる。Cluster-by-Cluster ルーティングアルゴリズムを図 14 に示す。あるノードが特定の宛先ノードに対してクラスタを跨いでデータパケットを送信する際は、ビーコン受信時にキャッシュした経路を用いて自クラスタの CH までパケットを転送する。CH は次クラスタの境界ノードに対してデータパケットを転送する。宛先ノードが所属するクラスタに到達するまで、CH と境界ノード間で転送が繰り返される。最終的に、宛先ノードのクラスタの境界ノードが実際の宛先ノードに

パケットを転送し、ルーティングが終了する(図4, 5).

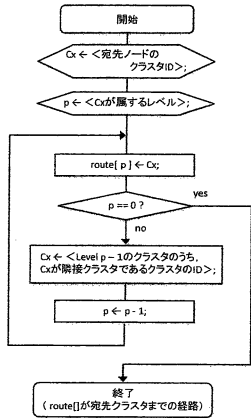


図13 経路決定アルゴリズム

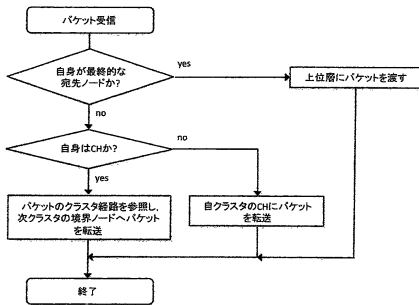


図14 Cluster-by-Cluster ルーティングアルゴリズム

4.6 提案方式の位置付け

TCP/IP 参照モデルにおける本提案方式の位置付けを図15に示す。本提案方式はインターネット層に位置し、アドホックルーティングプロトコルの上位で動作する。また、本提案方式はNeighbor Feedbackの送信管理のためにプロミスキヤストモードの利用を前提とするなど多少の制約が存在するが、基本的に下位のアドホックルーティングプロトコルには任意のプロトコルを選択することが可能である。

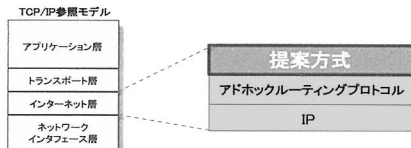


図15 提案方式の位置付け

5. 実装と評価

5.1 シミュレーション条件

今回、提案方式をDSRの上位に実装し、既存のDSRとの性能比較をns-2により行った。シミュレーションパラメータを表1に示す。DSRのFlow State拡張は

表1 シミュレーションパラメータ一覧

ネットワークパラメータ	
ノード密度	100nodes/km ² で固定
ノード数	50-250 (刻み幅50)
シミュレート時間	1200秒 (うち通信時間1050秒)
ノード移動速度 V_{const}	1.4, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 (m/s)
移動モデル	Random Waypoint
ポーズタイム	0.0秒
無線伝達半径	250m
帯域幅	2Mbps
DSRの主なオプションパラメータ	
dsragent_salvage_with_cache	true
dsragent_use_tap	true
dsragent_ring_zero_search	true
Dsragent_enable_flowstate	false
提案方式の主なオプションパラメータ	
クラスター数	9
ビーコン送信間隔 (非定常状態)	2秒
ビーコン送信間隔 (定常状態)	30秒 (1.4-7.5m/s) 20秒 (10.0m/s)
ビーコンTTL (k)	1
Neighbor Feedback 最大返信数 (p)	3

RFC4728においてオプション機能として定義されているが、本稿では使用しない。ノード密度は100 nodes/km²で固定し、ノード数を50から250まで変化させる。各ノードはランダムな目的座標に一定の移動速度 V_{const} でランダム時間直進し、また新たな目的座標を新たに選択し移動する、という動作を繰り返す。このとき、ポーズタイムは0.0秒としているため、各ノードは停止すること無く絶えず移動し続ける。つまり、本実験において構築されるネットワークは高移動頻度のネットワークであるといえる。ただし、全ノードのうち9ノードのみ格子状に固定配置する。提案方式ではこのノードをCHとして動作させる。

以上のシミュレーション条件のもと、秒間2ノードがそれぞれランダムに選択した宛先ノードに対してUDP データパケットを同時に送信する。この通信を1200秒間発生させ、そのうち開始50秒間および終了前100秒間を除いた1050秒間のシミュレーションデータを次に示す評価メトリックの算出に用いた。

5.2 評価メトリック

シミュレーションデータから算出する主な評価メトリックを以下のように定める。

(1) パケット到達率 (%)

各送信元ノードが送信したデータパケットの総数に対する、実際に各宛先ノードまで到達したデータパケットの総数の割合である。

$$Packet\ Delivery\ Ratio\ (\%) = \frac{\#\ of\ Packets\ Received}{\#\ of\ Packets\ Sent} \times 100$$

