

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**

2025 年 3 月 4 日

東京都立産業技術高等専門学校

ものづくり工学科 情報通信工学コース

末廣 隼人

指導教員 高崎 和之

目次

1. はじめに	1
2. 理論	2
2.1. アドホックネットワークについて	2
2.2. ルーティングプロトコル	2
2.2.1. リアクティブ型	3
2.2.2. プロアクティブ型	4
2.2.3. ハイブリッド型	4
2.3. アドホックネットワークの技術的課題	4
2.3.1. 隠れ端末問題	4
2.3.2. さらし端末問題	5
2.4. Bluetooth	5
2.4.1. Bluetooth Classic	5
2.4.2. Bluetooth Low Energy	6
3. 提案手法	7
4. 結果	8
5. 考察とまとめ	9
参考文献	10

1. はじめに

2. 理論

2.1. アドホックネットワークについて

アドホックネットワークとは、中央の管理者やルータ、アクセスポイントなどの既存のインフラストラクチャを介さずに、端末（以下では、ノードと呼ぶ）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。電波が届かず直接情報を交換できないノード同士の場合、基地局を経由せずに途中のノードが中継するマルチホップ通信により情報交換が可能になる。

これらを踏まえると、ノードさえあればどのようなエリアでも即席にネットワークを形成することができるためとても便利だが、ノード移動に伴うネットワークトポロジや伝送品質の急激な変化、利用可能な無線周波数帯域の限界、バッテリー依存のノードの消費電力などの制約といった厳しい条件がある。そのため、ルーティングやチャネルアクセスの制御、周波数帯域の有効活用、ノードの電力消費の節約等の多くの課題がある^[1]。図1にアドホックネットワークの使用イメージを示す。赤のノードが青のノードを経由し緑のノードに通信している図である。

アドホックネットワークに関する研究の歴史は長く、第1世代であるアドホックネットワーク”PR-NET(Packet Radio Network)”は1972年に米国の国防高等研究計画局によって開発され、軍事利用を目的とした研究のため実用化には至らなかった。次に、第2世代となる”NTDR(Near-term Digital Radio)”も米国により軍事目的で研究が行われ、1980年代頃から実用化されている。そして、第3世代となる”MANET(Mobile Ad hoc NETwork)”を含む現在のアドホックネットワーク技術はIEEE802.11やBluetoothなどの近距離無線通信技術を活用し、民間でも使用できるアドホックネットワークが2000年頃から誕生した。同時期から災害時用ネットワークとしての活用に期待が高まっていた。

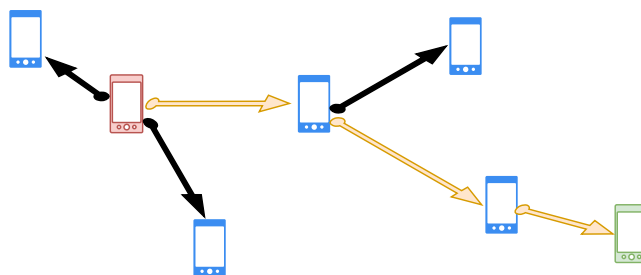


図1 アドホックネットワークのイメージ図

2.2. ルーティングプロトコル

ルーティングプロトコルは大きくリアクティブ型、プロアクティブ型、ハイブリッド型の3つに分類される(図2)。次節にそれぞれの特徴と簡単な概略図を用いて紹介を行う。

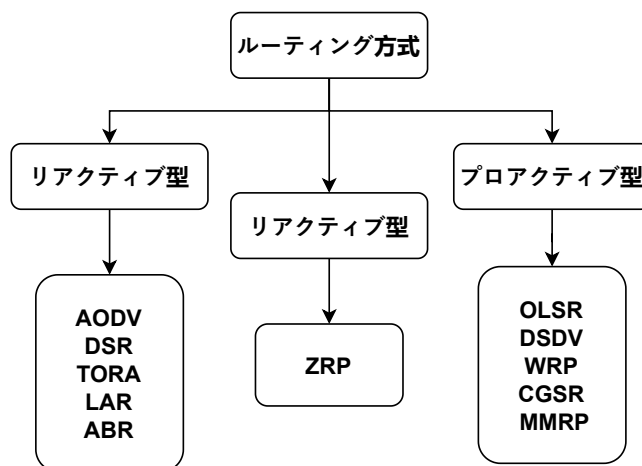


図2 ルーティングテーブルの分類

2.2.1. リアクティブ型

あるノードが通信要求を行なった時にルーティングプロトコルに基づいて電波をフラッディングし、近隣のノードとその場で情報のやり取りを行い経路生成を行う。通信要求がなされた時に作成されるため、実際に通信が開始されるまでにラグが発生する。

