

# 孤立 LAN からの HTTP 通信による インターネット接続のための MANET 中継方式

清水正明<sup>†</sup> 等々力宏之<sup>†</sup> 高見一正<sup>†</sup>

近年, 固定インフラを必要とせず, 移動端末同士の直接通信により, 一時的に自律型のネットワークを構成するモバイル・アドホック・ネットワーク(Mobile Ad-hoc Network : MANET)が注目されており, 災害時などへの応用方法や, MANET とインターネットとの相互接続に関する検討も行われている. 本稿では, 災害時の広域ネットワーク障害, 等によりインターネットに接続不能な状態に陥った LAN(以下, 孤立 LAN)を, MANET を経由してインターネットに接続するための所要機能について検討した. 具体的には, 孤立 LAN とインターネット接続点に MANET 経由機能を具備したアクセスポイント(Access Point : AP)を配置し, MAC アドレスルーティング, MAC/IP アドレス変換, AP 間フロー制御の各機能を提案した. また, MANET エミュレータに提案機能を実装して HTTP 通信により提案機能の有効性を評価した.

## MANET Routing Scheme for Establishing a Connection from an Isolated LAN to the Internet Using HTTP Communication

MASAAKI SHIMIZU<sup>†</sup> HIROYUKI TODOROKI<sup>†</sup> KAZUMASA TAKAMI<sup>†</sup>

### 1. はじめに

近年, 無線通信の高速化, 無線 LAN-アクセスポイント(Access Point : AP)の増加, 携帯通信機器の高性能化・小型化により, 社会の情報通信技術(Information and Communication Technology : ICT)への依存度は, ますます高くなっており, ICT が私達の生活にとって必要不可欠なものとなっている. しかし, 東日本大震災では, 通信に必要な電気や通信インフラ, さらには防災無線設備までもが利用できなくなり, 約2日間の通信断絶が発生した. そのため, 人々は必要な情報を得ることができず, Google が行ったパーソンファインダー[1]などの取り組みも, ネットワークが機能していない地域では, 手作業による活動が行われた. わずか2日間ほどで復旧したものの, 2日間の通信断絶による影響はとて大きいと考えられる[2].

一方, 固定的な通信インフラを必要とせず, 移動端末同士の直接通信によりネットワークを自律的に構成できるモバイル・アドホック・ネットワーク(Mobile Ad-hoc Network : MANET) [3]-[8] に関する検討が, ルーティングプロトコルをはじめ, 様々なアプローチから進められている[9]-[12].

本稿では, 地震等の自然災害において, 広域ネットワークを構成するコアルータ, アクセスルータ, サーバ, 無線基地局の予備電力切れ又は中継・アクセス回線破断により, 全壊を免れた施設内に構築されている企業, 大学等の LAN (以下, 孤立 LAN) 内のノードが, MANET 経由でインターネットに接続するための所要機能を検討する. 特に, 災害直後のため, 使用可能な電力が残り少ないこと, 輻輳の

発生しやすい状況であることを考慮した接続方式を提案する. 具体的には, 孤立 LAN とインターネット接続点に MANET 経由機能を具備した AP を配置する. また, MANET において, 制御メッセージのフラッディングを抑制できる MAC アドレスルーティングと MAC/IP アドレス変換法及び MANET 内の転送品質の改善と輻輳の発生を抑制するための AP 間フロー制御法を示す. 2 章では, 提案システムの概要と, 各機能の詳細を説明する. 3 章では, MANET エミュレータに実装した評価システムの詳細を説明し, 4 章で, 評価条件と試作システムによる提案方式の評価を示す. 5 章では, まとめと今後の課題を述べる.

### 2. 孤立 LAN インターネット接続方式

MANET では各端末が一意的なアドレスを持つ必要があるため, アドレス割当が必要となるが, 従来方法[13][14]では, アドレスの割当や重複の確認に必要な制御メッセージのフラッディングを多用するため, ネットワークを構成する端末に負荷がかかり, 余分に電力を消費してしまう. そのため, アドレス割当の際にネットワーク構成端末に負荷がかからない方法が必要である. さらに, 異種ネットワークを接続するためにはアドレスの相互変換, また, MANET 内の転送品質を改善し, 輻輳の発生を抑制するために, MANET 内のフローを制御する必要がある. 尚, 孤立 LAN とインターネットに接続可能な LAN はそれぞれ無線 LAN-AP を設置しており, LAN 内の端末と AP は優先接続されていることを想定する.

