

修士論文

MANET における
速度ベクトルを用いた
ルーティングプロトコル

平成 30 年度修了

三重大学大学院 工学研究科
博士前期課程 情報工学専攻

前田 淳葵

目次

はじめに	1
第1章 MANET について	2
1.1 MANET	4
1.1.1 Proactive 型	5
1.1.2 Reactive 型	6
1.1.3 Hybrid 型	6
1.2 AODV プロトコル	7
第2章 関連研究	10
2.1 FORP	10
2.2 PVAR	11
2.3 松下らの手法	11
2.3.1 評価値	11
2.3.2 経路構築	12
第3章 提案手法	14
3.1 評価値	14
3.2 経路構築	15
第4章 シミュレーション実験	17
4.1 実験条件	17
4.1.1 評価項目	18
4.1.2 比較する手法	18
4.2 実験結果	19
4.3 考察	24
おわりに	25

謝辞	26
----	----

参考文献	27
------	----

はじめに

近年，コンピュータの小型化・高性能化に伴い，スマートフォンやタブレットなどの無線通信機能が搭載されたコンピュータデバイスが社会に広く普及している．自動車においても無線通信機能が搭載されるようになり，これらを用いた無線ネットワークがより注目を集めている．また，GPSなどの位置情報取得技術の発展により，無線ネットワークにおいても位置情報や移動情報が利用されることが期待されている．

無線ネットワークには，基地局を中継して通信を行うインフラストラクチャモードと端末同士が直接通信を行うアドホックモードがある．インフラストラクチャモードは携帯電話などで一般に広く利用されている．しかし，各端末が自律的に通信を行う事は不可能であり，基地局によって各端末の通信制御を行う必要があるため，基地局が利用できなくなったときに通信ができなくなるという欠点がある．一方，アドホックモードは，基地局を必要としないため，ネットワークの柔軟性やコスト面に優れており，災害地やイベント会場，車車間通信などの基地局が利用しにくい環境でも利用することができる．しかし，各端末がインフラストラクチャモードで基地局が行っていたルーティング（経路制御）を行わなければならない．

アドホックモードで通信を行い，移動する無線端末によって自律的に構成するネットワークはMANET(Mobile Ad-hoc Network) と呼ばれる．MANET では様々なルーティングプロトコルがこれまでに開発されている．MANET のルーティングプロトコルの1つにAODVがある，AODVでは通信要求があった際に，制御パケットをネットワーク全体に伝播することでルーティングを行う．送信元はRREQ(Route Request) と呼ばれる制御パケットをブロードキャストし，宛先以外の端末が受信した場合は再度転送し，宛先が受信した場合は送信元へRREP(Route Reply) と呼ばれる制御パケットを返信することで通信経路を構築する．この手法は端末の移動によるネットワークトポロジーの動的な変化により，頻繁にリンク切断が生じる問題がある．

そこで，リンク切断回数を低減する手法が研究されている．この手法では端末が自身の位置情報と移動情報を付加して，RREQ パケットを送信する．また，最初に届いた RREQ パケットによって経路を構築するのではなく，複数の RREQ パケットを評価値によって選択する．これにより，端末の移動を考慮した経路を構築することが可能になる．

本研究では，上記のリンク切断回数を低減する手法において RREQ パケットの評価値を変更することで，リンク切断回数の更なる低減と経路のホップ数削減を図る．

以下，第1章ではMANETについて説明し，第2章では関連研究を紹介する．第3章では提案手法について述べ，第4章で提案手法を評価するためのシミュレーション実験とその評価を行う．

第 1 章

MANET について

近年，コンピュータの小型化・高性能化に伴って，スマートフォンなどの無線端末が幅広く普及し，ユビキタス社会の実現に向け無線ネットワークへの期待が高まっている．無線ネットワークには，基地局を中継して通信を行うインフラストラクチャモード（図 1）と，基地局を必要とせず端末同士が直接通信を行うアドホックモード（図 2）がある．

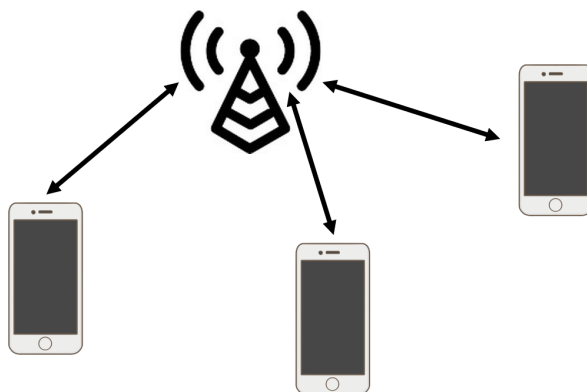


図 1 インフラストラクチャモード

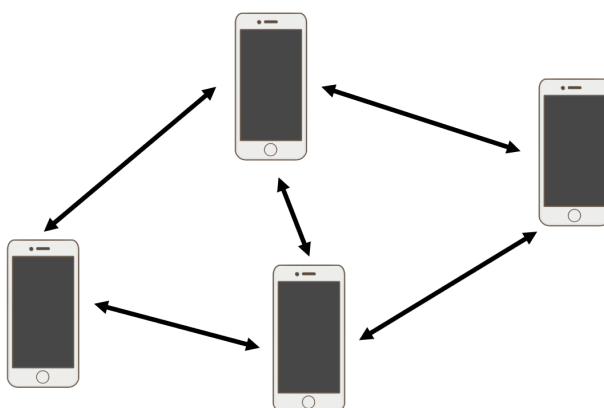


図 2 アドホックモード

インフラストラクチャモードは基地局がルーティングを行うのに対し、アドホックモードでは各端末がルーティングを行う。インフラストラクチャモードは、各端末が自律的に通信を行う事は不可能であり、基地局によって各端末の通信制御を行う必要があるため、基地局が利用できなくなったときに通信ができなくなるという欠点がある。一方、アドホックモードは、基地局を必要としないため、ネットワークの柔軟性やコスト面に優れており、基地局が利用しにくい環境でも利用することができる。各端末がインフラストラクチャモードで基地局が行っていたルーティング（経路制御）を行わなければならないため、アドホックモード専用のルーティングプロトコルが必要となる。

