

## 拡張無線メッシュネットワークにおける 位置情報を利用した経路探索

水出智彰<sup>†</sup> 土屋竜也<sup>†</sup> 小野里好邦<sup>†</sup>

本稿では拡張無線メッシュネットワークにおいてアドホックネットワークを構築する際の経路探索に注目し、通信の効率化と消費電力を削減できる経路探索方法の提案と検討を行った。現在の拡張無線メッシュネットワークでは、AP（アクセスポイント）の位置情報において経路探索や経路構築を行っている。ここで、各端末が端末間で位置情報を共有することが可能となれば、その情報を利用して通信の効率化と消費電力削減の効果が得られると考え本稿の方式を提案した。

### Extended Diffused Key-information Based Routing Protocol in Ad Hoc Networks

TOMOAKI MIZUIDE<sup>†</sup> TATSUYA TSUCHIYA<sup>†</sup>  
YOSHIKUNI ONOZATO<sup>†</sup>

In this paper we investigate the search path when building a wireless mesh network under extended ad-hoc network, and we propose a search method that can reduce power consumption. The route search part and the node – which can be a mobile PC or a mobile phone, etc. – part are combined in the proposed method. Moreover, we aim at improving the efficiency of the communication between nodes under the extended wireless mesh network. The following advantages can be achieved through the proposed method: First of all, useless route searches can be reduced by flooding using the location information between nodes. Second, we can achieve the construction of shortest routing paths, avoid the communication with AP to pass the location information of each node, and reduce the power consumption of the nodes.

### 1. はじめに

近年では、持ち運び可能な携帯端末が普及し IEEE802.11 規格の無線ネットワークによってインターネットへ接続する機会が増加した。また、無線技術も発展しインフラを必要とせず、携帯端末だけで即座にネットワークを構築することが可能となった。その代表的な技術としては、アドホックネットワークが存在する。そして、無線ネットワークにおいてはインフラに接続されている AP の通信エリア内であれば AP との直接無線通信によりインターネットへの接続が可能である。このような AP の設置により、自宅や会社以外の場所でもインターネットへ接続することが可能な場所が提供されて無線通信の幅を広げている。しかし、AP の設置場所はまだまだ限られている。なぜなら、AP 設置にはケーブルを敷設することや運用管理において多額の費用がかかってしまうことが挙げられる。そのための既存の研究[1]として、拡張無線メッシュネットワークが存在する。この拡張無線メッシュネットワークによりインターネットへ接続することが可能なエリアを拡張させることが可能となる。

既存の研究[1]において、拡張無線メッシュネットワークでの経路探索は AP の位置情報を利用して経路構築を行っている。そのため、AP への経路構築は効率的に行うことができるが、端末間の経路構築は通常のアドホックネットワークの経路構築と同等、もしくは AP を経由するため遅延が生じてしまう。

そこで本稿では端末間で位置情報を共有し、端末と AP 間だけでなく端末同士の通信においても通信効率の向上が見られ、消費電力を削減させることができる経路探索方法を提案する。その提案方式と従来方式（AODV）の RREQ 転送数、到着率、消費電力の結果を比較することで提案方式の有効性を示す。

### 2. 既存の技術

本稿の提案手法の説明にあたり、本稿で利用した既存の技術の説明をする。

#### 2.1 無線アドホック通信

無線アドホック通信は無線通信システムのひとつである。もし送信元と送信先の間の距離が大きすぎて直接の通信が不可能な状況でも、他のノードを介してネットワークを構築し通信を行うことができる[2]。

#### 2.2 AODV プロトコル

AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)は、無線アドホックネットワークで用いられるルーティングプロトコルのひとつである。AODV はリアクティブ型のプロトコルであり、通信の必要に応じて経路表の作成を開始する[3]。

<sup>†</sup> 群馬大学大学院工学研究科情報工学専攻  
Gunma University, Graduate School of Engineering, Department of Computer Science.