本稿では, 端末やネットワークへの負荷を軽減するために, MANET 内のルーティングを, IP アドレスではなく

<sup>†</sup>創価大学大学院 工学研究科情報システム工学専攻  
Graduate School of Engineering, Soka University

MACアドレスを用いることとする。MACアドレスは端末に一意に割り振られたアドレスであり、アドレス割当てと重複アドレス確認が不要となるため、負荷が軽減できる。また、各ネットワーク間には無線 LAN-AP が配置されているため、AP にアドレス変換機能を持たせることで、異種ネットワーク間のアドレスの互換性の問題を解決できる。また、MANET を挟むようにして AP が存在するため、AP 間にフロー制御機能を持たせることで、MANET 内の転送品質の改善、輻輳制御が可能となる。図 1 は提案方式の概要である。以下で各機能の詳細を述べる。

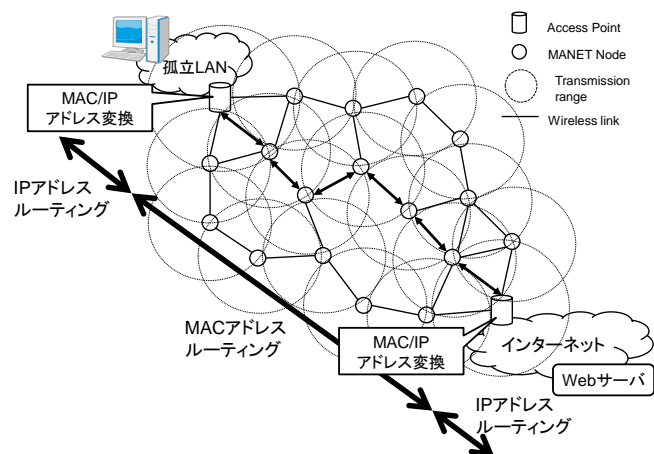


図 1 孤立 LAN インターネット接続方式

Figure 1 Proposed network configuration for the connection of the isolated LAN to the Internet.

## 2.1 MAC アドレスルーティング

IP アドレスルーティングを前提としている AODV[15]を、MAC アドレスルーティング用に改良する。アドレス長は、IPv4 : 4Byte, IPv6 : 16Bytes, MAC : 6Byte である。図 2 のように、AODV 経路要求 (RREQ) メッセージと重複アドレス検出 (DAD)メッセージのフィールド長を比較すると、MAC アドレスと IPv6 の場合、そのアドレス長の差による RREQ の拡張 (図 3) が必要であるが、IP アドレスの場合に必要な DAD メッセージが MAC アドレス方式では必要なくなるため、総合的には MAC アドレス方式が最も小さくなる。RREQ メッセージも DAD メッセージもフラグディングを繰り返し拡散していくことを考えると、MAC アドレスを用いたほうが、ネットワークの負荷は軽減されると期待される。

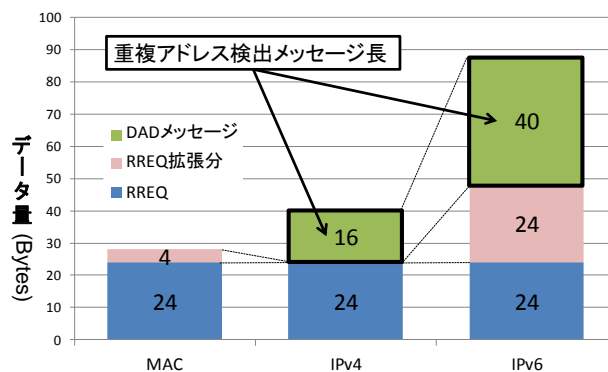


図 2 各メッセージ内のアドレス長比較

Figure 2 Comparison of address lengths of different messages.

Type(8)	Flag (5)	Reserved (11)	Hop Count(8)
RREQ ID(32)			
RREQ ID(32)			
Destination IP Address(32)		Destination MAC Address(48)	
Destination Sequence Number(32)		Destination Sequence Number(32)	
Originator IP Address(32)		Originator MAC Address(48)	
Originator Sequence Number(32)		Originator Sequence Number(32)	

RREQメッセージ

拡張RREQメッセージ

図 3 RREQ メッセージ拡張例

Figure 3 Example of an extended RREQ message.