このようにする理由として、アドホックネットワークを構築するノードのほとんどが電池で駆動しているため、むやみやたらに電波をフラッディングすると、すぐに電池が消費されてしまうからである。また、ノードは移動していることが多く、数分前の経路表が無意味になってしまうことが多い。そのため、通信直前に経路表を生成することで電波のフラッディング回数を減らし、駆動時間の長時間化が行われる。通信開始が遅くても良い環境で用いられている。代表的なプロトコルとして図2より AODV, DSR, TORA, LAR, ABR などがある。

以下にリアクティブ型での動作イメージを図3に示した。

- (1) ノード A, ノード B, ノード C を設置し、各ノードには初期値として宛先が自身だけの経路表を保持している。
- (2) ノード A, C 間で通信を行うことを想定し、自身の ID とノード C と通信したいという情報を載せてフラッディングを行う。
- (3) 情報を受け取ったノード B は送信先を記録し、宛先が誰かを確認し、自身でなければ自身の ID と宛先の情報を載せてフラッディングを行う。
- (4) (3) と同様に確認を行い、宛先が自身であるため、これまでの経路を逆順で経由してノード A に通信経路が作成されたことを伝える。

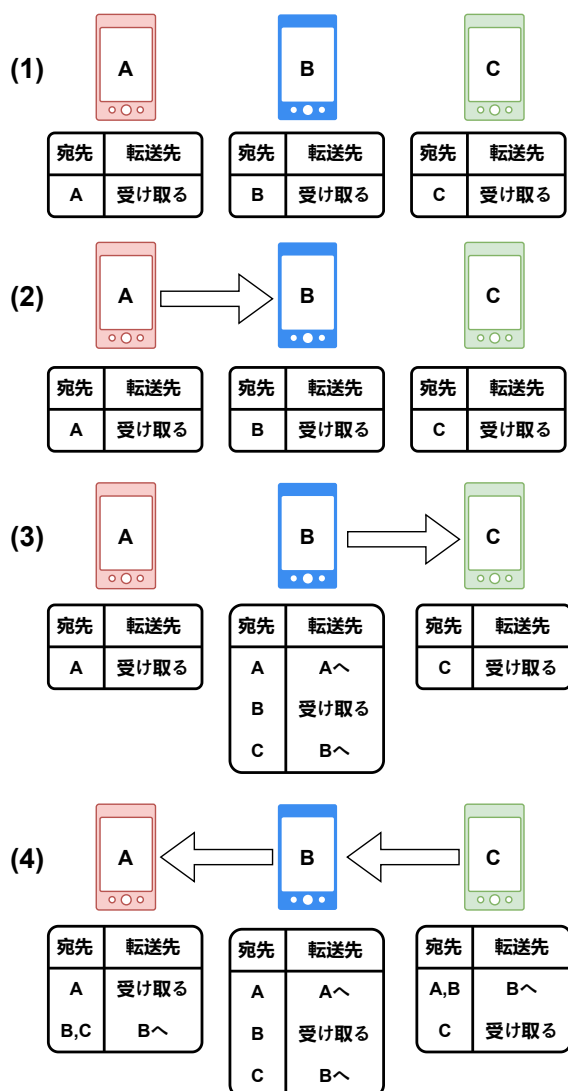


図3 リアクティブ型の動作イメージ図

2.2.2. プロアクティブ型

リアクティブ型では通信要求が発生してから経路表が作成されるのに対し、プロアクティブ型では近隣のノードと周期的に情報のやり取りを行い、通信要求が発生したらすぐに通信を開始することができる。しかし、リアクティブ型と比べ頻繁に情報のやり取りを行うため、電池の消費が早い。常に新鮮な経路表を保持しているためノードの入れ替わりが激しい環境では有効的である。代表的なプロトコルとして図 2 より OLSR, DSDV, WRP, CGSR, MMRP などがある。

以下にリアクティブ型での動作イメージを図 4 に示した。各ノードは常に近隣のノードと情報をやり取りしているため、通信の開始が早く、また、近隣のノードが接続が不可能になったとしても、すぐに新たな経路を生成することが可能であり安定した通信を行うことができる。