## 2.3 フラッドイング

アドホックネットワークのルーティングプロトコルでは、経路探索において制御メッセージをネットワーク全体に向けて送るフラッドイングを用いる。経路探索では、このフラッドイングにより送信先まで経路探索メッセージを届けることが可能となる。ここではフラッドイングの手法について述べる。

### 2.3.1 LAR scheme2

通常のフラッドイングでは送信元が隣接端末へ向けて RREQ をブロードキャストする。LAR scheme2 では位置情報を用いてフラッドイングを行い、無駄な RREQ 受信端末を削減する。そして、通常のフラッドイングと同様に送信元は RREQ を隣接端末にブロードキャストして、RREQ 受信端末は以下の手順で RREQ の破棄を判断する。

1. RREQ 送信元が送信先の位置情報 (PosDx, PosDy) を利用して送信先から送信元までの距離を計算する。この距離を DistS とする。
2. DistS をヘッダに付加して、フラッドイングを開始する。
3. RREQ を受信した隣接端末 A は送信先から隣接端末 A までの距離を計算する。この距離を DistA とする。
4. 以下の条件式(1)が成立する場合、端末は RREQ を中継する。

$$\alpha \times \text{DistS} + \beta \geq \text{DistA} \quad (\alpha : 0 \text{ でない定数}, \beta : \text{定数}) \quad (1)$$

上記の手順により無駄な経路探索を削減しながらフラッドイングを行っていく。また、RREQ をフラッドイングする際の条件式(1)には、初期状態として  $\alpha=1$ ,  $\beta=0$  が設定されている。

それぞれのフラッドイングを図 1, 2 に示す[1][4]。

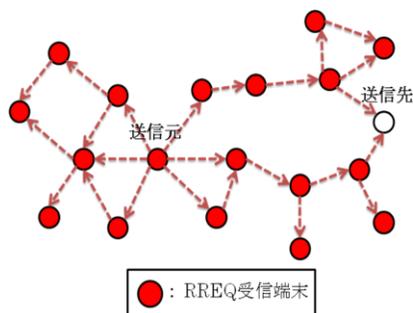


図 1 通常のフラッドイング

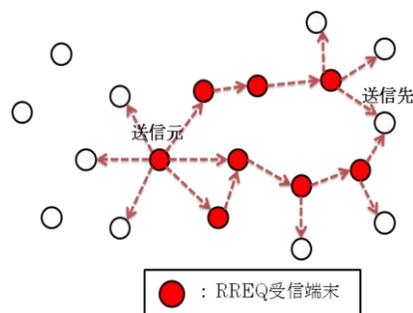


図 2 LAR scheme2 のフラッドイング

## 2.4 拡張無線メッシュネットワーク

拡張無線メッシュネットワークとは、端末と AP 間の直接通信に限られていた無線メッシュネットワーク[5]をいくつかの端末を中継して AP と間接的に接続するというものである[1]。

拡張無線メッシュネットワークとアドホックネットワークを比較すると、拡張無線メッシュネットワークではインターネットへのゲートウェイとなる AP 周辺にアクセスが集中する。そのため、拡張無線メッシュネットワークの規模が大きくなると、トラフィックの偏りが発生するという問題点が挙げられる。しかし、AP は移動性がないため位置情報を容易に確保することが可能である。そして、AP は電力源が確保されているためバッテリー等の電力量の制限を考慮する必要がないという有用性が挙げられる。

### 2.5 位置情報

本稿では端末が位置情報を取得する場面が存在する。その位置情報を取得する方法として、GPS (Global Positioning System : 全地球的測位システム) を挙げる[6]。

現在私たちが所有する携帯端末において、端末や AP の位置情報を取得できる環境が整ってきている。拡張無線メッシュネットワークにおいて携帯端末は AP の存在する場所を把握することで経路探索に利用することが可能となる。

## 3. 既存の研究

文献[1][8]において制御メッセージ RREQ のヘッダ部分への情報追加による拡張や、位置情報を用いて LAR scheme2 のフラッドイングを使用した経路探索の手法が存在する。位置情報に関しては AP の位置情報を用いている。また、文献[7]ではアドホックネットワークにおいて各端末が自由に移動して位置に依存したデータ(地図情報など)を収集し、収集した情報を相互に利用する状況を想定した手法が挙げられている。その手法とは、ある位置に依存した情報の複製を隣接する端末同士で重複しないように配置する方式である。この手法を用いることで、位置に依存した情報がネットワーク上に配置され、近距離無線通信において情報を取得することが可能となる。そのため、遠距離の無線通信は少なくなり、通信量を削減させることとなる。この方式を Skip Copy 方式という。

本稿では文献[1]を参考にして、AP の位置情報に限定せず端末の位置情報を用いることで端末間通信の効率化を実現しようと考えた。また、文献[7]を参考にして、端末同士が各端末の位置を把握するための位置情報の共有化や、拡張無線メッシュネットワークを利用した位置情報に関するデータの操作手法を提案している。

上記のような既存の手法[1][7][8]を踏まえて、以下に提案手法を述べる。

## 4. 提案手法

本稿では AODV を利用し、拡張無線メッシュネットワークに適した機能を追加することで提案を行う。また、各端末は位置情報ファイルを作成、保存することや、送信先 IP アドレスの探索操作を行い、端末と AP 間だけでなく端末間における効率的な通信を行えるようにする。

