

# Wi-Fi と Bluetooth を並列利用した スマートフォンのための MANET の提案

森田 賢太\*<sup>1</sup>, 森田 直樹\*<sup>2</sup>

## Proposal of MANET Using Both Wi-Fi and Bluetooth in Smartphone

by

Kenta MORITA\*<sup>1</sup> and Naoki MORITA\*<sup>2</sup>

( received on Nov.30, 2016 & accepted on Dec.19, 2016 )

### あらまし

近年、災害時などを想定としたMANET(mobile ad-hoc network)の研究が行われているが実装をともなった研究は少ない。タブレット端末ではNICの増設やカーネル部分を書き換える必要があり実装が難しい。本研究の目的は、タブレット端末において管理者権限の取得など特別なことをせずにMANETを構築することである。そのために、Wi-FiとBluetoothの二種類の通信方式を組み合わせた無線アドホックネットワークを構築する手法を提案し、その実装と評価を行う。

### Abstract

Recently, study of MANET have become commonplace. However, there are few studies assuming a real environment. The purpose of this study is constructing MANET without administrator authority and adding NIC. We have proposed a method constructs MANET using Wi-Fi and Bluetooth and confirm its effectiveness.

キーワード:MANET, Wi-Fi, Bluetooth, P2P

Keywords: MANET, Wi-Fi, Bluetooth, P2P

## 1. はじめに

近年、MANET(Mobile Ad-hoc Network)の研究が盛んに行われている。MANETは基地局などのインフラに依存せず無線技術によって移動端末同士でネットワークを構築しており、災害時や軍事などの利用が検討されている。

MANETの端末はノードと呼ばれ、各ノードは無線インターフェースとルータ機能を持っている。各ノードはWi-Fiなどの無線通信のリンクでネットワークを構築している。またノードはデータであるパケットを受信した場合、次にどの隣接ノードにパケットを送信すれば良いのか適切に設定される。このルーティングをすることにより、MANETは同報通信だけでなくマルチホップ通信やP2Pの通信を行うことができる。

MANETの問題点としてノードの移動や通信速度、端末の電池残量などがある。各ノードは移動端末であるため、ノードが消失または出現したり、移動したりする。ノードの移動に対応するために、GPSなどを用いてネットワークトポロジーを変化させる手法が提案

されている<sup>1)</sup>。また、バッテリーの残量によって通信できる距離が変わるため、それを考慮したルーティングプロトコルも提案されている<sup>2)</sup>。

MANETに関する研究はさまざまに行われているが、それらはシミュレーションでの有効性の検証が多く、実端末での検証が少ない。実環境下でのMANETの構築は、スマートフォンやタブレット端末では制約があるため、困難である。例えば、物理的にノートPCは無線インターフェースを増やすことは可能だが、スマートフォンやタブレット端末は増やすことはできない。そのためAP(アクセスポイント)の状態での他の端末に接続しに行くことなどができない。また、AODV<sup>3)</sup>やOLSR<sup>4)</sup>などのルーティングアルゴリズムが提案されているが、スマートフォンなどで実装するためには、管理者権限を取得するなどが必要である。一般の人の使用を想定とした場合では、それらは現実的ではない。このように実環境下においてMANETを構築することは難しいため、提案手法を実端末に実装して有効性を確認している研究は少ない。

本稿では、スマートフォン端末に特殊なことをせずに実環境下でMANETを構築することを目的とする。

## 2. 既存手法

実環境を想定として、スマートフォンの無線インターフェースの増設や管理者権限の取得などをせずにMANETを構築する手法がいくつかある。

\*1 情報通信学研究科情報通信学専攻 修士課程  
Graduate School of Information and  
Telecommunication Engineering, Course of  
Information and Telecommunication Engineering,  
Master's Program

\*2 情報通信学部通信ネットワーク工学科 准教授  
School of Information and Telecommunication  
Engineering, Department of Communication and  
Network Engineering, Associate Professor