アドホックモードでは通信を行う際に各端末間でルーティングを行う必要がある。その際の最も基本的なルーティング方法は、制御パケットをネットワーク全体に伝播させることができるフラッディング（図 3）である。フラッディングでは通信を要求する端末（送信元）が RREQ(Route Request) と呼ばれる制御パケットをブロードキャストする。RREQ を受信した端末が自身が宛先である場合に RREP(Route Reply) と呼ばれる制御パケットを送信元にユニキャストする。また宛先でない場合には RREQ をブロードキャストによって転送する。

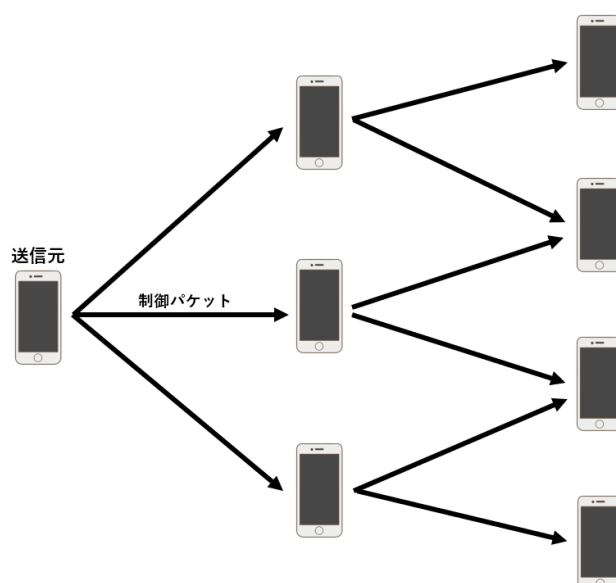


図 3 フラッディング

本章では、無線ネットワークの1つである MANET について述べる。また、MANET におけるルーティングプロトコルについて、いくつか簡単に説明する。最後に、本研究に関連の深い AODV について詳しく説明する。

1.1 MANET

MANET(Mobile Ad-hoc Network) は移動可能な端末によってアドホックモードで自律的に構築されるネットワークである。MANET は無線マルチホップネットワークであることから、マルチホップ通信(図4)を行うことができ、直接通信できない端末にも他の端末を中継することで通信することが可能である。このマルチホップ通信を行うために、MANET では各端末が自身でルーティングを行う。このことから、インフラストラクチャモードとは異なったルーティングプロトコルが必要となる。

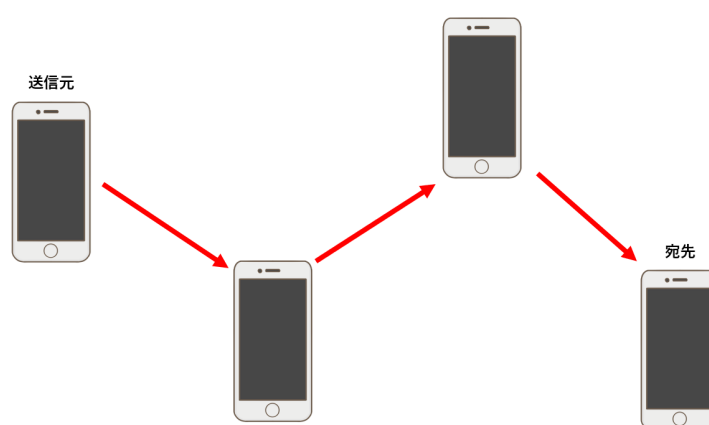


図4 マルチホップ通信

MANET におけるルーティングプロトコルは、Proactive 型、Reactive 型、Hybrid 型に分類できる。以下では、それぞれの分類の説明と、その分類に属する代表的なルーティングプロトコルについて説明する。

1.1.1 Proactive 型

Proactive 型のルーティングプロトコルは、インターネットのルーティングプロトコルをベースとして MANET への最適化を行うという観点から開発されたプロトコルである。端末間で定期的に制御パケットを交換することで、各端末は他の端末への経路情報を常時保持する。このため、通信要求の発生時に、経路を構築するための遅延が生じないといった長所がある。一方で、通信要求が発生しない場合でも常に経路を保持するために、定期的に制御パケットの交換を行うため、消費電力の浪費といったネットワークへの通信負荷が大きい。

Proactive 型のプロトコルの代表例として、OLSR(Optimized Link State Routing)[1] , DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)[2] , TBRPF(Topology Dissemination Based on Reverse Path Forwarding)[3] がある。ここでは、OLSR について簡単に説明する。

OLSR の経路制御の原理は有線ネットワークにおける OSPF などのリンク状態型ルーティングと同様である。OLSR の経路制御の動作では、まず、Hello パケットを用いることで各端末は通信可能な周囲の端末の情報を収集する。次に、収集した隣接ノードの情報をフラッディングを用いてネットワーク全体にブロードキャストする。その結果、ネットワーク上の各端末が他の全端末の隣接ノード集合を取得し、ネットワークトポロジを把握できる。最後に、Dijkstra のアルゴリズムなどにより、最短経路を計算し、経路表を構築する。フラッディングという操作を行うことで経路表を作成し、ルーティングを行う。ここで、フラッディングを用いる場合、いくつかの端末は制御パケットを重複して受信する可能性がある。特に、OLSR は常に経路情報を保持しようと定期的にフラッディングを行うため、重複受信の可能性が高い。そこで、OLSR では上記の経路制御の動作に加えて、フラッディングの効率化を行い、重複受信による制御パケットの負荷を低減する MPR(Multi-Point Relay) と呼ばれる端末を選択する (図 6)。隣接ノード集合の情報を利用して、必要最低限の転送を行うべき端末を MPR 集合として求める。フラッディングでは図 5 のように、端末が制御パケットを重複して受信しているが、図 6 の MPR のように制御パケットを転送する端末を限定することで、ネットワーク内で制御パケットが転送される回数を低減している。