## 2.2 アクセスポイント(AP)におけるアドレス変換

異種ネットワーク同士を接続、また、MANET 内ルーティングを MAC アドレスで行うため、NAPT[16]をもとに、AP において、アドレスの相互変換を行う。ここで、孤立 LAN 側の AP を「APo」、インターネット側の AP を「APd」とする。アドレス変換に当たって、受信パケットが次にどの処理を必要とするのかを判断するため、AP が収容している有線と無線の各回線識別情報と、パケットヘッダに「Conversion Flag」を追加して、実現した。APo - APd 間で、経路構築が完了した後の、処理の流れは以下のとおりである。

Step1: パケットを受け取った APo, または APd は、受信回線情報と Conversion Flag により次の処理を判定する。

- IF ( 有線, Conversion Flag = 0 ) Then: Step2 へ
- IF ( 無線, Conversion Flag = 1 ) Then: Step3 へ
- IF ( 有線, Conversion Flag = 1 ) Then: Step4 へ
- IF ( 無線, Conversion Flag = 0 ) Then: Step5 へ

Step2: 受信パケットに MANET 内の MAC アドレスルーティング用ヘッダを追加し, 送信元は APo, 宛先は APd とし, フラグを変換して Step6 へ.

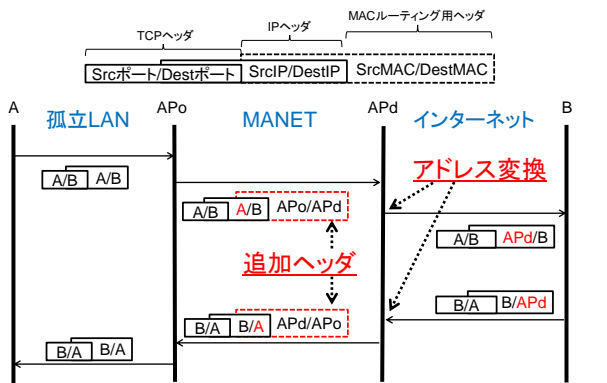
Step3: パケットを受け取った APd は, MAC アドレスルーティング用ヘッダを取り除き, 送信元ポート番号と送信元 IP アドレスを自分の使用するグローバル IP アドレスと別のポート番号に変換, テーブルに記録し Step6 へ.

Step4: Web サーバから返ってきたパケットを受け取った APd は変換テーブルをもとに, 変換したポート番号とアドレスを元に戻し, 再び MAC アドレスルーティング用ヘッダ を追加し, 送信元は APd, 宛先は APo とし, フラグを変換して Step6 へ.

Step5: パケットを受け取った APo は, MAC アドレスルーティング用ヘッダを取り除いて Step6 へ.

Step6: 編集したパケットを送信する.

図 4 に提案したアドレス変換のシーケンス例を示す.



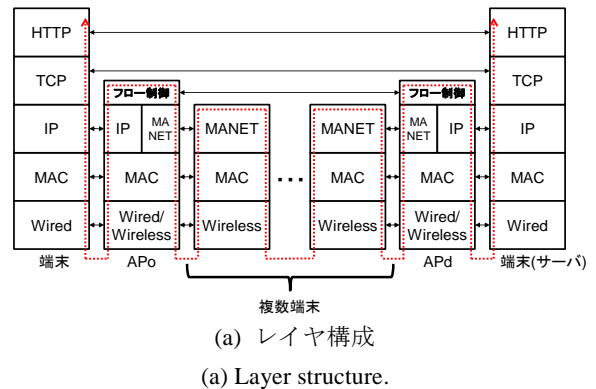
※ A : 孤立 LAN 内端末  
B : インターネットサーバ  
図 4 アドレス変換シーケンス例

Figure 4 Example of address conversion sequence.