藪崎らは Bluetooth を用いて MANET を構築する手法を提案している<sup>5)</sup>。Bluetooth のネットワークはマスターとスレーブがあり、1 台のマスターに最大 7 台のスレーブが接続することができる。それらはピコネットと呼ばれるネットワークであり、異なるピコネットが複数つながるとスキヤッタネットと呼ばれるネットワークになる。スキヤッタネットは無線インターフェースである Bluetooth アダプタを 2 つ搭載している端末がマスターかつスレーブになることで、異なるピコネット同士が接続して形成される。このような手法は、スキヤッタネットが理論上接続できる端末の数が 2048 と上限があることやマスターかつスレーブになれる端末が必要であることが問題である。

菊池らは Wi-Fi と Bluetooth の両方を用いた手法を提案している<sup>6)</sup>。MANET の切断性の問題を軽減するために、Bluetooth MANET のグループから 1 台だけ管理端末として P2P オーバレイネットワークに参加させ、その P2P オーバレイネットワークで Bluetooth MANET の情報を各管理端末同士で共有しながら異なる Bluetooth MANET と接続している。この手法は、MANET を管理する端末を自由に変更することができないことや、管理端末以外はノードの移動は自由だが管理端末は自由に移動することができない。

が、Wi-Fi は無線インターフェースが 1 つのため、Bluetooth のように 1 台のノードが 2 つ以上の異なるネットワークに接続することができない。本稿では、無線インターフェースが 1 つでもリンクを Wi-Fi のみで MANET を構築することを課題とする。

### 3. 提案手法

#### 3.1 ネットワークの概要

提案するネットワークは複数の異なる Wi-Fi ネットワークから構成される。これらの Wi-Fi ネットワークは、Bluetooth を用いた制御により AP になる端末（親端末）か AP に接続する端末（子端末）に適切に変化することで、異なる Wi-Fi ネットワーク同士でもパケットのやり取りを行うことができる。

異なる Wi-Fi ネットワークにパケットを送る基本的なアイデアを説明する。Fig.1 はネットワークの構成の一部である。ノード A とノード B はそれぞれ AP であり、ノード A にはノード C, D, E が、ノード B にはノード F が常時接続している。ノード A とノード B はお互いに接続圏外であり同じ Wi-Fi ネットワークではないため、ノード A とノード B はお互いにパケットを送受信することはできない。しかし、ノード A とノード B の両方とも接続圏内であるノード C が接続する Wi-Fi ネットワークを切り替えることで、ノード A とノード B がパケットを送受信することができる。例えば、ノード A からノード B にパケットを送信するときは、ノード A からノード C にパケットを送信し、パケットを受け取ったノード C はノード A の Wi-Fi ネットワークを切断して、ノード B の Wi-Fi ネットワークに接続を行い、ノード C はノード B にパケッ

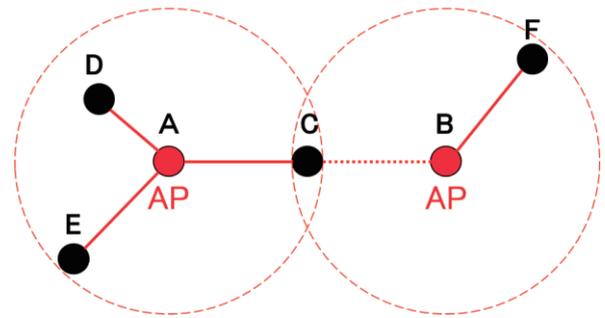


Fig. 1 Part of the Network Configuration

トを送信する。中継するノードが送信するノードと同じ Wi-Fi ネットワークに接続している場合には、このような切り替えを行うことで異なる Wi-Fi ネットワークでもパケットの送受信をすることができる。しかし中継するノードが送信するノードと同じ Wi-Fi ネットワークに接続していない場合には、そのまま中継をすることができないため Bluetooth を用いて中継ノードを送信するノードと同じ Wi-Fi ネットワークに接続させてからパケットを送信する。ノード B からノード C にパケットを送信するときは、ノード B はノード C に Bluetooth で自分の Wi-Fi ネットワークに接続させるためのメッセージを送信し、ノード C がノード B に接続した後、ノード B はノード C にパケットを送信して、ノード C はノード B の Wi-Fi ネットワークからノード A の Wi-Fi ネットワークに接続を切り替え、ノード C はノード A にパケットを送信する。