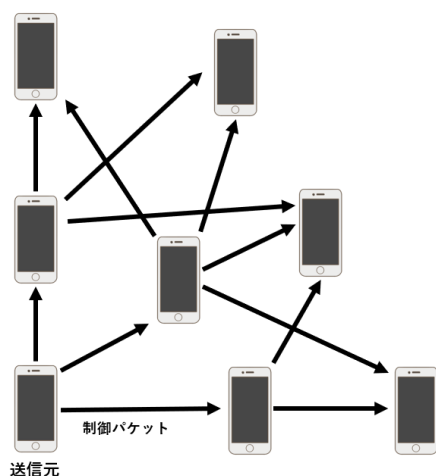


図 5 フラディング

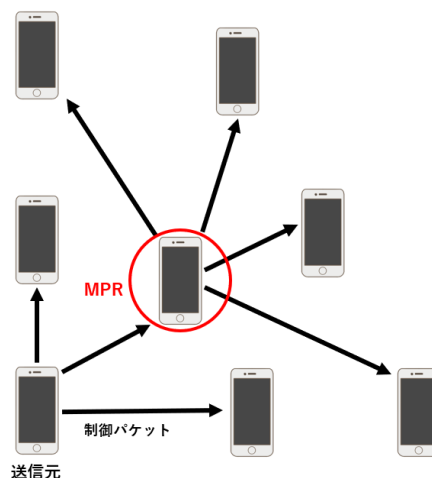


図 6 MPR 集合によって最適化されたフラディング

1.1.2 Reactive 型

Reactive 型のルーティングプロトコルは、通信の要求が発生時にルーティングを行い、宛先までの経路を構築する。Proactive 型と比較して、通信要求が発生しない場合はルーティングを行わず、定期的に制御パケットの交換を行わないため、ネットワークへの通信負荷が小さい。しかし、通信要求時にのみルーティングを行うため、実際の通信を開始するまで遅延が生じるという欠点がある。

Reactive 型のプロトコルの代表例として、AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)[4] や DSR(Dynamic Source Routing)[5] がある。

また、本研究と関連の深い AODV については次節で述べる。

1.1.3 Hybrid 型

Hybrid 型プロトコルは、Proactive 型と Reactive 型の双方の特性を併せ持ったプロトコルである。代表的なものに、ZRP(Zone Routing Protocol)[6] がある。ZRP ではゾーン半径が設定され、自身からの最短ホップ数がゾーン半径以下のノードはゾーン内にあると判断する。ゾーン内のノードに対してはプロアクティブ型のルーティング、ゾーン外のノードに対してはリアクティブ型のルーティングを行う。ゾーン内のノードとの通信は IARP(Intrazone Routing Protocol)、ゾーン外のノードとの通信は IERP(IntErzone Routing Protocol) を用いる。ZRP はゾーン半径を変化させることで様々なネットワーク環境に適応できる。しかし、Hybrid 型プロトコルは実装が複雑で、各端末の処理量が多くなってしまいうという欠点がある。

1.2 AODV プロトコル

AODV は Reactive 型の代表的なルーティングプロトコルの 1 つである。AODV は各端末が保持する経路表, RREQ(Route Request) パケット, RREP(Route Reply) パケット, RERR(Route Error) パケットを用いてルーティングを行う。AODV の経路表の各エントリは以下の 5 項目から構成される。

- 宛先アドレス
- 次ホップアドレス
- シーケンス番号
- エントリの有効期限
- プリコーサリスト

AODV は通信が要求されたときに、経路を探索するため RREQ パケットをフラッディングする。RREQ パケットを受信したノードの処理は図 7 のように行われる。宛先ノードが RREQ パケットを受信した場合、宛先ノードは送信元ノードに対して RREP パケットを送信する。RREQ パケット同様、RREP パケットを受信したノードは経路表を更新する。

通信の要求が発生時、送信元ノードは RREQ をネットワーク全体にフラッディングする。宛先ノードが RREQ を受信した場合は、宛先ノードは送信元ノードに対して RREP をユニキャストする。また、RREQ 受信時と同様、RREP 受信時にも経路表の更新が行われる。