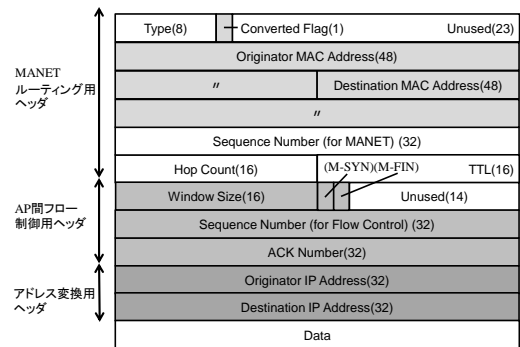
### 2.3 アクセスポイント間における MANET 内フロー制御

MANET の欠点として, 端末の移動によるトポロジの変化, 無線リンクの切断, 干渉や障害物などの影響によるセグメント損失が頻発することが挙げられる. ルーティングプロトコルなどで, リンク切断時にすぐに代替経路を構築する検討などは行われているが, セグメント損失が完全になくなることはないと考えられるため, MANET 区間でのフロー制御や再送制御により, 転送品質を向上させる必要がある. TCP[17]のようなデータ転送レート制御や再送制御の機能を, MANET を挟む AP に配備し, 当該区間の品質

を改善することが end to end の転送品質の向上につながる. 想定環境において HTTP 通信を行う場合, 通信する端末間の下位プロトコルは TCP 通信が標準である. しかし, TCP ではセグメント損失を利用して輻輳を検知し, ウィンドウサイズを縮小して転送レートを下げることで輻輳回避を行う. そのため, MANET において, 従来の TCP や輻輳アルゴリズムを使用すると, 輻輳に起因しないセグメント損失も輻輳によるものと誤認してしまう[18]-[22]. その結果, 必要以上にウィンドウサイズを縮小してしまい, 経路上の帯域に余裕がある状態であっても, 無線資源が十分に活用されない場合がある. また, 再送セグメントやコントロールセグメントなどのオーバヘッドセグメントが, ネットワーク資源の乏しい MANET ではネットワーク負荷となる. そこで, AP 間で MANET に適応した制御を行わせるため, AP のネットワーク層の上に各制御を行うための新たなレイヤを追加する. 図 5-(a)に通信を行う端末と AP, MANET 内の端末それぞれのレイヤ構成, 図 5-(b)に, 制御に使用するパケットのフォーマット例を示す. 網かけ部分が拡張部である. M-SYN フラグと M-FIN フラグは AP 間でのフロー制御のための接続の設定・解除, フロー制御パラメータのネゴシエーションとリセットに使用する.



(a) Layer structure.



(b) AP 間パケットフォーマット例

(b) Example of the format of a packet sent between APs.

図 5 AP 間フロー制御方式

Figure 5 Inter-AP flow control method.

### 3. 評価システム試作

2章で提案した MAC アドレスルーティングとアドレス変換の各機能を, MANET エミュレータ[23][24]に実装して評価システムを PC 上に構築した. 実装に用いた OS は Windows7 である.

1 台の PC 上でブラウザと MANET エミュレータを動作させ, 研究室ホームページ(HP)のある Web サーバに, ブラウザから MANET エミュレータを通して通信させた. ただし, MANET のトランスポート層プロトコルはノード移動によるリンク断とパス再接続が頻発するネットワーク層の特性を考慮して, MANET エミュレータ上では, トランスポート層プロトコルに UDP を使用した. 尚, 2.2 節のアドレス変換処理では, 有線と無線の回線を擬似して, 場合分けの処理をプログラムに直接記述し行った. また, 2.3 節の AP 間フロー制御機能は方式の提案のみで, 実装は行っていない. 図 6 に試作システムのソフトウェア構成を示す.

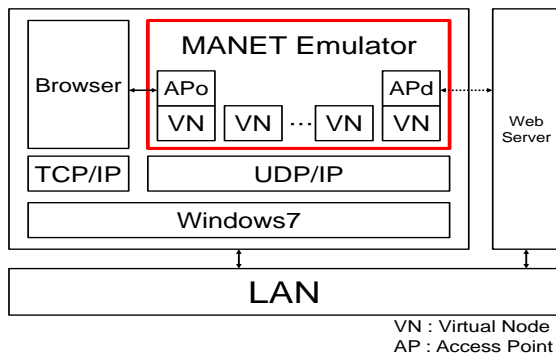


図 6 試作システムソフトウェア構成

Figure 6 Software structure of the developed system.

MANET エミュレータのモニタを使用することで, 仮想 MANET 端末(VN)の移動の様子, 通信状態などを描画することが出来る. それぞれの端末には, ランダムで作成した仮想 MAC アドレス(vMAC)を割り当てる. 図 7 は実際のエミュレータのモニタ画面である. 黒点は VN を表しており, 各 VN の下にはそれぞれに割り振られた vMAC が表示され, 個々のノードを判別することが出来る. 四角枠で囲まれた端末は送信端末と受信端末を表し, 2 台の AP を示す. 通信可能な状態にある VN 間は線分で結ばれる. 通信可能な状態であるが通信が行われていないリンクは細線で表示され, 実際に通信が行われているリンクは太線で表示される.