により算出される。

(2) ルーティングオーバーヘッド

シミュレーション時間中に、ルーティングプロトコ

ルの動作によって発生した経路構築等の制御メッセージの総数である。提案方式の場合、ノード ID 公開・取得処理やビーコン送信処理等によって生じる全ての制御メッセージをオーバーヘッドとして計算する。

$$\text{Routing Overhead} = (\# \text{ of Control Packets Sent}) + (\# \text{ of Control Packets Forwarded})$$

により算出される。

(3) 平均ホップ数

データパケットの送信に使用された経路のホップ数の平均値である。提案方式の場合、Cluster-by-Cluster で転送される全てのパケットを測定対象とする。

5.3 性能評価と考察

(1) ノード移動への対応能力

100 ノードの場合のノード移動速度に対するパケット到達率を図 16 に示す。提案方式はノードが高速に移動する環境下でも高いパケット到達率を維持しているに対し、DSR は移動速度が高速になるにつれて急激にパケット到達率が低下することが分かる。結果として、10.0m/s の場合に提案方式は既存の DSR と比べて最大約 52% のパケット到達率の向上がみられた。また、図 17 に示すように、提案方式のルーティングオーバーヘッドは既存の DSR と比べて最大約 92% 減少した。

ノード移動速度が高速になるにつれて DSR のパケット到達率が急激に低下する要因として、以下の 2 点が考えられる。

i) 長経路初期構築・再構築のための経路探索による輻輳の発生

ii) 長経路通信時の中継ノード移動によるドロップ

今回のシミュレーションでは、1 秒毎にランダムな 2 組の通信が発生する。このとき、ある通信が長経路通信となり、その経路構築に何らかの理由（局所的な輻輳等）で失敗した場合、DSR は再度経路構築を実行する。このように長経路構築のための制御メッセージがフラッディングされている最中に、他のノード間で新たな長経路通信が発生し、同様に制御メッセージをフラッディングした場合、ネットワーク全体が輻輳状態に陥り易くなる。一度このような状態が発生してしまうと、玉突き衝突のように延々と輻輳状態が続き、その間送信しようとしたほとんどのパケットが有効な経路を構築できなかった（タイムアウトした）として、パケットをドロップしてしまう。特に、ノードが高速に移動する場合ほど、経路は構築しにくくなるため、経路探索の再実行の回数が増加してしまい、結果として輻輳状態が長く続いたため、より多くのパケット

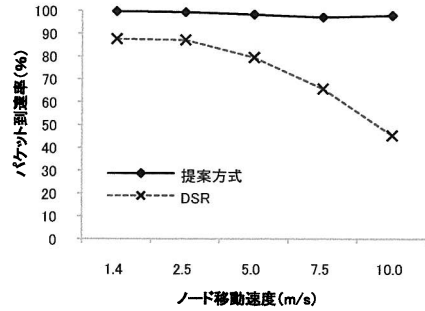


図 16 ノード移動速度に対するパケット到達率

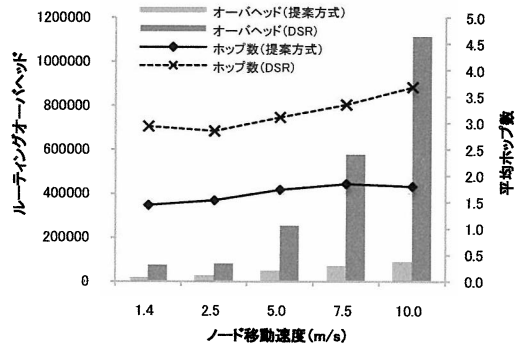


図 17 ノード移動速度に対するルーティングオーバーヘッドおよび平均ホップ数 (100 ノード)

をドロップするという悪循環に陥ってしまう。このように、高通信頻度のネットワークにおいては、長経路の構築処理がネットワーク全体の通信信頼性を低下させる大きな脅威となる。この仮定を支持するデータとして、ノード移動速度に対するルーティングオーバーヘッドおよび平均ホップ数を図 17 に示す。移動速度が高速になるにつれて、DSR の制御メッセージが大幅に増加することが分かる。これは、平均ホップ数が示すように、長経路通信の増加に伴い経路構築のための制御メッセージのフラッディングが行われることで輻輳が発生し、結果として大量の制御メッセージがネットワーク上に氾濫してしまったと考えられる。制御メッセージの増加量から、DSR ではノード移動速度が 5.0m/s 以上になると輻輳が発生しやすくなっていると考えられる。

これに対し、本提案方式はビーコン送信および Neighbor Feedback 返信の仕組みによってあらかじめ有効な短経路を構築するため、平均ホップ数が常に DSR の約半分の値を維持している。つまり、提案方式では新規の経路探索処理がほとんど実行されないため、DSR と比べてルーティングオーバーヘッドを最大で約 92% 削減したという結果につながったと考えられる。