### 4.1 提案手法を実装する上での条件

提案手法を実装する上では、拡張無線メッシュネットワーク環境下が適している。また、本稿で説明する位置情報ファイルをネットワーク上に配置するため、ある程度の端末数による通信のアクティブなネットワークが必要である。ここでのアクティブなネットワークとは予めある程度の端末間もしくは端末と AP 間において通信を行っている状態を表す。提案手法ではアクティブなネットワーク上に新規端末として加わる際に最適な環境である。

### 4.2 提案手法の内容

提案手法は、経路探索（ルーティング）に関する部分と端末（ノード）に関する部分で提案項目を挙げている。

- 経路探索に関する部分
    1. 制御メッセージ RREQ の拡張
    2. フラッドイングに LAR scheme2 を利用
  - 端末に関する部分
    1. 位置情報ファイル・探索プログラムの機能を追加
    2. キャッシュフォルダ内の位置情報ファイル操作
- 上記の提案手法に関する詳細を以下に述べる。

### 4.3 経路探索に関する部分の提案手法

経路探索に関する部分の提案項目について詳しく述べる。

#### 4.3.1 制御メッセージ RREQ の拡張

制御メッセージ RREQ のヘッダ部分に、位置に関する情報を 3 項目追加する。以下にその追加内容を示す。

1. 有無確認フラグ（送信先位置情報の登録確認情報）
2. AP・送信先の位置情報
3. 送信元から送信先の距離（DistS）

追加項目 1 の有無確認フラグは RREQ に送信先の位置情報が登録されているかを確認することができる。送信先の位置情報が登録されている場合は True が登録される。また、追加項目 3 の送信元から送信先の距離（DistS）は LAR scheme2 のフラッドイングに利用される。提案手法の RREQ は初期設定で AP を目標地点とするため、追加項目 1 には False が登録され、追加項目 2 には AP の位置情報が登録される。

位置情報に関する情報を追加した RREQ のヘッダ部分を図 3 に示す。

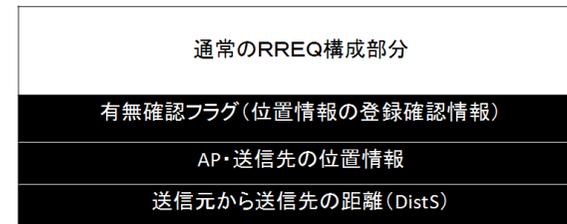


図 3 拡張した RREQ ヘッダ

### 4.3.2 LAR scheme2 を用いたフラッドイング

提案手法の経路探索はフラッドイングに LAR scheme2 を利用する。また、端末は以下の 2 つの場合において、フラッドイング操作を変更する。

1. RREQ に送信先端末の位置情報が登録されている場合 (True) は、送信先を AP から送信先（通信相手）端末に変更して RREQ を送信する。
2. RREQ に送信先端末の位置情報が登録されていない場合 (False) は、送信先を AP のまま RREQ を送信する。

上記において送信先の位置情報が登録されていることの確認は、RREQ の追加項目 1 で示した有無確認フラグから判断することができる。

### 4.4 端末に関する部分の提案手法

端末に関する部分の提案項目について詳しく述べる。

#### 4.4.1 位置情報ファイル・探索プログラムの機能を追加

- 位置情報ファイルの説明  
位置情報ファイルとは各端末の IP アドレスと端末に対応した位置情報が登録されているファイルである。主にデータ通信時に位置情報ファイルをデータに付加して別の端末に渡される。また、位置情報ファイル内に保存されている IP アドレスは今回クラス B に限定する。よって IP アドレスの最大保存数は約 65,000 台とする。位置情報ファイルの内容を 4 に示す。



図 4 位置情報ファイルの内容

● キャッシュフォルダの説明

位置情報ファイルを保管しておくフォルダをキャッシュフォルダと呼ぶ。端末が位置情報ファイルを保存や作成する際はキャッシュフォルダ内で実行される。また、キャッシュフォルダの上限サイズを設定している。なぜなら、キャッシュフォルダ内に複数の位置情報ファイルが保存され、そのサイズが端末の処理に影響を与えるほど大きくなる可能性があるためである。今回 IP アドレスの上限をクラス B にしているため、一つの位置情報ファイルの最大サイズは約 2MB となり、キャッシュフォルダの上限を 10MB に設定した。この上限を超える場合は最も古い位置情報ファイルを削除し、キャッシュフォルダ内に空き容量を確保する。

