

# 災害時を想定したアドホックネットワーク構築手法の検討

## A study of ad hoc network construction methods for disaster scenarios

T5-17 末廣隼人  
指導教員 高崎和之

### 1. はじめに

日本では地震をはじめ多くの自然災害が発生しており、災害時には通信が集中しネットワークが使えなくなる可能性がある。そこで、アドホックネットワークを活用することで地域限定ながら被災状況の把握や情報伝達が可能となる。本研究では、人口密度の高低に応じた経路構築方法を考案し、その効果をシミュレーションで検証した。

### 2. 理論

#### 2.1 アドホックネットワーク

アドホックネットワークとは、中央の管理者やルータ、アクセスポイント等の既存のインフラストラクチャを介さずに、端末（以降ノードという）同士が直接通信を行う一時的なネットワークのことである。遠くのノードと通信を行う場合、隣接する他ノードを中継機として利用し、バケツリレーのようにデータを送信するマルチホップ通信技術を用いる。

本研究では、低コスト、低消費電力でスマートフォンに内蔵されている Bluetooth を用いたアドホックネットワークを想定し、より消費電力が少ない Bluetooth Low Energy(BLE)の接続目安距離である 30m を最大通信距離としてシミュレーションを行った。

#### 2.2 ルーティング制御方法

各ノードが通信を行う際のルーティング方式には大きく分けてリアクティブ型、プロアクティブ型、ハイブリッド型の3種類がある。各方式の特徴を次に示す。本研究では、ハイブリッド型を参考に経路生成手法の検討を行なった。

##### (1) リアクティブ型

通信要求が発生した時に近くのノードとその場でデータのやり取りを行い経路を作成する。通信開始までに遅延が生じるが経路情報維持のための通信が不要なため通信頻度の低い環境では消費電力が少なく長時間使用できる。代表的なプロトコルとして AODV や DSR などがある。

##### (2) プロアクティブ型

近くのノード間で自身の情報をやりとし経路をあらかじめ作成する。あらかじめ経路が作成されるため、通信開始までの遅延が短い。しかし、定期的にデータのやり取りを行うため消費電力が多い。代表的なプロトコルとして OLSR や TBRPF などがある。

##### (3) ハイブリッド型

(1)、(2) の二つを組み合わせたルーティング方式である。代表的なプロトコルとしては ZRP などがある。

### 3. 提案手法

#### 3.1 想定環境

経路生成のシミュレーションにあたりノードの密度は日本の人口密度にスマートフォンの所有率 88.6%[1] を乗じた数とした。人口密度が高い地域として埼玉県、低い地域として

福島県 2つの地域に対してシミュレーションを行った。また、人口密度が低い地域ではノード同士の間隔が大きくなってしまいうため、電柱に BLE 機能とを有した低コストの機器（以降電柱ノードという）を設置した 2つの場合についてのシミュレーションを行った。

ノードは 1km 四方の範囲内に配置し、その中で中心に近いノードをインターネットにつながるゲートウェイ（以降スタートノードという）として、そこから一番遠いものをターゲットノードとして経路を探索した。

以下にそれぞれの地域に対応した数値を示す

表 1: 2024 年 10 月 1 日現在の自治体構成

県名	埼玉県	福島県
人口密度 [人/km <sup>2</sup> ] [3]	1930	126
ノードの数 [個]	1710	112

#### 3.2 人口密度が高い地域の場合

人口密度が高い地域では全てのノードが 1つのアドホックネットワークに接続してしまうと経路の複雑化や経路の冗長化により、通信速度や通信品質の低下が発生してしまう。これらを解決するために、周辺ノードの密度を用いて接続ノードを制限し経路の単純化を行った。ノードの接続条件を次のように定めた。

- 上流ノードが下流ノードに対して hello メッセージと自身の MAC アドレスをフラッディングする。
- 受信した下流ノードは reply メッセージと MAC アドレス上流ノードに返す。但し、他ノードと接続済みの下流ノードは上流ノードの hello メッセージを無視する。
- 上流ノードは hello メッセージの返信数で下流ノードの数を認識する。
- 下流ノード数が  $X$  より大きいなら下流ノードの中からランダムで 1つ選択し、そうでないならランダムで 2つ、下流ノード数が 2 以下ならそのノードと接続する。

この  $X$  にはノード密度の閾値が入り、それぞれ 2-7 の場合でシミュレーションを行った。

#### 3.3 前述の手法について

人口密度が高い埼玉県の条件を用いた場合のシミュレーション結果を次に述べる。

##### (1) シミュレーション実行結果

ノード密度が 5 の場合のシミュレーションの実行結果を図 1 に示した。グラフの色について説明する。赤点は中心に近いものがスタートノード、もう 1つの赤点はターゲットノード、青点は接続可能ノード、オレンジ点は接続不可能ノード、薄青で塗られている部分は接続可能面積である。接続されていない青点ノードがいくつかあるが、これは経路生成時に余ったノード