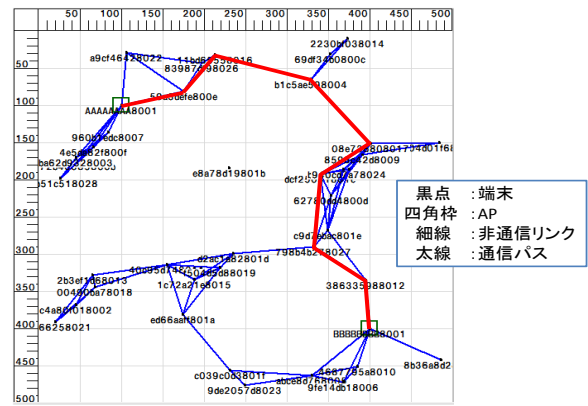


図 7 MANET エミュレータ画面例

Figure 7 Example chart displayed on a MANET emulator window.

インターネットを利用する際に最も使用される HTTP 通信が, 災害などの緊急時にでも通常と同じように使用できることを想定し, 試作システムには HTTP 通信を実装することとした. 既存のエミュレータでは, プロトコル階層の異なる経路構築処理と HTTP メッセージや HTML データの処理を同一のスレッドで処理している. しかし, ブラウザから HTTP メッセージを受け取った AP が, 経路構築完了後, 再び HTTP メッセージを送る際, 溜まった RREQ・RREP メッセージを処理する間に経路のタイムアウトが発生してしまい, HTTP メッセージ送信時には経路が切れてしまう[25][26]. その現象を防ぐために, 新たにスレッドを作り, 既存スレッドには主に経路構築の処理を, 追加スレッドには主に Web サーバとのデータの送受信を行わせ, 処理を分けることで処理が滞らずに HTTP メッセージを送信させるようにした. 図 8 に新たなスレッドを追加したシーケンス図を示す.

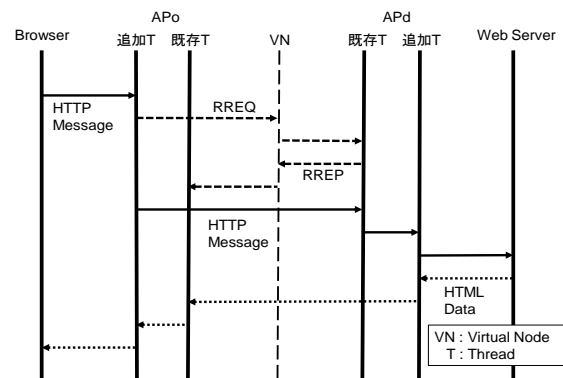


図 8 スレッド追加後シーケンス例

Figure 8 Example sequence after the thread is added.

## 4. 評価

### 4.1 HTTP 通信による計測評価

HTTP メッセージを送信してから HTML データを受信するまでにかかる時間を遅延時間、その遅延時間の中でも、経路設定にかかる時間を経路設定時間と定義する。図 9 に示すように、HTTP メッセージ送信時間( $t_1$ )、RREQ 送信時間( $t_2$ )、RREP 受信時間( $t_3$ )、最後の HTML データ受信時間( $t_4$ )をコマンドプロンプト上で表示させた。遅延時間は  $t_4 - t_1$ 、経路設定時間は  $t_3 - t_2$  として算出した。尚、ブラウザから AP へ HTTP メッセージを転送する時間と AP からブラウザへ HTML データを転送する時間はほとんど無視できる時間と考え、全てを AP 上で計測した。各実験結果をそれぞれ 4.2 節と 4.3 節に示す。

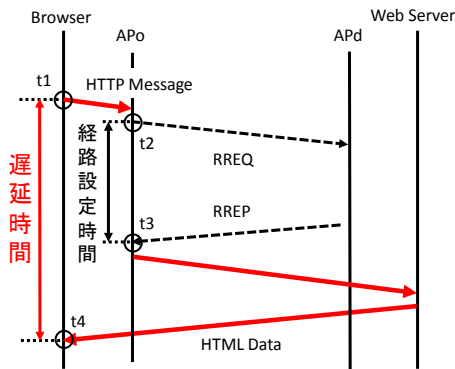


図 9 測定項目定義

Figure 9 Definitions of measured items.