● 位置情報探索プログラム

位置情報探索プログラムとは、位置情報ファイルから送信先の位置情報を探し出すプログラムである。RREQ を受信した端末は、RREQ のヘッダから判断することができる送信先 IP アドレスを Key 情報として、位置情報ファイル内から送信先 IP アドレスとそれに対応した位置情報を探し出す。また、RREQ を受信した端末は RREQ の有無確認フラグから、次の 2 つの条件で探索プログラムを実行する判断を行う。

1. 受信した RREQ のヘッダ情報から有無確認フラグが True の場合、送信先の IP アドレスの位置情報を把握しているため、端末は探索プログラムを実行しない。RREQ のヘッダ登録情報を以下の図 5 に示す。

RREQの情報	
送信先のIPアドレス:	172.16.1.24
有無確認フラグ=	True
送信先の位置情報:	X=340.0 Y=400.0

図 5 ヘッダ登録情報

2. 受信した RREQ のヘッダ情報から有無確認フラグが False の場合、AP の位置情報が登録されている。この場合、送信先の IP アドレスの位置情報を把握していないため、端末は探索プログラムを実行する。RREQ のヘッダ登録情報を以下の図 6 に示す。

RREQの情報	
送信先のIPアドレス:	172.16.1.24
有無確認フラグ=	False
送信先の位置情報:	X=100.0Y=100.0(APの位置情報)

図 6 ヘッダ登録情報

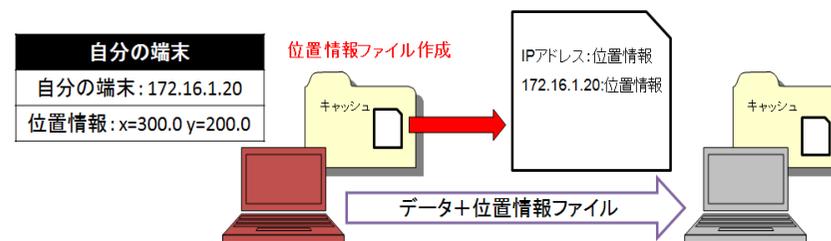
4.4.2 キャッシュフォルダ内の位置情報ファイル操作

端末は位置情報ファイルを送信する場合と中継する場合において、キャッシュフォルダ内の位置情報ファイルに対して操作を変更する。また、位置情報ファイルはデータ通信時にデータに付加される。以下に位置情報ファイルに対する操作を示す。

1. 端末が位置情報ファイルの送信端末である場合、キャッシュフォルダに位置情報ファイルを作成する。
2. 端末が位置情報ファイルの中継端末である場合、キャッシュフォルダに保存されている位置情報ファイルに自分の IP アドレスと位置情報を保存する。

上記の位置情報ファイル操作の説明を図 7 に示す。

1. 自分の端末が位置情報ファイルの送信端末である場合



2. 自分の端末が位置情報ファイルの中継端末である場合

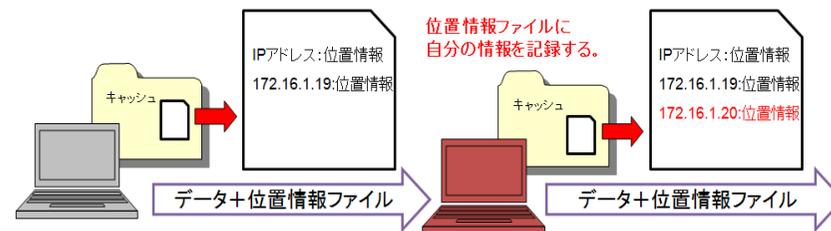


図 7 位置情報ファイル操作の動き

4.5 提案手法全体の流れ

提案手法全体の流れを図 8 のフローチャートと図 9 の全体の流れを用いて説明する。まず、送信元端末が送信先端末と通信を行うための経路を作成しなければならない。そこで、送信元端末は RREQ を隣接端末にブロードキャストする。隣接端末は受信した RREQ から、送信先端末の IP アドレスを Key 情報として、キャッシュフォルダ内