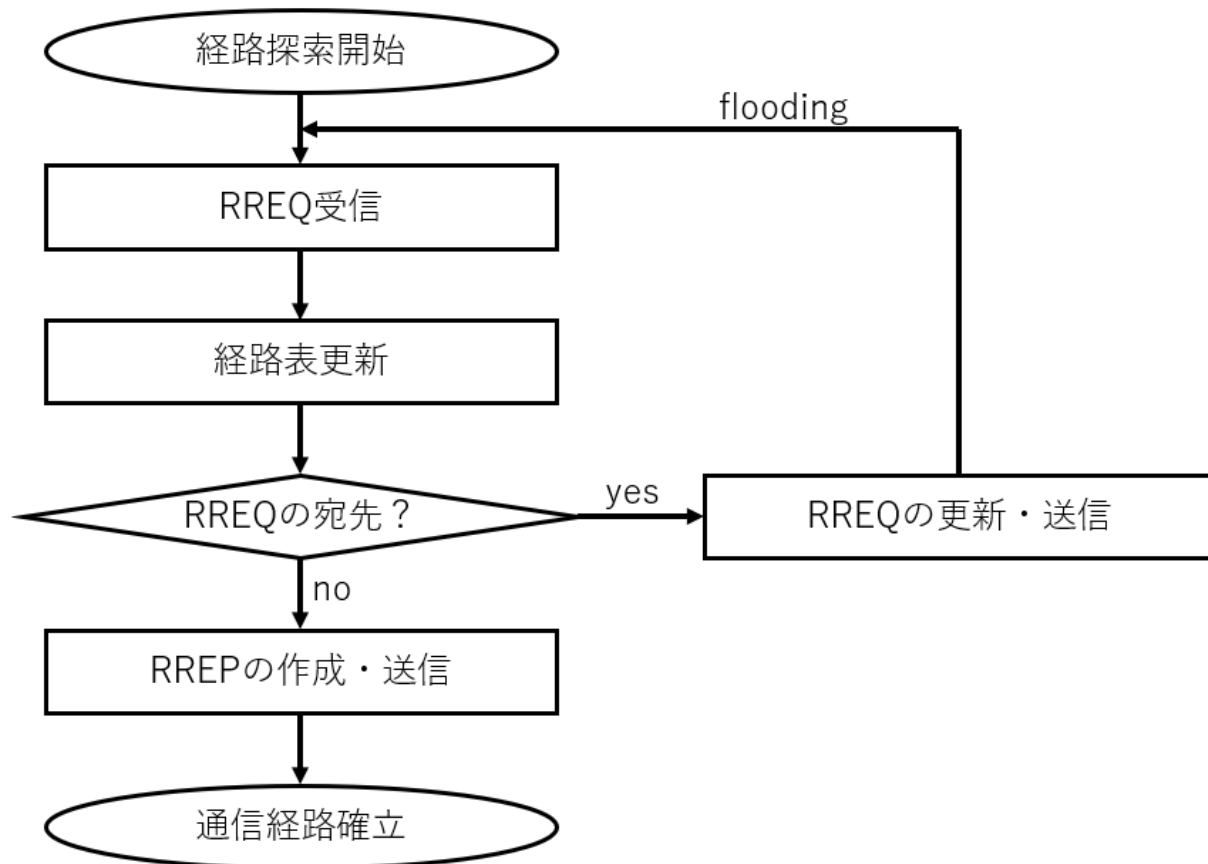


図7 AODVの経路探索の流れ

RREQ を受信したとき，各ノードは以下の操作を行う．

1. 自身の経路表に，受信した RREQ の送信元ノードに対してのエントリがあれば (2) へ，なければ (3) へ
2. エントリのシーケンス番号と RREQ のシーケンス番号を比較．エントリのシーケンス番号が新しい場合は RREQ を破棄．RREQ のシーケンス番号が新しい場合はエントリを更新．(4) へ．
3. RREQ 内の送信元ノードアドレスを経路表の宛先アドレスとして登録
4. RREQ を転送した直前のノードのアドレスを次ホップアドレスとして登録
5. シーケンス番号を更新
6. エントリの有効期限を更新
7. RREQ の TTL をデクリメント
8. RREQ を隣接ノードにブロードキャスト

以上の流れで RREP の経路が構築される．この経路表をもとに RREP が送信元ノードにユニキャストされ，その際にも経路表が作成され，送信元から宛先までの経路が確立される．

第 2 章

関連研究

AODV プロトコルではフラッディングにより宛先まで届いた最初の RREQ によって経路が確立されるため、端末の移動が考慮されず、ネットワークトポロジーの動的な変化によって頻繁にリンク切断が発生する可能性があり、この問題を解決するための研究が行われている。本章ではリンク切断回数を低減するために提案された位置情報、移動情報を利用した手法を紹介する。

2.1 FORP

FORP(Flow Oriented Routing Protocol)[7] は各端末が自身の位置情報と移動情報 (移動速度・移動方向) を保持していると仮定して、ノード N_1 とノード N_2 が通信距離 r で通信するとき、各ノード間のリンク毎に LET(Link Expiration Time) を以下の式で定義する。ノード N_1 , N_2 の座標を $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$, 速度を v_1, v_2 , 移動方向を θ_1, θ_2 とする。この LET を基に各経路の RET(Route Expiration Time) を計算する。RET は経路上にある LET の最小値である。

$$LET = \frac{-(ab + cd) + \sqrt{(a^2 + c^2)r^2 - (ad - bc)^2}}{a^2 + c^2}$$

$$a = v_1 \cos \theta_1 - v_2 \cos \theta_2$$

$$b = x_1 - x_2$$

$$c = v_1 \sin \theta_1 - v_2 \sin \theta_2$$

$$d = y_1 - y_2$$

通信要求が発生した場合、送信元ノードは経路探索のために自身の位置情報を付加した RREQ をフラッディングする。中継ノードは RREQ を受信すると計算した LET を RREQ に付加し、再度フラッディングする。宛先ノードが複数の RREQ を受信したとすると、RET が最大となる経路を選択し、送信元ノードに RREP を送信することで経路が構築される。[9]

2.2 PVAR

PVAR(Position and Velocity Aided Routing)[8] は AODV を基にして、位置情報と移動情報を用いた手法である。各ノードは自身を中心ノードとして隣接ノードの位置情報と移動ベクトル情報を定期的に取り得する。取得した隣接ノードの移動ベクトル \vec{VN} と自身の移動ベクトル \vec{VC} のなす角 θ を算出し、 θ が閾値内である隣接ノードを Good Candidate、それ以外の隣接ノードを Bad Candidate として区別する。 θ は以下の式で算出できる。

$$\theta = \arccos \frac{|\vec{VC}|^2 + |\vec{VN}|^2 - |\vec{VN} - \vec{VC}|^2}{2 \cdot |\vec{VC}| \cdot |\vec{VN}|}$$

位置情報から自身との距離を計算し、一定の範囲内に存在する隣接ノードを Real Neighbor として経路探索を行う際には Real Neighbor のみを用いる。Real Neighbor ではない Good Candidate または Bad Candidate は経路探索では用いない。経路探索には、AODV と同様のアルゴリズムを用いる。

2.3 松下らの手法

松下ら [9] は FORP、PVAR などの移動ベクトル情報を利用したルーティングプロトコルの多くはリンク毎の安定性のみを評価して、中継ノードを選択していることで、宛先ノード近くにおいて整合性の低い移動ベクトルを持つノードを中継ノードとして選択する可能性が高まり、経路全体の安定化を考慮できていないと示唆している。そこで、送信元ノードと宛先ノード間の相対的關係から中継ノードとして望まれる理想的な移動ベクトル（以下、理想移動ベクトル）を算出し、理想移動ベクトルと実際の移動ベクトルから求められる評価値によって経路を選択する手法を提案している。