このように Bluetooth を用いて Wi-Fi の接続を上手く切り替えてあげることで、異なる Wi-Fi ネットワーク同士でも通信を行うことができる。

#### 3.2 ネットワークの構成アルゴリズム

ネットワークを構成する際には、どの端末も親端末か子端末のどちらか一方になる必要がある。各端末が適切に親端末か子端末にならないと正常なネットワークが構築されない。

ネットワークを構築するアルゴリズムは Alg.1, Alg.2, Alg.3 に従う。

#### Alg.1 ネットワークの構築：起動

##### Require:

$S$ : 端末のモード(親端末モード, 子端末モード),  
 $N_{ap}$ : AP の数;  $N_c$ : 子ノードの個数

```

1: if  $N_{ap} == 0$  then
2:    $S =$  親端末モード
3:   子端末リスト作成
4:   AP になる
5: else
6:    $S =$  子端末モード
7:   親端末リスト作成し発見した AP を登録
8:   リストの一番上の端末の Wi-Fi 接続する
9:   周辺の AP に親端末リストを Bluetooth で送信

```

```

Alg. 2 ネットワークの構築：親端末モード
Require:
S: 端末のモード(親端末モード, 子端末モード),
Nap: AP の数; Nc: 子ノードの個数
1: while S == 親端末モード do
2:   switch イベント do
3:     case 子端末から親端末リストを受信
4:       子端末リストを更新
5:     case 周辺に AP が現れる
6:       Nc を比較
7:       if 自分の Nc < 相手の Nc then
8:         S = 子端末モード
9:       else if 自分の Nc == 相手の Nc then
10:        MACAddress を 10進数にして比較
11:        if MACAddress が小さい then
12:          S = 子端末モード
13:     case 再起動要求メッセージ受信
14:       再起動
    
```

```

Alg. 3 ネットワークの構築：子端末モード
Require:
S: 端末のモード(親端末モード, 子端末モード),
Nap: AP の数; Nc: 子ノードの個数
1: while S == 子端末モード do
2:   switch イベント do
3:     case 周辺に子端末が現れる
4:       Bluetooth で親端末リストを送信
5:       if 共通の親端末がない then
6:         Nap を比較
7:         if 自分の Nap < 相手の Nap then
8:           接続中の親端末に再起動要求
9:           S = 親端末モード
10:        else
11:          MACAddress を 10進数にして比較
12:          if MACAddress が小さい then
13:            接続中の親端末に再起動要求
14:            S = 親端末モード
15:        case 接続中の AP が不在
16:          if 接続できる親端末がいる then
17:            親端末リストの一番上の端末に接続
18:          else
19:            S = 親端末モード
20:        case 周辺の AP が変化
21:          親端末リストを更新
    
```

親端末リストは、Wi-Fi と Bluetooth のそれぞれの MacAddress, その親端末に接続しているかのテーブルを持つ。子端末リストは Wi-Fi と Bluetooth のそれぞれの MacAddress, その子端末が接続しているか, その子端末が他に接続できる親端末の情報のテーブルを持つ。

Fig. 2 はノード A から順番に端末が起動した場合のネットワーク構成である。このように親端末の周りには親端末がないように配置され, 子端末は必ずいずれかの親端末の接続圏内に存在する。

Fig. 2 のネットワークにおいて, ノード A が消えた場合, ノード C が親端末モードになる。また新規にノードが増えた場合には, そのノードの近くに親端末がいれば子端末になり, いなければ親端末になる。このように提案するアルゴリズムはノードの移動などにも対応することができる。