の位置情報ファイルに Key 情報が存在するかを探索する。位置情報ファイルに Key 情報が存在しない場合は送信目標を AP とし、AP の位置情報を利用して LAR scheme2 のフラッディングを行う。また、位置情報ファイルに Key 情報が存在する場合は送信目標を送信先 (送信先 IP アドレスに対応する) 端末に変更する。そして、探索プログラムから把握した送信先端末の位置情報を利用して LAR scheme2 のフラッディングを行う。上記のような流れによって、送信先端末の位置情報を含んだ位置情報ファイルをキャッシュフォルダに保存している端末が RREQ を受信した場合は、送信先端末まで無駄な経路探索をせずに RREQ をブロードキャストすることができる。また、送信先の位置情報を含んだ位置情報ファイルを保存していない端末に関しては、位置情報ファイルが集まっている AP に向けて RREQ が転送されるので、送信先の位置情報を含んだ位置情報ファイルを見つける確率が高くなる。もし、RREQ が対象の位置情報ファイルを探すことができなかつた場合は、AP で待機する。

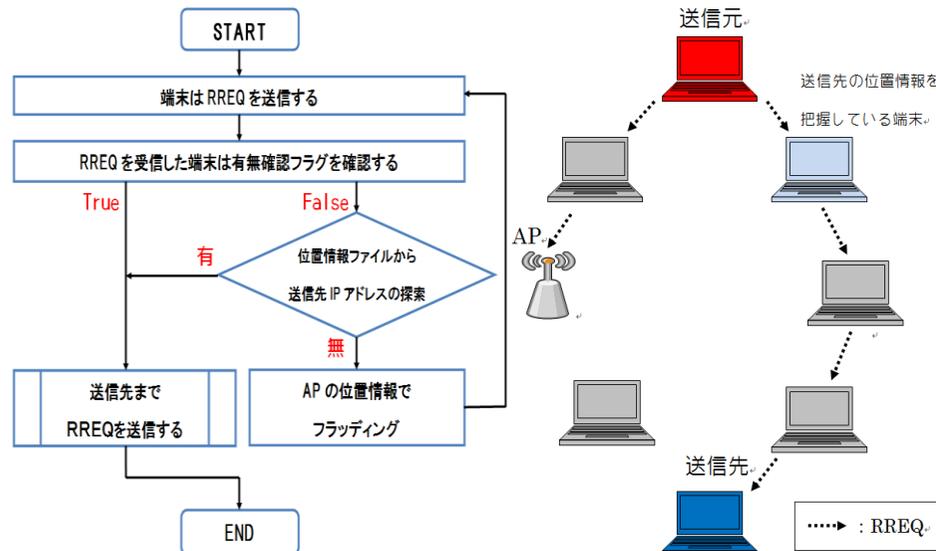


図 8 フローチャート

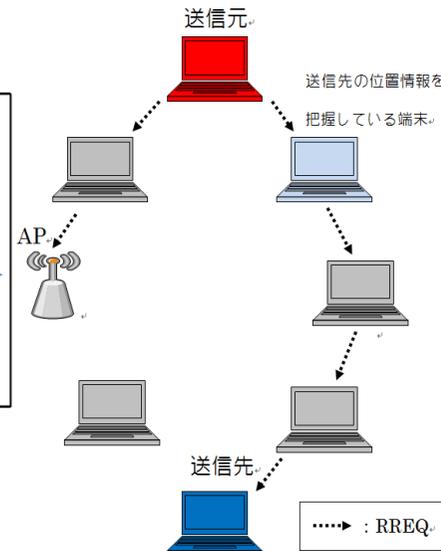


図 9 全体の流れ

各端末は位置情報ファイルをネットワーク上に拡散させたアクティブなネットワーク上で、送信先端末の IP アドレスを Key 情報として位置情報ファイルから送信先端末の位置情報探索を行う。そして、探索により得られた情報を利用して効率的な経路構築を行うことが可能である。

#### 4.6 提案方式の効果

経路探索部分と端末部分の提案手法を組合せて一つの提案方式とした。提案方式を実現させることで次の効果を期待することができる。まず、端末間の位置情報を利用してフラッディングを行うことで無駄な経路探索を削減させることが可能である。そして、各端末が持つ位置情報から AP 経由の通信を回避することで最短の経路探索と経路構築を実現し、端末の消費電力を削減させることが可能である。

### 5. 評価

提案方式をネットワークシミュレータ (NS-2) 上に実装し、シミュレーションで評価を行った。また、実際に探索プログラムを作成し評価を行った。ここではシミュレーションの設定から実行結果、考察までを述べる。