2.3.1 評価値

送信元ノードの移動ベクトル $\vec{S}(S_x, S_y)$ と宛先ノードの移動ベクトル $\vec{D}(D_x, D_y)$ 、経路全体のホップ数 H 、宛先ノードから中継ノードまでのホップ数 h から、以下の式で理想移動ベクトル $\vec{I}(I_x, I_y)$ は定義される（図 8）。

$$I_x = \frac{D_x(H - h) + S_x \cdot h}{H}$$

$$I_y = \frac{D_y(H - h) + S_y \cdot h}{H}$$

求めた理想移動ベクトルを経路構築の基準とするには中継ノードの実際の移動ベクトル $\vec{N}(N_x, N_y)$ との比較が必要であるため，評価値に以下の式のようなベクトルの内積を用いている．

$$SP = \vec{I} \cdot \vec{N} = I_x \cdot N_x + I_y \cdot N_y$$

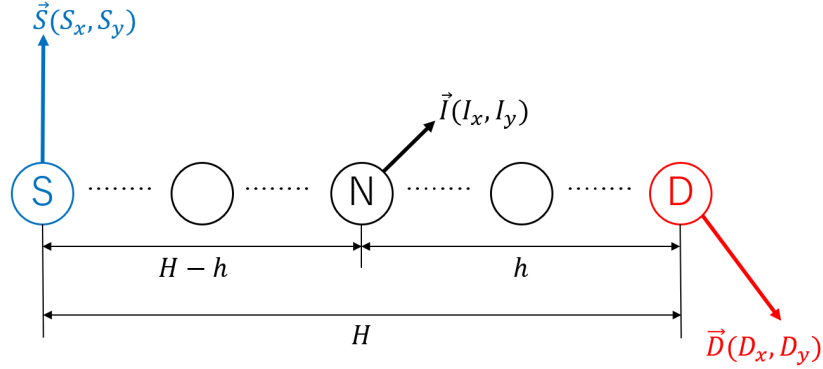


図 8 理想移動ベクトル

2.3.2 経路構築

基本的な動作は AODV を基にしており，通信要求が発生した場合に，送信元ノードが RREQ を生成し，それをフラッディングすることで経路を探索する．ここで，送信元はフラッディングを行う際に自身の移動ベクトル情報を RREQ に追加する．その RREQ を受信した隣接ノードは自身が宛先であるかを判断し，宛先でなかった場合，中継ノードとして RREQ に自身の移動ベクトル情報を追加して，さらにフラッディングする．

この処理を繰り返し行うことによって，宛先ノードは RREQ に含まれる移動ベクトル情報によって各中継ノードにおける SP を求め，それらの平均値 SP_{ave} を経路選択の評価値として保持する．ここで，宛先ノードは一定時間待機し，経路候補となる複数の RREQ の到着を待つ．経路探索アルゴリズムを図 9 に示す．