### 4.2 HTTP 通信の遅延時間と表示確率

MANET エミュレータにおいて、ブラウザから研究室 HP へアクセスし、HTTP 通信を試行した。MANET 内の端末を 20 台、40 台、60 台、80 台、100 台と増やしていき、各台数で 20 回ずつ遅延時間と経路設定時間を計測し、台数ごとにその平均である、平均遅延時間と平均経路設定時間を算出した。計測条件の詳細を表 1 に示す。端末の移動速度は、歩行者、もしくは自転車を想定し、0~3 m/s に設定した。無線リンク遅延は、機種よりの違いを考慮し、1~10 msec の範囲でランダムに VN に設定した。平均経路設定時間、平均遅延時間、表示確率をグラフ化したものを図 10 に示す。ただし、平均遅延時間中の平均経路設定時間には濃い色をつけた。表示確率は 20 回中、テキストのみの HP が完全に表示された場合のみをカウントし算出した。

「インターネット上の Web ページはユーザがその URL を訪れてから 8 秒以内に表示されなければならない」という Web 構築の際の経験則である、8 秒ルールがある。現在は高速回線の普及により 3 秒ルールとも言われている。それをもとに、平均遅延時間は 3 秒以下、表示確率は 80% 以上の時に、試作システムが有効であるとする。

表 1 HTTP 通信計測条件

Table 1 Measurement Conditions for HTTP Communication.

項目	設定
実行回数	20 回
フィールドサイズ	500m × 500m
端末数	20 ~ 100 台
端末配置	ランダム
モビリティモデル	Random Waypoint
電波伝搬範囲	半径 100 m
無線リンク遅延 (ms)	1 ~ 10
端末移動速度 (m/s)	0 ~ 3
ルーティングプロトコル	AODV
ホームページサイズ(Byte)	5644
パケットサイズ (Byte)	1024

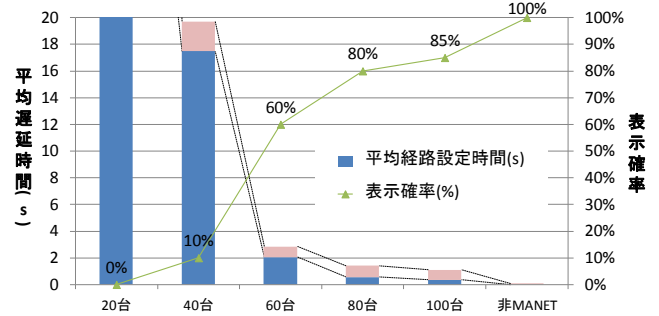


図 10 HTTP 通信計測結果

Figure 10 Results of measurement for HTTP communication.

試作システムでは、端末が増えるほど HP の表示確率が上がり、経路構築にかかる時間も少なくなった。実験結果より、試作システムは、端末数 60~100 台の時に有効であることが示された。密度に着目すると、日本の人口密度は、北海道で最小の 70 人/km<sup>2</sup>、東京都で最大の 6017 人/km<sup>2</sup>であり、日本の平均は 343 人/km<sup>2</sup>であるが[27]、60~100 台を密度で表すと 240~400 人/km<sup>2</sup>であり、現実的な台数である。

100 台よりも端末を増やしていった場合に、複数の通信要求が発生した場合などについても実験してみる必要がある。また、経路構築に時間がかかったり、経路が頻繁に壊れてしまったりすると、全くホームページが表示されないという現象が起こるため、通信要求からある程度時間がたったあとでも通信要求を再送する仕組みや、データを一時保持しておく仕組みなどが必要である。このことから、やはり MANET 内の再送制御が必要であることが分かる。加えて、端末が多い時に、フラッディングを効率よく行う仕組みも必要である。

### 4.3 MAC アドレスルーティング

4.2 節で行った実験で、80 台の場合において、「MAC アドレスルーティング」「IPv4 アドレスルーティング(DAD なし)」「IPv4 アドレスルーティング(DAD あり)」の3通りについて同様の実験を行い、20 回試行したうちの平均遅延時間と表示確率を比較した。MANET エミュレータには、DAD の機能を実装できていないため、MANET に 5 台の端末が参加したと想定し、端末の中からランダムで 5 台を選び、DAD メッセージと同じ大きさの疑似 DAD メッセージ(16Bytes)をフラッディングさせ、ネットワークに疑似的に負荷をかけた状態で実験を行った。ただし、各端末上での DAD 処理と重複した際の通知処理は考慮していないため、実際はこれよりも多少ネットワークの負荷や端末の負担は大きくなると考えられる。計測条件の詳細を表 2 に示し、各方式の平均遅延時間と表示確率をグラフ化したものを、図 11 に示す。

表 2 MAC ルーティング計測条件

Table 2 Measurement Conditions for MAC Routing.

