

広域無線 LAN メッシュネットワーク構成技術の研究

山本 尚生 東京都市大学知識工学部教授

1 はじめに

MANET (Mobile-Adhoc NETwork) 技術をベースとして構成される無線メッシュネットワークは、「自己組織的に無線マルチホップに基づく相互接続性を保証するノード群から成るネットワーク」であり、大掛かりなインフラ設備を必要としない基本構造で自律分散型の制御機構を持つ。アクセス網/中継網分離型の集中管理を基本とした従来のセルラー型のモバイルネットワークとは全く異なるアーキテクチャであり、その柔軟な拡張性と高い経済性から、将来のユビキタスネットワーク環境を構成する技術として期待されている。現時点の標準化仕様では、その可能な規模はまだ比較的小さく、適用領域も限定的であるが、その拡張性、経済性を考慮すると従来の LAN 技術が WAN, MAN へと枠を超えて発展したこと以上に、広域エリアをカバーする公衆ネットワークへと発展する大きな可能性を秘めている。

この発展形態として期待される面的な拡大を実現するためには、制御方式におけるスケーラビリティの確保と、トラヒックのふくそう制御が重要な課題となる。本研究では、無線メッシュネットワークの広域適用に向けて次の3つの課題、すなわち、

- [1] 移動端末の位置管理と経路構築制御におけるスケーラビリティの確保
- [2] ノード間無線干渉を考慮した迂回ルーティングによるトラヒックふくそうの制御法
- [3] QoS およびリソース効率を維持するためのバイパス網適用法

に関する新しい技術提案とその検証を行った。以下概要を説明する。

2 移動端末 (STA) 位置管理と経路構築に関するスケーラビリティのある制御法の検討

2-1 検討の背景

無線メッシュネットワークでは、メッシュノード (MN: mesh node) が面的に展開され、多数の移動するユーザ端末 (STA) が存在する環境が想定される。STA の所属する MAP (Mesh Access Point) の探索を伴う STA 間経路構築が重要な課題となる。特に現状の標準化技術による適用領域を超える大規模なネットワークを考えた場合、STA 数及びその制御量におけるスケーラビリティの確保が重要な課題となる。これまでに主にハイブリッド型の HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol) [2-1] とプロアクティブ型の RA-OLSR (Radio Aware Optimized Link State Routing) [2-2] [2-4] が検討されてきた。これらの STA 位置登録・探索方式は、以下の三方式に分類できる。

- ・フラッディングを用いてリアクティブに探索する方式 (HWMP)
- ・MN の中で各 MAP が全 STA 所属情報 (位置情報等) をプロアクティブに共有する方式 (RA-OLSRGAB 共有方式 [2-2] [2-3])
- ・外部ネットワークと接続するノード (MPP: Mesh Point collocated with a mesh Portal) に全 STA 所属情報を集約し、リアクティブに MPP に問い合わせる方式 (RA-OLSR-GAB 集中構築方式 [2-2] [2-3])

本検討では、大規模な無線メッシュネットワークの STA 位置登録・探索において、ハッシュ関数の分散特性を適用することでフラッディングを用いず、単一障害点を持たないスケーラビリティのある方式を提案し、既存方式との比較評価結果を報告する。

2-2 ハッシュ関数を利用した提案方式

ハッシュ関数を適用した STA 位置登録・探索方式 DSSS (Distributed STA Search Scheme using hash function) を提案する。以下、制御メッセージの転送方法が異なる U-DSSS (DSSS with Unicast) と MDSSS (DSSS with Multicast) の詳細なアルゴリズムを述べる。提案方式共通の前提条件を以下に示す。

- ・MN 間のルーティングは RA-OLSR に基づく。
- ・各 MN において共通のハッシュ関数を用いる。

(1) U-DSSS (DSSS with Unicast)

図 2-1 を用いて U-DSSS のアルゴリズムを説明する。まず各 MAP は、全 MN とハッシュ領域の対応表であ

る GHT(Global Hash Table) を構築する。

GHT の構築手順は以下のようになる。

1. 各 MAP は経路表を参照し、ハッシュ関数の領域をネットワーク内の全 MN の数で等分する。
2. 各 MAP は全 MN の MAC アドレスを昇順に並べ、等分したハッシュ領域を最小値が小さいものから対応付ける。

STA 所属情報の登録手順は以下のようになる。

1. 各 MAP は自身に所属している各 STA の MAC アドレスのハッシュ値 (以下、STA のハッシュ値) を計算する。
2. 各 MAP は GHT を参照し、その STA のハッシュ値の領域に対応する MN に、その STA の所属情報を含む STA 所属情報登録メッセージ(SPUT:Station PUT)をユニキャストし、受けとった MN は STA 所属情報を自身の GAB に登録する。