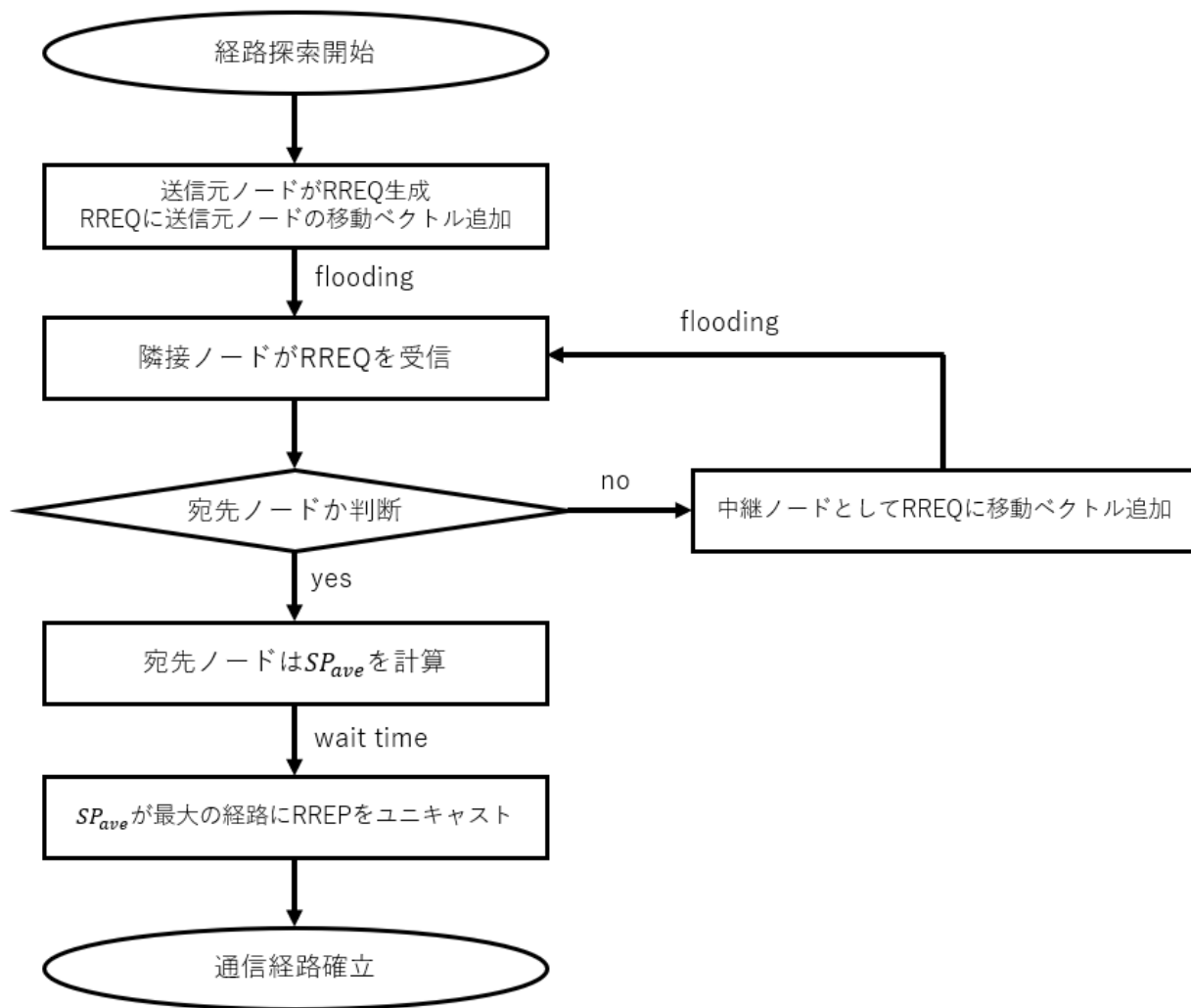


図 9 経路探索アルゴリズム

第 3 章

提案手法

松下らの手法では経路選択の評価値に理想移動ベクトルと実際の移動ベクトルとの内積を用いていたが、これらのベクトルが垂直であった場合、速度に関わらず評価値が一定となってしまう。また、経路の評価値を求める際に各中継ノードから算出される評価値の平均値を用いているため、ホップ数の大小に関係なく経路を選択することで、ホップ数が大きい経路が選択される可能性が高くなる。そこで、新しく評価値を導入することで経路をより安定化させる手法を提案する。本章では、この提案手法について述べる。

3.1 評価値

本提案手法では理想移動ベクトルと実際の移動ベクトルの差を評価値として用いて経路を決定する。以下は評価値の算出方法である。

送信元ノード S の移動ベクトル \vec{v}_S と宛先ノード D の移動ベクトル \vec{v}_D として、以下の式で中継ノード N の理想移動ベクトル \vec{V} を定義する (図 10)。

$$\vec{V} = \frac{|\vec{SN}| \vec{v}_D + |\vec{ND}| \vec{v}_S}{|\vec{SD}|}$$

求めた理想移動ベクトルと中継ノードの実際の移動ベクトル \vec{v} を用いて、以下の式で求められるベクトルの差の絶対値 DIF を経路構築の基準としている。

$$DIF = |\vec{V} - \vec{v}|$$

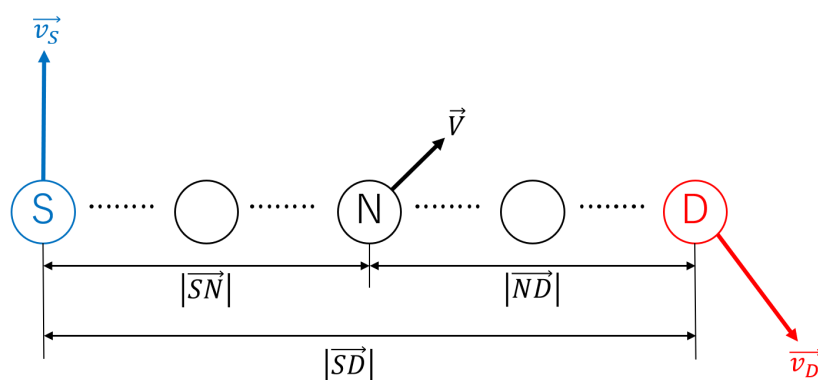


図 10 理想移動ベクトル

3.2 経路構築

通信要求が発生した場合に，送信元ノードが RREQ を生成し，それをフラッディングすることで経路を探索する．ここで，送信元はフラッディングを行う際に自身の移動ベクトル情報だけでなく位置情報も RREQ に追加する．その RREQ を受信した隣接ノードは自身が宛先であるかを判断し，宛先でなかった場合，中継ノードとして RREQ に自身の移動ベクトル情報を追加して，さらにフラッディングする．

この処理を繰り返し行うことによって，宛先ノードは RREQ に含まれる移動ベクトル情報によって各中継ノードにおける DIF を求め，それらの合計値 DIF_{sum} を経路選択の評価値として保持する．ここで，宛先ノードは一定時間待機し，経路候補となる複数の RREQ の到着を待つ．

経路を選択する評価値として， DIF の平均値を用いず，合計値を使うことはホップ数を削減するためである．平均値を用いると長い経路を選択する可能性が高まり，データパケットを送信する際にパケットの損失が生じやすくなる．経路探索アルゴリズムを図 11 に示す．