### 3.3 データの送受信の流れ

本節では P2P によるパケットの送受信の流れを説明する。P2P の通信を行う際にはまず送信元から宛先

```

Alg. 4 P2Pのルーティングテーブル作成
Require:
S: 端末のモード(親端末モード, 子端末モード),
親端末のREQメッセージとREQメッセージ:
送信元MACAddress/宛先MACAddress/自分のMACAddress/次のAPのMACAddress
子端末のREQメッセージとREQメッセージ:
送信元MACAddress/宛先MACAddress/自分のMACAddress/前のAPのMACAddress
1: switch S do
2:   case 親端末モード
3:     switch イベント do
4:       case REQメッセージ受信
5:         if 子端末に宛先がいる
6:           RESメッセージ送信
7:         else
8:           if 子端末が他 AP に接続できる
9:             子端末に RESメッセージ送信
10:        case RESメッセージ受信
11:          ルーティングテーブルに登録
12:          次の子端末に転送
13:        case P2Pの経路確保開始
14:          if 子端末に宛先がいる
15:            RESメッセージ送信
16:          else
17:            if 子端末が他 AP に接続できる
18:              子端末に RESメッセージ送信
19:   case 子端末モード
20:     switch イベント do
21:       case REQメッセージ受信
22:         REQメッセージを転送
23:       case RESメッセージ受信
24:         RESメッセージを転送
25:       case P2Pの経路確保開始
26:         親端末に REQメッセージ送信
    
```

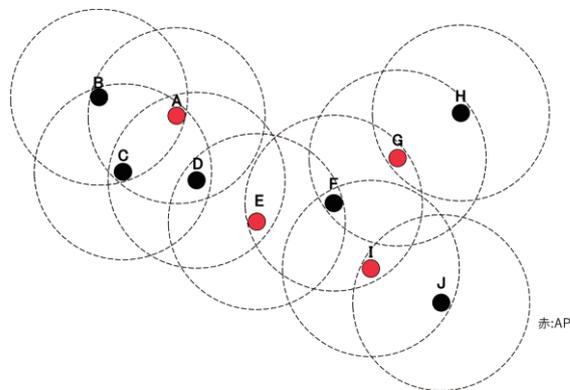


Fig. 2 Configuration Example of Proposed MANET

までどのノードを経由し転送してもらうかなどのルーティングを行う必要がある。通信経路を確立するアルゴリズムは Alg. 4 に従う。

ルーティングテーブルは親端末のみ持ち, パケットを受け取った場合には自分の子端末リストを参照し, 宛先が入ればパケットを送信, いなければルーティングテーブルを参照してパケットの転送を行う。

ノード B からノード J にパケットを送信する際のルーティングテーブルは Fig. 3 のようになる。この経路確保はパケットを送信する前に行われる。

このように提案するアルゴリズムにより P2P のデータの送受信が可能となる。

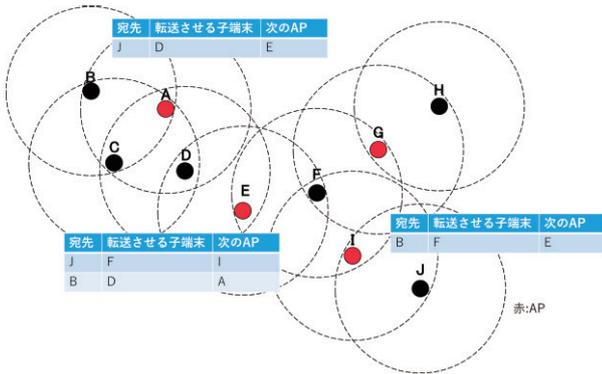


Fig. 3 P2P of from node B to node J

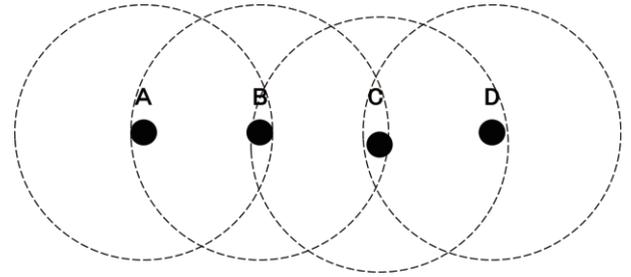


Fig. 4 Placement of Nodes during Experiment

認した.