#### 5.1 シミュレーション設定

拡張無線メッシュネットワーク上での効率的な端末間通信の確立を目的としているため、AP を配置せずにシミュレーション評価を行った。

##### 5.1.1 シミュレーションパラメータ

表 1 にシミュレーションで設定したシミュレーションパラメータを示す。

表 1 シミュレーションパラメータ

シミュレータ	NS-2.33
端末数	50,100,200,300,400,500
シミュレーション回数	各端末50回 *
帯域幅	2[Mbps]
通信範囲	250[m]
アプリケーション	CBR
パケットサイズ	1000[Byte]
移動方法	静止状態 (位置固定)
位置情報ファイル	予め取得済み (送信先 IP アドレスが含まれている)
シミュレーション範囲	1000 × 1000[m]
ルーティングプロトコル	AODV

\* : 端末数500のみシミュレーション回数10回

NS-2 のバージョンとしては、ns-allinone-2.33 を使用した。シミュレーション時の端末は位置固定の静止状態で、位置情報ファイルは予め取得済みであり送信先 IP アドレスが含まれている状態である。

次に探索プログラム実験での実験パラメータを表 2 に示す。

表 2 探索プログラム実験パラメータ

位置情報ファイル内のIPアドレスの数	10,100,1000,10000,30000,60000
探索回数	各IPアドレス数1000回
最大IPアドレス数	60000

NS-2 の他に位置情報探索プログラムの実験も行っている。探索プログラムは Java 言語で作成した。また、位置情報ファイルに保存されている IP アドレス数を 10,100,1000,10000,30000,60000 の 6 通りに変化させて実験を行った。今回位置情報ファイルはクラス B に限定している。そのため、最大保存 IP アドレス数は 60000 とした。

### 5.2 シミュレーション結果

AODV(既存方式)と提案方式のシミュレーションによる評価項目は RREQ 転送数、到着率、エネルギー残量の 3 項目とした。RREQ 転送数の評価では、両方式の RREQ 転送数を比較することで提案方式が無駄な経路探索を削減していることを確認する。到着率の評価では、提案方式が通信の信頼性を確保していることを確認する。そして、エネルギー残量の評価では両方式において通信におけるエネルギー消費量を確認する。評価結果はシミュレーション時に作成されるトレースファイルを利用して結果を求めている。また、提案方式には探索処理時間の結果を反映させる。

#### 5.2.1 RREQ 転送数

RREQ 転送数の結果を以下の図 10 に示す。

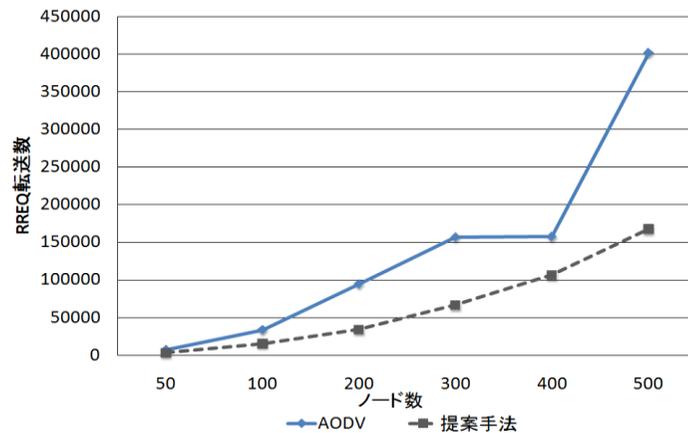


図 10 RREQ 転送数

図 10 より、AODV と比較し、提案方式の RREQ 転送数が削減されていることがわかる。また、RREQ 転送数の算出方法としては、各端末が RREQ メッセージを受信した回数をカウントし RREQ 転送数の結果とした。今回シミュレーションは各端末数ごとに 50 回(端末数 500 のみ 10 回)行っているため、各端末数ごとにシミュレーション回数で平均をとっている。

RREQ 転送数結果の算出式(2)を以下に示す。

$$\text{RREQ 転送数} = \frac{\text{RREQ 受信数の総計}}{\text{シミュレーション回数}} \quad (2)$$

#### 5.2.2 到着率

到着率の結果を以下の図 11 に示す。

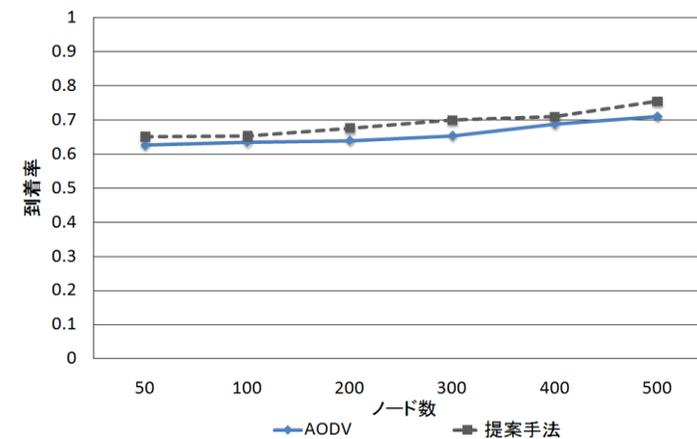


図 11 到着率

図 11 より AODV と提案方式はほぼ同等の結果が得られていることがわかる。また、到着率の算出方法としては、各端末の到着率の平均をとっている。各端末の到着率の算出式(3)を以下に示す。