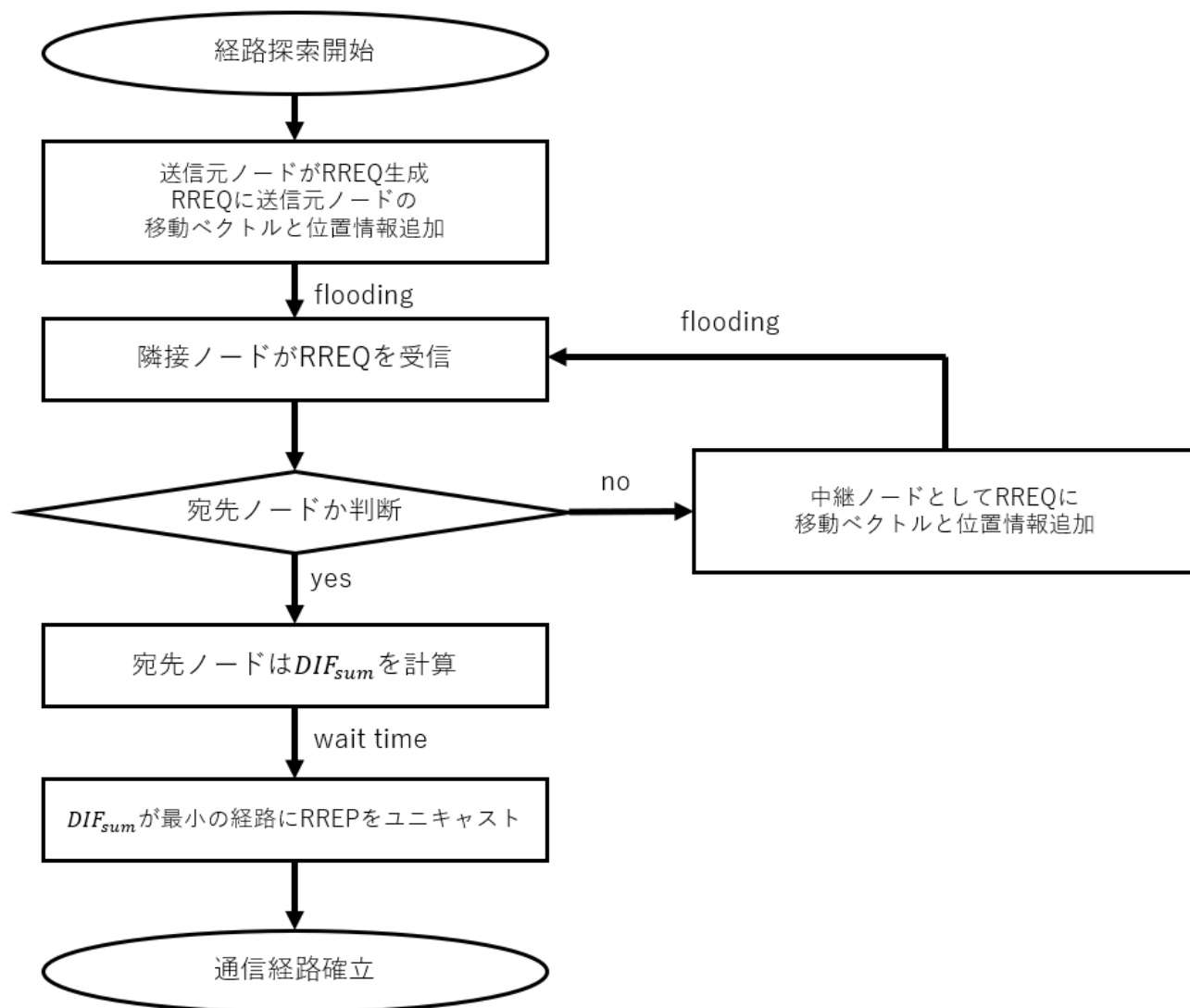


図 11 経路探索アルゴリズム

第 4 章

シミュレーション実験

提案手法の有効性を示すために、シミュレーション実験を行った。本章では、まずシミュレーション実験の概要を説明する。その後、提案手法と松下らの手法の比較実験について述べる。

4.1 実験条件

端末や人手のコストがかかる MANET の検証実験はシミュレーションで行うことが多い。本実験では、自作の Java で記述されたシミュレータを用いてシミュレーションを行った。シミュレーションでは、ランダムに配置されたノードから送信元ノードと宛先ノードをランダムに選択し、3[s] ごとに経路を確立する。実験条件を表 1 に示す。

表 1 シミュレーション実験条件

シミュレーション領域	500 × 500[m ²]
ノード数	60, 80, 100, 120, 140[個]
サイクル時間	300[s]
ノード移動速度	1 – 5, 6 – 10, 11 – 15, 16 – 20[m/s]
ノード移動モデル	Random Waypoint
通信半径	100[m]

ノードの移動モデルである Random Waypoint は、現在地から目的地まで一定速度で移動し、一定時間静止し、また別の目的地を設定し移動する、という動作を各ノードが繰り返すモデルである。速度は、表 1 で定められたノード移動速度の範囲からランダムで決定される。静止する時間は、5[s] とする。

4.1.1 評価項目

以下の評価項目において，既存手法と提案手法を評価する．

- リンク切断回数

経路を確立した際に，次の通信要求が開始されるまでにリンクが切断される回数である．この値が小さければ，経路の安定化につながる．

- 平均ホップ数

構築された経路のホップ数の平均値である．この値が小さければ，より最適な経路を選択できる．

4.1.2 比較する手法

以下の手法を評価項目に従って評価する．

- AODV

送信元ノードが RREQ をネットワーク全体にフラッディングし，宛先が最初に受信した RREQ の経路に従って，送信元ノードに RREP を送信することで経路を確立する．

- 松下らの手法

送信元ノードが RREQ をネットワーク全体にフラッディングし，宛先が最初の RREQ の受信後，一定時間待機することで複数の重複 RREQ を受信し，各 RREQ について評価値 SP_{ave} が最大となる RREQ の経路に従って，送信元ノードに RREP を送信することで経路を確立する．

本実験では，宛先が最初の RREQ の受信後に待機する時間を 0.5[s] としている．

- 提案手法

送信元ノードが RREQ をネットワーク全体にフラッディングし，宛先が最初の RREQ の受信後，一定時間待機することで複数の重複 RREQ を受信し，各 RREQ について評価値 DIF_{sum} が最小となる RREQ の経路に従って，送信元ノードに RREP を送信することで経路を確立する．

本実験では，宛先が最初の RREQ の受信後に待機する時間を 0.5[s] としている．

4.2 実験結果

ノード数 60 個において，リンク切断回数の結果を表 2 に示す．

表 2 リンク切断回数 (ノード数 60 個)

移動速度 手法	1-5	6-10	11-15	16-20
AODV	20	60	65	69
松下らの手法	19	54	63	67
提案手法	18	53	58	65

平均ホップ数の結果を表 3 に示す．

表 3 平均ホップ数 (ノード数 60 個)

移動速度 手法	1-5	6-10	11-15	16-20
AODV	2.96	3.14	3.28	3.10
松下らの手法	2.96	3.14	3.28	3.10
提案手法	2.96	3.14	3.28	3.10

ノード数 80 個において，リンク切断回数の結果を表 4 に示す．

表 4 リンク切断回数 (ノード数 80 個)

移動速度 手法	1-5	6-10	11-15	16-20
AODV	22	44	73	77
松下らの手法	20	41	68	69
提案手法	21	41	67	69