ハッシュ関数の一様性という特性によって、STA 所属情報は特定の MN に偏ることなく登録される。また、各 MAP は登録先が同一 MN である STA 所属情報を 1 つの SPUT にまとめて、定期的を送信する。STA 間の通信手順(経路構築)は以下のようになる。

1. STA から他の STA を宛先とする通信要求を受け取った MAP は、自身に宛先 STA が所属している場合、データフレームを宛先 STA に転送する。
2. 自身に宛先 STA が所属していない場合、自身の GAB に宛先 STA の所属情報が存在するかを確認し、存在する場合、その宛先 STA の所属 MAP に向けてデータフレームを転送する。
3. 自身の GAB に宛先 STA の所属情報が無い場合、宛先 STA のハッシュ値を計算し、GHT を参照して宛先 STA のハッシュ値を含むハッシュ領域に対応した MN に宛先 STA の探索要求(SREQ:Station Request)をユニキャストする。
4. SREQ を受信した MN は、宛先 STA の所属情報を含む探索応答(SREP:Station Reply)を SREQ 送信元 MAP へユニキャストする。
5. SREP を受信した MAP は、SREP に含まれる宛先 STA の所属情報を GAB に登録し、宛先 STA の所属 MAP への通信経路を確立する。

宛先 MAP において、STA の所属情報の更新タイムラグにより、自身に所属していない STA 宛のデータフレームを受信した場合の処理は以下のようになる。

1. データフレームの中の宛先 STA アドレスからハッシュ値を計算する。
2. GHT を参照し、宛先 STA のハッシュ値を含むハッシュ領域に対応した MN に探索エラー通知(SERR:Station Error)をユニキャストする。
3. SERR を受信した MN は、SERR 送信元 MAP とデータフレーム送信元 MAP に、宛先 STA の新しい所属情報を SREP に含めユニキャストする。

ハッシュ関数の一意性という特性によって、STA 所属情報を保持している MN を一意に知ることができるので、以上のプロセスにおいて制御メッセージの転送にフラディングを用いる必要がない。

(2) M-DSSS(DSSS with Multicast)

M-DSSS は、SPUT の送信方法及び処理のみ異なる。SPUT の送信に擬似的なマルチキャストを導入することで制御メッセージ量の削減を図る。SPUT 内に Multi フラグを導入し、Multi フラグが 0 なら UnicastSPUT(U-SPUT)、1 なら MulticastSPUT(M-SPUT)として扱う。M-SPUT には、登録先 MN の MAC アドレスとその MN に登録すべき STA 所属情報がリストで含まれている。M-DSSS における SPUT 送信手順を図 2-2 を用いて説明する。

まず、SPUT を送信する際に各送信元 MAP は以下のことを行なう。

1. 登録先 MN への NextHop が同じ複数の STA 所属情報を一つの SPUT にまとめる。
2. 登録先 MN が複数なら SPUT 内の Multi フラグを 1 に設定し、その NextHop を宛先とする M-SPUT を送信する。
3. 登録先 MN が一つなら SPUT 内の Multi フラグを 0 に設定し、その登録先 MN を宛先とする U-SPUT を

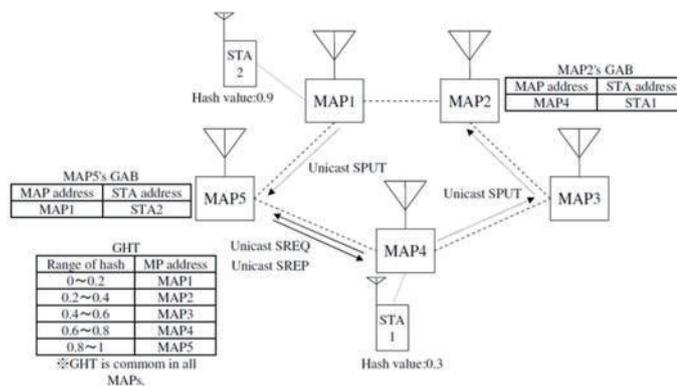


図2-1 U-SSUHにおける制御例

送信する。

次に SPUT を受信した MN は、その SPUT 内の Multi フラグを参照する。U-SPUT の場合は、SPUT 内の STA 所属情報を自身の GAB に登録する。MSPUT の場合には以下の処理を行う。