$$\text{到着率} = \frac{\text{送信先の受信パケット数}}{\text{送信元の送信パケット数}} \quad (3)$$

### 5.2.3 エネルギー残量

エネルギー残量の結果を以下の図 12 に示す。

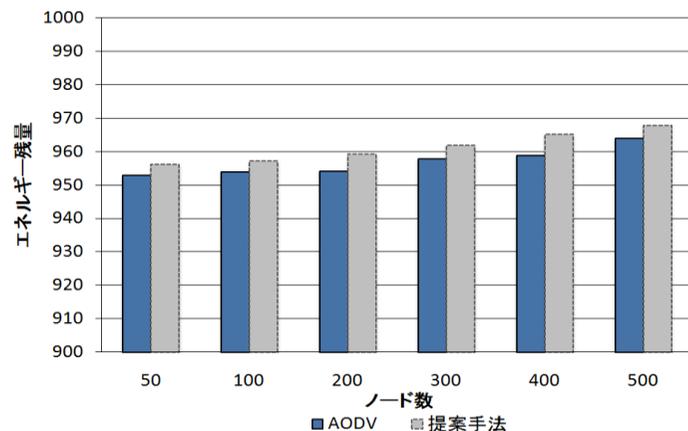


図 12 エネルギー残量

図 12 より AODV と比較して提案手法のエネルギー残量が高いことがわかる。また、端末が RREQ を送信する際に消費する電力は端末のバッテリー総量と比較して高くないことがわかる。

本稿のシミュレーションではバッテリーの初期容量を 1000 と設定し、端末が処理を行う度に処理に見合った消費電力をバッテリーから減らしている。これより、各端末のバッテリー残量値をシミュレーション終了時に得ることが可能である。

エネルギー残量の算出式(4)を以下に示す。

$$\text{エネルギー残量} = \frac{\text{端末のエネルギー残量の総計}}{\text{端末数の総計}} \quad (4)$$

### 5.2.4 探索プログラムの処理時間

探索プログラムの処理時間は、各端末が位置情報ファイルから送信先の位置情報を探索する際にかかる時間を表す。そのため、処理時間が長くなってしまうと経路探索に大きく影響し、通信の品質を落とす原因となる。

上記の経路探索に対する影響を調べるため探索プログラムの処理時間の評価を行っている。図 13 に探索プログラムの処理時間の結果を示す。

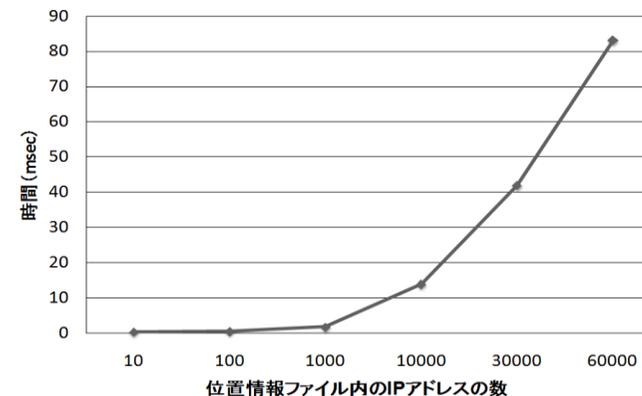


図 13 探索プログラムの処理時間

図 13 の結果より位置情報ファイル内に保存されている IP アドレスの数と処理時間は共に増加することがわかる。今回シミュレーションの最大端末数を 500 としているので、探索処理時間の対象部分は端末数 10 から端末数 1000 までの間の結果となる。その間の処理時間の結果はほぼ 0 ミリ秒と読み取れるため、位置情報の探索にかかる処理時間は経路探索に影響を与えるほどの遅延にはならないと判断した。