項目	設定
実行回数	20 回
フィールドサイズ	500m × 500m
端末数	80 台
端末配置	ランダム
モビリティモデル	Random Waypoint
電波伝搬範囲	半径 100 m
無線リンク遅延 (ms)	1 ~ 10
端末移動速度 (m/s)	0 ~ 3
ルーティングプロトコル	AODV
ホームページサイズ(Byte)	5644
パケットサイズ (Byte)	1024
疑似 DAD メッセージ長 (Byte)	16

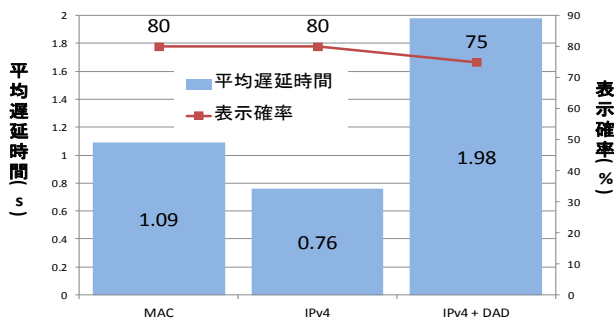


図 11 アドレス方式毎の遅延時間と表示確率

Figure 11 Average delay time and display probability of each routing method.

MAC アドレスルーティングと IPv4 アドレスルーティングの平均遅延時間を比較すると、MAC アドレス方式の方が、遅延が 0.3 秒程度大きくなっている。これは、MANET 内で用いる各メッセージ長が MAC アドレスによって大きくなり、その分、端末処理の負荷が大きくなったためである。IPv4(DAD なし)と IPv4(DAD あり)を比較すると、DAD ありの方で 1 秒以上遅延が大きくなっている。これは、16Bytes の DAD メッセージがネットワーク全体に 5 台の送信元からフラッディングが行われ、ネットワークに負荷がかかったためだと考えた。IPv4 を用いる場合、ほとんどの場合 DAD を用いる必要があるが、MAC アドレスを用いれば DAD の必要はなくなる。MAC アドレスと IPv4(DAD あり)を比較すると、約 1 秒の差がみられ、DAD メッセージによるネットワーク負荷を避けることができ、動的な実験からも MAC アドレスルーティングの有効性を示すことができた。

### 5. おわりに

本稿では、災害時の、広域ネットワークの障害等によってできた孤立 LAN を、MANET を経由してインターネットに接続するための所要機能「MAC アドレスルーティング」「MAC/IP アドレス変換」「AP 間フロー制御」について検討した。MANET 内のアドレス割り当てにおいて、IP アドレスには適用されている重複アドレス確認の処理を必要としない、MAC アドレスによるルーティングを提案した。MAC アドレスルーティングの方が、ネットワーク負荷が少なく、遅延時間が少なくなることを示した。また、AP にアドレス変換の機能を持たせることを提案し、MANET エミュレータに MAC アドレスルーティングとともに実装して評価システムを試作した。また、試作システムにおいて、HTTP 通信により動作の正常性と有効性の確認を行った。

今後の課題として、MANET エミュレータに重複アドレス確認処理の実装、複数の端末間通信が同時に行われることを想定した動的なアドレス変換処理の実装を行う必要がある。また、AP 間フロー制御プロトコルの詳細化と実装・評価、端末の電池残量を考慮した評価が必要である。

**謝辞** MANET エミュレータを利用した本研究の評価システムの試作では、神子島俊昭君に協力いただき、感謝します。

### 参考文献

- 1) Google.org: Google Crisis Response (2013/5/13). [http://www.google.org/crisisresponse/kiroku311/chapter\\_05.html](http://www.google.org/crisisresponse/kiroku311/chapter_05.html)
- 2) 総務省:東日本大震災における情報通信の状況 (2013/5/13). <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h23/pdf/n0010000.pdf>
- 3) 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, IEICE Vol.84, No.2, pp.127-134 (2001).