平均ホップ数の結果を表 5 に示す．

表 5 平均ホップ数 (ノード数 80 個)

移動速度 手法	1-5	6-10	11-15	16-20
AODV	2.92	3.01	3.08	2.96
松下らの手法	2.92	3.01	3.06	2.94
提案手法	2.92	3.01	3.06	2.95

ノード数 100 個において，リンク切断回数の結果を表 6 に示す．

表 6 リンク切断回数 (ノード数 100 個)

移動速度 手法	1-5	6-10	11-15	16-20
AODV	22	50	59	74
松下らの手法	23	42	55	71
提案手法	17	40	50	69

平均ホップ数の結果を表 7 に示す．

表 7 平均ホップ数 (ノード数 100 個)

移動速度 手法	1-5	6-10	11-15	16-20
AODV	2.78	2.95	2.71	3.08
松下らの手法	2.78	2.95	2.72	3.11
提案手法	2.78	2.95	2.71	3.10

ノード数 120 個において，リンク切断回数の結果を表 8 に示す．

表 8 リンク切断回数 (ノード数 120 個)

移動速度 手法	1-5	6-10	11-15	16-20
AODV	24	48	65	71
松下らの手法	25	38	62	65
提案手法	22	44	60	65

平均ホップ数の結果を表 9 に示す．

表 9 平均ホップ数 (ノード数 120 個)

移動速度 手法	1-5	6-10	11-15	16-20
AODV	2.79	2.75	2.8	3.01
松下らの手法	2.79	2.75	2.8	3.04
提案手法	2.79	2.75	2.8	3.0

ノード数 140 個において，リンク切断回数の結果を表 10 に示す．

表 10 リンク切断回数 (ノード数 140 個)

移動速度 手法	1-5	6-10	11-15	16-20
AODV	20	51	69	80
松下らの手法	17	45	61	76
提案手法	13	41	57	74

平均ホップ数の結果を表 11 に示す．

表 11 平均ホップ数 (ノード数 140 個)

移動速度 手法	1-5	6-10	11-15	16-20
AODV	2.55	2.6	2.89	2.79
松下らの手法	2.55	2.6	2.93	2.79
提案手法	2.55	2.6	2.92	2.79

4.3 考察

提案手法はどのノード数においても AODV，既存手法と比較してリンク切断回数を削減できしており，ノード数 140 においてはリンク切断回数を最大 24% 削減できている．また，平均ホップ数においては既存手法と比較して，あまり変化は見られない．以上のことから，リンク切断回数と平均ホップ数の観点から，提案手法は AODV，既存手法と比較して経路を安定化できていると言える．

ここで，ノード数 120 のリンク切断回数の移動速度 6-10[m/10cycle] において，提案手法は既存手法よりもリンク切断回数が増加してしまっている．RREQ を受信した全ノードが次にフラッディングするタイミングはノードによって異なり，また，移動モデルである Random Waypoint は移動ベクトルが変わるタイミングはランダムであることから，経路を構築する際にもこれらによって影響を受けることが原因であると考えられる．

以上のことから提案手法は，リンク切断回数に関して高い性能を示したが，シミュレーション環境によって結果が左右されることがわかった．

おわりに

本研究では，移動情報と位置情報からリンク切断が生じにくい理想移動ベクトルと実際の移動ベクトルの差を評価値として用いることで，リンク切断回数を減少させるルーティングプロトコルを提案した．自作のネットワークシミュレータにより実験を行った結果，提案手法は既存手法と比較して，平均ホップ数を維持しつつ，リンク切断回数を最大で約 24% 削減することができた．

今後の課題として，既存手法，提案手法ともに移動モデルのパラメータ，移動速度によってリンク切断回数，平均ホップ数の結果が変動する．そのため，シミュレーションのパラメータに影響されない経路安定化手法を考える必要がある．また，今回自作のシミュレータで実験を行ったが，より実環境に近いシミュレータで実験を行う必要がある．

謝辞

日ごろから多くの御指導を頂きました太田義勝教授，鈴木秀智准教授，杉浦徳宏准教授に深く感謝いたします．そして，日頃何かとお世話になりました落合美子事務員に感謝いたします．また，本論文作成にあたって特にお世話になりました太田義勝教授に深く感謝いたします．最後に，日頃から熱心に討論して頂いた研究室の諸氏に感謝いたします．

参考文献

- [1] T.Clausen ,P.Jacquet ,A.Laouiti ,P.Muhlethaler ,A.Qayyum and L.Viennot ,“Optimized Link State Routing Protocol ”, IEEE INMIC Pakistan , 2001.
- [2] C.E.Perkins and P.Bhagwat , “Highly dynamic destination-sequenced distancevector routing (DSDV) for mobile computers ”, in Proc. of ACM SIGCOMM , August 1994.
- [3] R.Ogier , F.Templin and M.Lewis. “Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding ”, rfc3684 , February 2004.
- [4] C.E.Perkins and E.M.Royer , “Ad hoc on-demand distance vector routing ”, in Proc. of IEEE WMCSA , February 1999.
- [5] D.B.Johnson and D.A.Maltz , “Dynamic source routing in ad hoc wireless networks ”, Mobile Computing , Kluwer Academic , 1996.
- [6] Z.J.Haas and M.R. Pearlman. , “The performance of query control schemes for the zone routing protocol ” In Proc.ACM SIGCOMM,pp.167-177,August 1998.
- [7] William Su , Mario Gerla , “IPv6 flow handoff in ad hoc wireless networks using mobility prediction ” Global Telecommunication Conference , 1999.
- [8] Taifei Zhao ,Xizheng Ke ,Peilin Yang , “Position and Velocity Routing (PVAR) Protocol in Mobile Ad hoc Networks ”, JDCTA Vol.4 , No.3 , June 2010.
- [9] 松下 敦 , 山本 尚 , “MANET における端末移動速度ベクトルを用いた経路安定化ルーティングプロトコルの研究” , 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) , vol.43 , pp.1–6 , 2013