## 6. 考察と結論

本稿では拡張無線メッシュネットワークにおいて各端末の位置情報を利用し、無駄な経路探索や消費電力の削減、提案方式の信頼性を示すために提案・検討を行った。アドホック通信の問題点である携帯端末のバッテリー制限に対しての通信に使用される電力の削減に関しては、RREQ 転送数やエネルギー残量の結果から提案方式が AODV に比べ改善させることができた。到着率に関しても、提案方式は AODV とほぼ同等であることから提案方式が AODV と同等の信頼性があることも確認することができた。

しかし、シミュレーション条件外でのシミュレーションを行っていないため端末が移動する際の提案方式の結果が得られていない。また、ネットワーク上での端末間通信がアクティブでない場合に発生しやすい現象として、送信先端末の位置情報を位置情報ファイルに保存している端末数が少ない状態での経路探索がある。この場合は、送信先の位置情報を発見することができず、AP に RREQ が集中してしまう。そのため、通常の通信と比べて経路構築時間が長くなってしまう場合もあると考えられる。今後はシミュレーション上に AP を配置した際の評価を行いたいと考えている。

## 7. 今後の発展と課題

本論文の提案方式を利用した今後の発展提案方式を述べる。

### 7.1 端末の位置情報を用いた位置予測

本稿において拡張無線メッシュネットワーク上での端末の位置は固定状態を前提としている。しかし、私たちが日常で用いる無線通信を考えた場合、端末が移動しながら AP を介して通信を行う場面も多く存在する。この形態の通信では、移動する端末が AP の通信範囲外に出た場合、それまで可能だった通信は切断されてしまう。もしノードの移動先を事前に予測できれば、それまでの AP から移動先にある新たな AP への切り替えがスムーズに行えると考えられる。また、アドホックネットワークの構築時にも、ノードの移動を予測することで、より移動量の少ないノードによって構築される安定性の高い経路の選択が可能になると考えられる。

### 7.2 中継 AP を用いた拡張無線メッシュネットワークのさらなる拡大

中継 AP を利用して拡張無線メッシュネットワークの通信の幅を広げる。中継 AP を利用した拡張無線メッシュネットワークを以下の図 14 に示す。

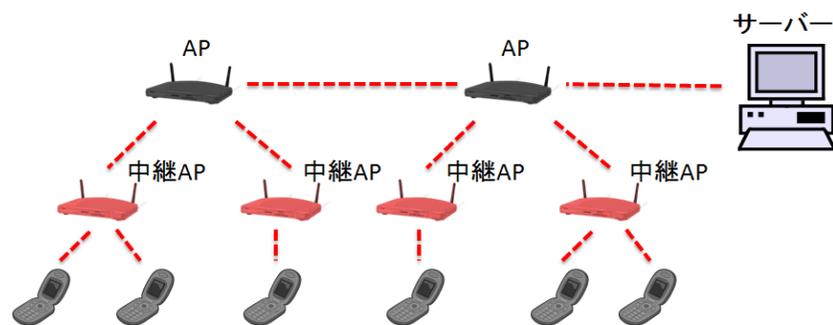


図 14 中継 AP の配置図

この場合での中継 AP とは通信の中継だけを担当する AP を表す。また、各 AP に位置情報などといった Key 情報の管理を行う機能の追加も考えている。このことで、サーバーや別の AP と情報を共有し、より短時間で最適な経路を提供するなど通信をさらに効率的に行うことが可能となると考える。

**謝辞** 本論文、そして研究において有益な御助言と御協力を頂いた群馬大学大学院工学研究科情報工学専攻の関係者方々に、謹んで感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 関幸一：拡張無線メッシュネットワークにおける位置情報を用いたルーティングプロトコルの研究，筑波大学大学院システム情報工学研究科修士論文，Mar.2007.
- 2) Allied Telesis 「無線 LAN」 <http://www.allied-teselis.co.jp/products/list/wireless/knowl.html>
- 3) P2P とワイヤレスの交差点 「AODV プロトコル」  
<http://internet.watch.impress.co.jp/www/column/wp2p/wp2p07.htm>
- 4) Young-Bae Ko, Nitin H.Vaidya : Location-Aided Routing (LAR) in mobile ad hoc networks , Wireless Networks 6 (2000) 307-321
- 5) 根本望：無線メッシュネットワークの評価と考察，NRI 技術創発
- 6) GLOBAL POSITIONING SYSTEM <http://www.gps.gov/>
- 7) 田森正紘，石原進，水野忠則：アドホックネットワークにおける端末の位置を考慮した複製配布方式の評価，情報処理学会研究報告，ITS，[高度交通システム]，2001(83)，P.135-142
- 8) 金井圭一：AODV におけるスループット改善手法の提案，群馬大学工学部情報工学科，Mar.2006.