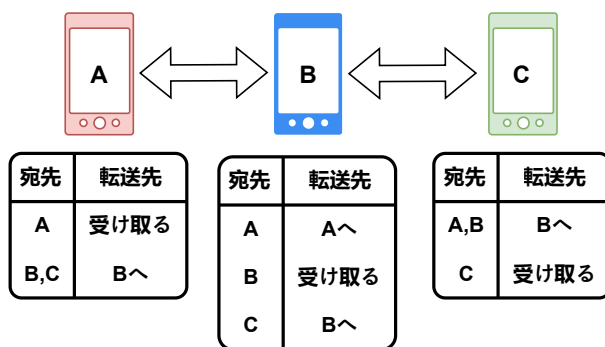


図 4 プロアクティブ型の動作イメージ図

2.2.3. ハイブリッド型

リアクティブ型とプロアクティブ型の長所を組み合わせたプロトコルである。代表的なプロトコルとして図 2 より ZRP (Zone Routing Protocol)^[2] がある。

ZRP では、ネットワークをゾーンと呼ばれる単位で分割し、ゾーン内にあるノードに対してはプロアクティブ型のルーティングプロトコルで近隣の情報同士でやり取りを行い、ゾーン外にあるノードに対してはリアクティブ型のルーティングプロトコルで通信要求が発生した場合のみ動作しそのノードまでの経路を生成する。

メリットとして、ゾーン内では短距離通信の遅延が最小化され、ゾーン外では不要な情報のやり取りを減らすことが可能となる。また、ネットワークが大規模になったとしても全ての経路情報を保持しなくて良いため効率的に運用することが可能である。しかし、デメリットとして、ゾーン半径の設定が困難であることである。ゾーン半径が小さい場合、遠距離通信が頻繁に発生してしまい、また、ゾーン半径が大きい場合、ゾーン内に存在するノードが多数になり計算コストとメモリ消費が増大する可能性がある。

2.3. アドホックネットワークの技術的課題

2.1 節で述べた課題のほかに、隠れ端末問題とさらし端末問題があり、これらがアドホックネットワークが一般的に普及されていない原因の一つとも言える^[3]。次項にそれぞれの問題について説明する。

2.3.1. 隠れ端末問題

図 5 に隠れ端末問題を表した図を示す。図 5 では、スマートフォンがノード、その周りにある円がノードからの通信距離を表している。ノード B の円は見やすさの都合上省略している。

隠れ端末問題とは、ノード A と C がノード B に接続を行うとき、ノード A, C は互いに通信可能距離外にあるため互いの存在が隠れてしまい、ノード B が誰とも通信をしてないと判断してしまう。そして、ノード A, C が同時にデータをノード B に送信した場合、電波干渉やデータの衝突する問題が発生がある。

この問題により通信制御のスループット (処理能力) の低下が発生し、通信に遅延が生じる。

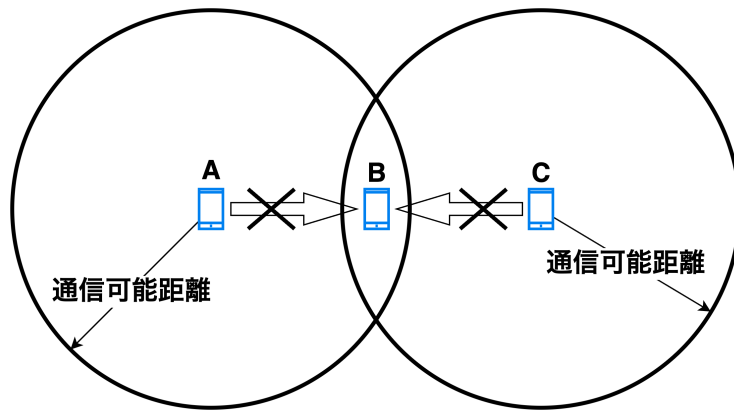


図 5 隠れ端末問題

2.3.2. さらし端末問題

図 6 にさらし端末問題の図を示す．図 6 で表されているスマートフォンや円は隠れ端末の場合と同様の意味である．

さらし端末問題とは，ノード A、D が通信を行っているとき，通信可能距離内にいるノード B はデータを送信して衝突しないようにするために通信抑制が頻繁に行われる問題がある．これにより伝送速度や通信品質の低下が発生してしまう．