以上の結果から、本提案方式はノード移動に対して高い対応能力を有していると言える。

(2) ネットワーク規模への対応能力

ノード移動速度が 1.4m/s の場合の、ノード数に対するパケット到達率を図 18 に示す。ノード数が増加、つまりネットワーク規模が大きくなるにつれて DSR の到達率が徐々に低下するのに対し、提案方式は 250 ノードの場合でも 90% を超える到達率を維持している。結果として、既存の DSR よりも最大約 22% の向上がみられた (250 ノード)。さらに、ノード数に対するルーティングオーバーヘッドおよび平均ホップ数を図 19 に示す。グラフが示すように、提案方式のオーバーヘッドは DSR と比べて最大約 95% 減少した (250 ノード)。また、図 17 および図 19 の比較により、データパケットの転送に使用される経路の平均ホップ数はノード移動速度よりもネットワーク規模(ノード数)からの影響を受けやすいということが分かった。

ノード数の増加に伴い DSR のパケット到達率が徐々に低下する要因は基本的に本節(1)で述べたものと同様であると考えられる。ノード数が少ない場合は中継ノードの移動による転送失敗がドロップパケットの多くを占めるが、200 ノードを超えるような大規模ネットワークでは経路構築のための制御メッセージの転送に関わるノード数が非常に多くなり、これによって輻輳が発生し多数のパケットがドロップされると考えられる。図 19 から、200 ノード以上の規模でパケット到達率の低下が始まっているため、輻輳が発生しているものと考えられる。そして 250 ノードではその状態が長時間続いたため、200 ノードよりも制御メッセージが爆発的に増加したのと考えられる。

これに対し、提案方式は長経路通信の発生を抑制することで、制御メッセージの発生を大幅に削減している。これによってネットワークリソースを無駄に占有することが無く、ノード数が増加しても安定した通信を実現することができている。これらの結果から、本提案方式は大規模ネットワークにおいても高い通信信頼性を有すると言える。

6. おわりに

本稿では、高移動・高通信頻度の大規模 MANET において、オーバーレイネットワーク上でクラスタリングを行うことによって長経路通信の発生を抑制するというアプローチのもと、クラスタリングアルゴリズムおよび Cluster-by-Cluster ルーティングアルゴリズムを提案した。また、計算機シミュレーションによって提案方式を既存の DSR と比較し、その有効性を評価し

た。今後は CH が移動する状況を想定したアルゴリズムを提案し、他のリアクティブ型プロトコル上で動作させるなど、様々なネットワーク環境下でのシミュレーションを行い、より詳細に提案方式の有効性を評価したい。

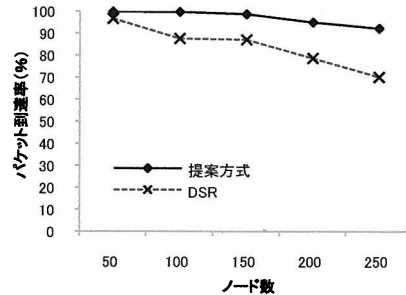


図 18 ノード数に対するパケット到達率

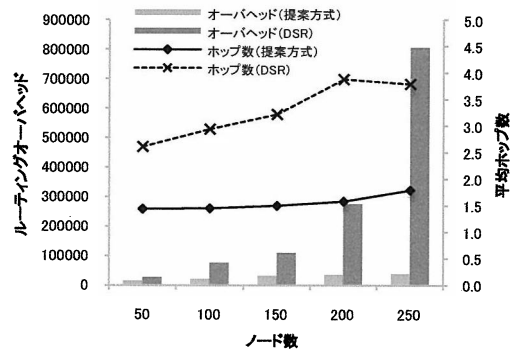


図 19 ノード数に対するルーティングオーバーヘッドおよび平均ホップ数 (移動速度 1.4m/s)

7. 参考文献

- [1] DSR (Dynamic Source Routing) : RFC4728
<http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>
- [2] J.Y.Yu and P.H.J.Chong, "Asurvey of clustering schemes for mobile ad hoc networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol.7, no.1, pp.32-48, 2005.
- [3] M. Jiang, J. Li, and Y.C. Tay, "Cluster based routing protocol (CBRP)," functional specification, IETF Internet Draft, MANET working group, *draft-ietf-manet-cbrp-spec-01.txt*, Aug. 1999.
- [4] Keun-Ho Lee and Chong-Sun Hwang, "Hierarchical Configuration Scheme for Scalable Ad Hoc Networks," In Proc. of ICCSA, LNCS 3981, pp.816-826, 2006.
- [5] R.Winter, T.Zahn, and J.Schiler "Random Landmarking in Mobile, Topology-Aware Peer-to-Peer Networks," In Proc. of FTDCS, May 2004.
- [6] The Network Simulator version 2 (ns-2), <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>