であるため、万が一近くのノードが消滅した時の代替として使用できるため青点になっている。

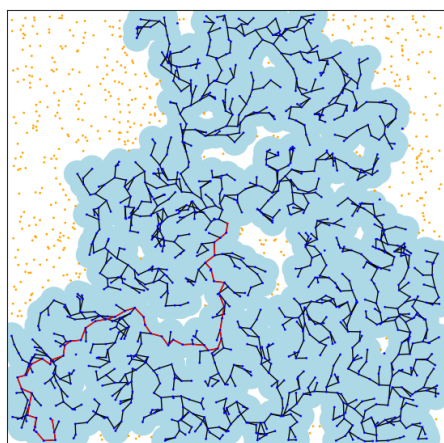


図 1: ノード密度の閾値が 5 のシミュレーション実行結果

## (2) 最適なノード密度について

各ノード密度の閾値で 10 回ずつシミュレーションを行い、接続可能ノードをノードの総数で割った接続可能ノード割合の平均値を図 2 に示した。この図より、閾値が 5 のとき接続可能ノード割合が 75.9% で一番高くなった。

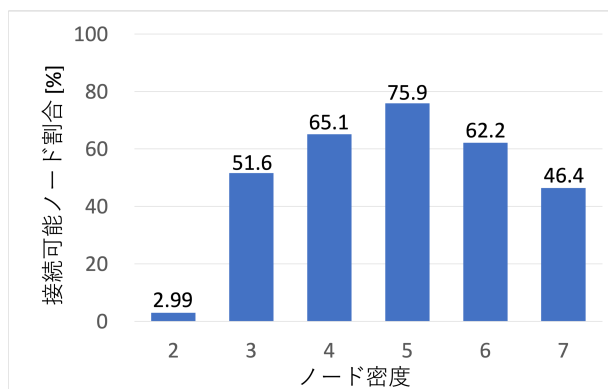


図 2: 人口密度が高い地域の場合

## 3.4 人口密度が低い地域の場合

3.2 では人口密度が高い地域でのみ使用できたが、人口密度が低い地域ではノード間隔が広すぎるためネットワークを広げることができなかった。そこで、電柱を利用することでノードの補完を行った。また、使用するノード密度の閾値は提案手法-1 で判明した”5”を用いる。

電柱ノードの生成、接続条件を次のように定めた。

- 電柱の生成を 50m 間隔で生成した。
- 電柱ノード同士は指向性の強い電波でやり取りを行う。電柱ノードとノードの接続には提案手法-1 と同様の条件で行う。

## 3.5 前述の手法について

人口密度が低い福島県の条件を用いた場合のシミュレーション結果を次に述べる。

### (1) シミュレーション実行結果

電柱を用いた場合のシミュレーションの実行結果を図 3 に示した。新たに追加された緑点は電柱ノード、電柱同士の接続をピンク線、薄緑の円で塗られている部分が電柱ノードの接続可能面積である。

ノードの総数を接続が可能なノード数で割った時の接続割合が 10 回の平均で約 88.5% であった。

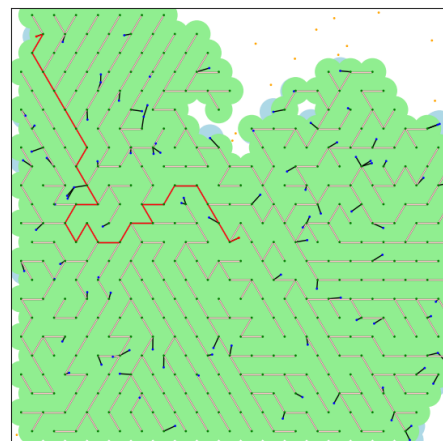


図 3: 電柱を用いたシミュレーションの実行結果

## 4. 考察

シミュレーションの結果、人口密度が高い地域ではノード密度の閾値を”5”にした時が接続可能ノード割合が最も高くなった。しかし、疎な地域が少しでも存在すると電波が届かなくなりネットワークに参加できないという課題が残った。次に人口密度が低い地域では、ノード間隔が広いとその間を電柱等の公共物にノードを設置して補完をおこなった。その結果、ノードの接続可能割合は 90% 近くまで上昇した。しかし、電柱の間隔や本数等は実際の環境と比較すると大きく異なるため、実環境のモデルでシミュレーションを行う必要がある。

## 5. まとめ

本研究では、災害時のアドホックネットワーク構築において、人口密度が高い地域では経路の複雑化やスループットの低下、低い地域ではノード間距離の問題でネットワーク構築が困難になる課題を確認した。これに対し、高密度地域ではノード密度の閾値による接続数制限、低密度地域では電柱などの公共物を活用したノード補完を提案し、簡易な経路生成を実現した。今後は、起伏の多い地形や人口密度の偏りを考慮した実環境シミュレーションを行いたいと考えている。

## 参考文献

- [1] <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/html/nd238110.html>, 総務省, ”通信利用動向調査”
- [2] <https://www.tepco.co.jp/pg/company/press-information/press/2019/pdf/190808j0101.pdf>, 東京電力, ”全国の「位置情報データ」の代理店販売の概要”
- [3] [https://uub.jp/rnk/p\\_j.html](https://uub.jp/rnk/p_j.html), 都道府県市区町村, ”都道府県 人口・面積・人口密度ランキング”