

# 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

## Study of Construction Methods for Ad-Hoc Network under Disaster

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し地域限定ながら被災状況の把握や情報伝達を可能とする研究が行われている。本研究では、人口密度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 モジュール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 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

近くのノード間で常に情報をやりとりし経路をあらかじめ作成しておく。あらかじめ経路が作成されているため、通信開始までの遅延が少ない反面、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 2 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

経路生成のシミュレーションにあたりノードの密度は 2024 年 10 月 1 日現在の日本の人口密度<sup>[1]</sup>にスマートフォンの所有率 88.6%<sup>[2]</sup>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うため、電柱に BLE 機能等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スタートノードとし、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。表 1 にそれぞれの地域の人口密度とシミュレーションに用いたノードの密度を示す。

表 1 シミュレーションの条件

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

#### 3.1 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 メッセージと自身の MAC アドレスを上流ノードに返す。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。
- 下流ノード数が閾値  $X$  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。

$X$  はノード密度の閾値であり、それぞれ 2~9 の場合についてシミュレーションを行った。

ノード密度の閾値が 5 の場合のシミュレーションの実行結果を図 1 に示す。図 1 の赤点がスタートノードとターゲットノード、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通信可能エリアである。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り、万が一近くのノードが消滅した時の代替として使用される。

次に、ノード密度の閾値を 2~9 に変化させて 50 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

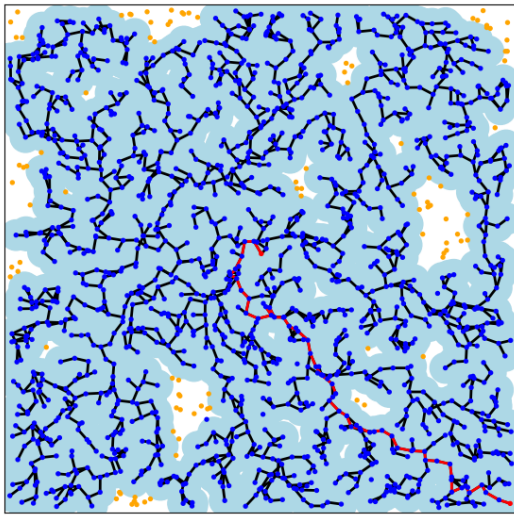


図1 人口密度が高い地域のシミュレーション結果 (閾値=5)

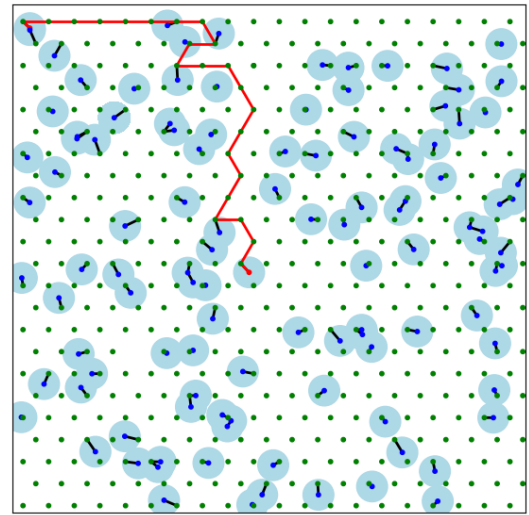


図3 人口密度が低い地域のシミュレーション結果

より、閾値が6のとき接続可能ノード割合が73.7%で一番高くなることが分かった。

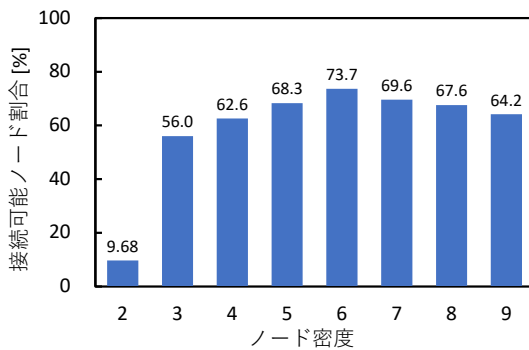


図2 ノード密度の閾値に対する接続可能ノードの割合

### 3.2 人口密度が低い地域の場合

人口密度が高い地域では、ノードのみでアドホックネットワークを構築できたが、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のエリアを広げることができなかった。そこで、電柱ノード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6とした。

電柱ノードは次のように定めた。

- 電柱ノードは50m間隔で配置<sup>[3]</sup>し、電柱ノード間は相互に通信可能であるとした。
- 電柱ノードとノードの接続には3.1節と同様の条件で行う。

人口密度が低い地域として福島県の条件を用いた場合のシミュレーション結果を図3に示す。緑点は電柱ノード、その他は図1と同じである。

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99.0%であった。

### 4. 考察

シミュレーションの結果、人口密度が1600人/km<sup>2</sup>以上の高い地域ではノード密度の閾値を6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、人口密度が低いエリア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、ノード間隔が広い間を電柱等の公共物にノードを設置して補完を行った。その結果、ノードの接続可能割合は100%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ったり、震災状況では電柱が倒壊してしまう可能性があるため、実環境のモデルや電柱の本数を間引いた場合のシミュレーションを行う必要がある。また、Bluetoothでは通信距離が短く中継端末数が多くなったため、今後は経路探索方法の効率化やIEEE802.11等の中距離通信を用いることで経路の簡素化を検討する必要があると考えられる。

### 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] 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", [https://uub.jp/rnk/p\\_j.html](https://uub.jp/rnk/p_j.html).
- [2] 総務省, "通信利用動向調査", <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/html/nd238110.html>.
- [3] 東京電力, "全国の「位置情報データ」の代理店販売の概要", <https://www.tepco.co.jp/pg/company/press-information/press/2019/pdf/190808j0101.pdf>.