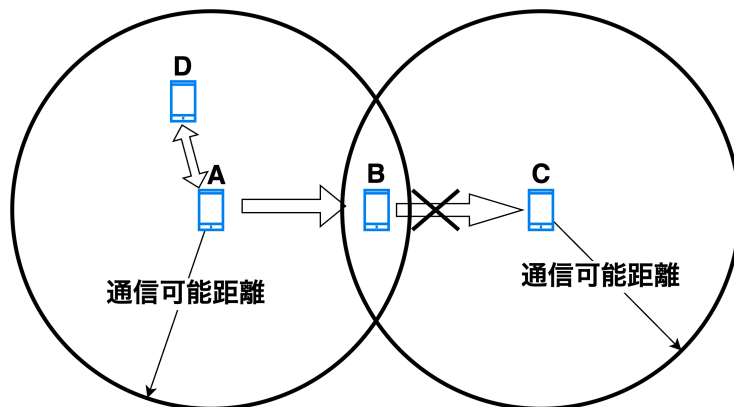


図 6 さらし端末問題

2.4. Bluetooth

Bluetooth は，2.4GHz 帯の通信規格であり，数メートルから数十メートルほどの近距離通信機器などに用いられており，IEEE の規格名は IEEE802.15.1 である．そして，現在の Bluetooth には，Classic と Low Energy(BLE) の 2 種類が存在し，異なる特徴を持つ．

表 1 にそれぞれの特徴についてまとめた．

2.4.1. Bluetooth Classic

Bluetooth Classic は，デバイスと接続するときペアリング認証をし，再度同じ機器と接続するとき自動で接続され通信が行われる．自動接続が行われ，情報のやり取りを頻繁に行うため消費電力が高くなっている．また，通信トポロジは P2P のスター型で，最大接続台数は 7 台となっている．通信距離は Class1~3 ように電波強度で分類され表 2(b) のようになっている．

2.4.2. Bluetooth Low Energy

BLE は、最大転送速度が約 1Mbps で低速だが、低消費電力で駆動する。Classic で行っていたペアリング認証を行わずに接続することが可能になった。また、通信トポロジはスター型とメッシュ型の両方を持ち、接続台数が仕様上無限になりアドホックネットワークに向いている。通信距離はデータ転送速度で異なり、表 2(b) のようになっている。現在では、Bluetooth 5.0 以降では性能がより向上し、最大転送速度が 2 倍の 2Mbps になったり、通信距離が 4 倍の 400m にもなり Classic にも引けを取らないほどの性能となっている。また、方向探知や RSSI(受信信号強度) を用いた距離の推定を行う機能が搭載されている。

表 1 Bluetooth Classic と BLE の特徴 ^[4]

	Bluetooth Classic	BLE
周波数帯	2.4GHz (2.402 ~2.480GHz)	
チャンネル利用	周波数ホッピングスペクトラム拡散 (FHSS)	
チャンネル数	1MHz 間隔で 79 チャンネル	2MHz 間隔で 40 チャンネル
同時接続台数	最大 7 台	仕様上無限
消費電力	1W	0.01W ~0.5W
通信トポロジ	スター型	スター型, メッシュ型
主な用途	マウス, イヤホンなど	IoT センサ, スマートウォッチなど

表 2 通信距離 ^[5]

(a) Bluetooth Classic の場合

Class 1	最大 100m (2.5mW 超 ~100mW)
Class 2	最大 10m (1mW 超 ~2.5mW)
Class 3	最大 1m (1mW)

(b) BLE(最大出力が 100mW) の場合

2Mbps	最大 100m
1Mbps	最大 100m
125kbps	最大 400m

3. 提案手法

経路探索を行うにあたって，日本の人口密度を参考にしてシミュレーションを行った．

4. 結果

5. 考察とまとめ

参考文献

- [1] 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司. アドホックネットワーク. 信学誌, Vol. 84, No. 2, pp. 127–134, 2001.
- [2] Z. HAAS. The zone routing protocol (zrp) for ad hoc networks. *IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-zone-zrp-01.txt*, 1998.
- [3] 松井進. アドホックネットワークの実用化に向けた課題と実用化動向 (クリティカル応用のための通信技術). 日本信頼性学会誌 信頼性, Vol. 34, No. 8, pp. 532–539, 2012.
- [4] Bluetooth®. Bluetooth 技術概要. 最終アクセス日: 2025-2-11.
- [5] 東芝情報システム株式会社. Bluetooth とは何か? 第2回 [全3回]. 最終アクセス日: 2025-2-11.