## 4. 実験

### 4.1 実験環境・条件

実験端末には AXON MINI を用いた. 実験端末は Fig. 4 のように配置した. これらの端末は Wi-Fi と Bluetooth のデバイスの両方とも発見できる配置であった.

### 4.2 Wi-Fi と Bluetooth の通信距離

本提案手法は Wi-Fi と Bluetooth の通信可能距離がほぼ同じことを前提としているので, この 2 つがそれぞれ何 m 程度リンクを張ることが出来るのか調査した.

調査の結果, Wi-Fi の検知可能距離は 80m で, 接続しながら通信可能な距離を計測した結果, 約 90m 通信可能であることを確認した. また Bluetooth の検知可能距離は約 80m で, 接続しながら通信可能な距離を計測した結果, 約 120m 通信可能であった. 以上の結果から Wi-Fi 接続できる場合には, Bluetooth でも通信可能である.

### 4.3 ネットワーク構築の確認

提案手法がどの順番に端末が起動してもネットワークを構成することができるか確かめる. 確認するパターンは計 12 パターンである. 実験の結果, 全てのパターンで理想どおりのネットワークが構築された. 起動したタイミングによって AP となる端末が隣接することがあるが, その際にはお互いに Bluetooth の通信を行うことでどちらか一方のみ AP から子端末に変化を確認することができた.

### 4.4 データ送受信の確認

次に提案したアルゴリズムにより P2P の通信が出来るかを確認する. 確認したときの端末の状態はノード B とノード D が親端末モードであった. 送信元の端末は A で受信元の端末は D の場合, パケットは B と C を経由し通信を行うことができた. 端末 A がパケットを送信するときに端末 C が端末 B に接続している場合としていない場合のどちらとも適切に AP 端末へのリンクを切り替えて転送することができることを確

## 5. おわりに

本研究は, シミュレーションではなく実環境で動くことを想定として, ノードに特殊な細工をせずに MANET を構築することを目的とした. その際にノードの移動や端末の常時接続できる数に限りがあるという問題がある. 本提案手法は常時接続及びデータのやり取りに Wi-Fi ネットワークを使用し, それらのネットワークの制御に Bluetooth を使用することによりそれらの問題を解決した. 実端末に提案手法を実装しネットワークの構築やデータの送受信などを行い, その有効性を確認した.

課題としてルーティングの最適化などがあげれる.

## 参考文献

- 1) Bekmezci, Ilker, Ozgur Koray Sahingoz, and Şamil Temel. "Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey." *Ad Hoc Networks* 11.3, pp.1254-1270, 2013.
- 2) 等々力宏之, 高見一正. "MANET におけるマルチメディア通信のための電池残量を考慮したルーティング方式と評価." 電子情報通信学会技術研究報告. LOIS, ライフインテリジェンスとオフィス情報システム, pp. 113-118, 2014.
- 3) Perkins, Charles, Elizabeth Belding-Royer, and Samir Das. *Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing*. No. RFC 3561. 2003.
- 4) Clausen, Thomas, and Philippe Jacquet. *Optimized link state routing protocol (OLSR)*. No. RFC 3626. 2003.
- 5) 藪崎光, 坪川宏. "Android を用いた Bluetooth MANET による同報通信の提案." 情報処理学会第 75 回全国大会 5 (2013), 2013
- 6) 菊地香里, 大田知行, 角田良明. "Bluetooth MANET を用いた P2P オーバレイネットワークとクラスタリングの実装 (知的環境とセンサネットワーク)." 電子情報通信学会技術研究報告= IEICE technical report: 信学技報 113.38 (2013): 125-127, 2013.