- 4) 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司: 次世代アドホックネットワークの動向と課題 ユニバーサル・アドホックネットワークの提案, IEICE, 特別講演 (2000).
- 5) 蓮池和夫, S. Bandyopadhyay, 植田哲郎: アドホックネットワークの技術的課題,” IEICE Vol.J85-B, No.12, pp.2007-2014 (2002).
- 6) 間瀬憲一, 大和田泰伯, 前野誉: MANET のインターネット接続方式,” IEICE, Vol.J90-B, No.4, pp.361-369 (2007).
- 7) S. Corson and J. Macker: Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations, IETF, RFC2501 (1999).
- 8) T.Clausen, C.Dearlove, J.Dean, and C.Adjih: Generalized Mobile Ad Hoc Network (MANET) Packet/Message Format,” IETF, RFC5444 (2009).
- 9) Seyoung Lim and Myungsik Yoo: An Efficient Routing Protocol for the Hybrid Wireless Network, IPSF SIG Technical Report, pp.149-145 (2005).
- 10) 竹内麻利央, 河野英太郎, 大田知行, 角田良明: モバイルアドホックネットワークにおける局所的に分割された往復パスを用いたルーティング, IEICE, Vol.J93-B, No.4, pp.598-613 (2010).
- 11) 内藤壮司, スリシラジマハダド, 美濃導彦: アドホックネットワークにおける信頼性を保証するプロトコルに向けたマルチルート通信機構, Vol.J89-B, No.6, pp.873-886 (2006).
- 12) 笠松大佑, 篠宮紀彦, 太田理: MANET における距離と電池を考慮したブロードキャスト手法, Vol.J91-B, No.4, pp.364-372 (2008).
- 13) S. Nesargi and R. Prakash: MANETconf. Configuration of hosts in a mobile ad hoc network, INFOCOM (2002).
- 14) J. Jeong, J. Park, H. Kim, and D. Kim: Ad Hoc IP Address Autoconfiguration for AODV, IETF, Internet Draft (2004).
- 15) C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das: Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, IETF, RFC3561 (2003).
- 16) P. Srisuresh and M. Holdrege: IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations, IETF, RFC2663 (1999).
- 17) J. Postel: Transmission Control Protocol, IETF, RFC793 (1981).
- 18) 山本嶺, 三好匠, 田中良明: アドホックネットワークにおける往復遅延時間を用いた適応型トランスポートプロトコル, IEICE, Vol.J93-B, No.5, pp.735-746 (2010).
- 19) 花崎翔太, 小畑博靖, 石田賢治: アドホックネットワークにおける TCP のスループット向上を目指したホップ数分割方式, IEICE, Vol.J91-B, No.1, pp.118-122 (2008).
- 20) 山本祐太, 伊藤暢彦, 山本幹: タンデム型アドホックネットワークにおけるプロキシ型 TCP の性能改善, Vol.J93-B, No.2, pp.191-200 (2010).
- 21) G. Holland and N. Vaidya: Analysis of TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks, Kluwer Academic Publishers, Wireless Networks 8, pp.275-288 (2002).
- 22) 幸太一, 山本貴之, 菅野正嗣, 他: アドホックネットワークにおける TCP 性能向上手法に関する一考察, IEICE, Vol.J85-B, No.12, pp.2045-2053 (2002).
- 23) Daisuke Kasamatsu and Norihiko Shinomiya: Implementation and Evaluation of Emulator for Testing Service Programs in MANET, IEEE, pp.496-501 (2010).
- 24) 笠松大佑, 河田広次, 岡田大樹, 篠宮紀彦, 太田理: アドホックネットワークサービスプログラムの試験用エミュレータ, IEICE, Vol.J92-B, No.4, pp.667-677 (2009).
- 25) T. Kagoshima, D. Kasamatsu, and K. Takami: Architecture and Emulator in Ad Hoc Network for Providing P2P Type SIP\_VoIP Services, in proceedings of TENCON (2011).
- 26) H. Todoroki, T. Kagoshima, D. Kasamatsu, and K. Takami: Implementation of a Peer-to-Peer-type SIP Client Application on a MANET Emulator, in proceedings of TENCON (2012).
- 27) 総務省: 平成 22 年国勢調査 (2013/5/13).  
<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/kihon1/pdf/gaiyou1.pdf>