1. 自身の GAB に登録すべき STA 所属情報が M-SPUT 内に存在するならば、自身の GAB にその STA 所属情報を登録し、M-SPUT からその STA 所属情報を削除する。
2. 自身の経路表を参照し、M-SPUT 内にある STA 所属情報を登録先 MN への NextHop が同一のもの同士で再度まとめる。
3. 送信元 MAP が同じで NextHop が同一の STA 所属情報をまとめた結果、その中で登録先 MN が複数なら Multi フラグを 1 に設定し、NextHop を宛先とする M-SPUT を送信する。登録先 MN が一つなら Multi フラグを 0 に設定し、その登録先 MN を宛先とする U-SPUT を送信する。

これにより、登録先 MN ごとにユニキャストで SPUT を送信する場合よりも、各 MN での SPUT の転送回数を削減できる。

2-3 計算機シミュレーションによる評価

提案方式である U-DSSS, M-DSSS に加えて、既存方式である HWMP, RA-OLSR-GAB 共有方式 (RAOLSRGAB Shared Scheme : RGSS), RA-OLSRGAB 集中構築方式 (RA-OLSR GAB Centralized Scheme : RGCS) のモデルを作成して比較評価を行った。

総制御メッセージ量 (Total Amount of Control Message) と各 MAP 宛の制御メッセージ量 (Amount of Control Message for Each MAP) の二つの項

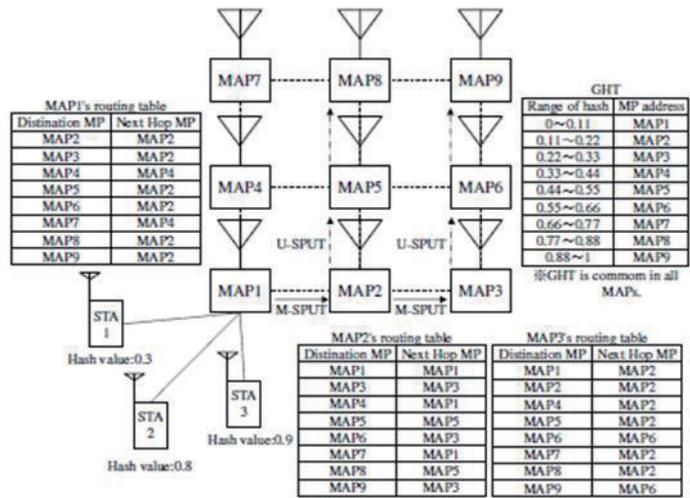


図2-2 M-SSUHにおけるSPUT転送例

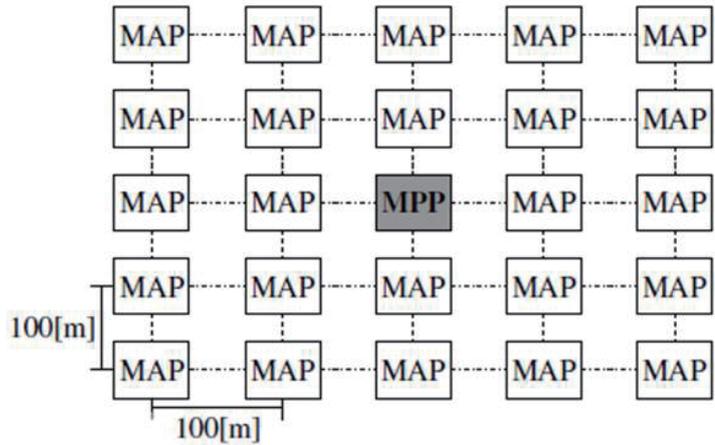


図2-3 評価に用いたネットワークモデル(MAP数25台)

表2-1 シミュレーション条件

シミュレーション時間	2000[s]
空間	400[m] × 400[m] ~1400[m] × 1400m
MPP 数	1
MAP 数	25~225
STA 数	250~9000(MAP 数 × 10~40)
MAP の配置	格子状
STA の配置	ランダム配置
STA の移動モデル	Random Waypoint Model
STA の移動速度	平均 1[m/s](正規分布)
Pause Time	0~200[s](一様分布)
STA の発呼間隔	平均 300[s](指数分布)
通信半径	100[m]
ハッシュ関数	SHA-1

表2-2 ルーティングパラメータ

DSSS	SPUT_INTERVAL	10[s]
RGSS & RGCS	LABA_INTERVAL	10[s]
RGSS & RGCS & DSSS	GAB_HOLD_TIME	30[s]
	HELLO_INTERVAL	2[s]
	TC_INTERVAL	15[s]
	TOP_HOLD_TIME	45[s]
HWMP	PROXY_HOLD_TIME	30[s]
	dot11MeshHWMPmaxPREQretries	3
	dot11MeshHWMPnetDiameterTraversalTime	800[ms]
	dot11MeshHWMPpreqMinInterval	100[ms]
	dot11MeshHWMPactivePathTimeout	45[s]
	dot11MeshHWMPPrannInterval	15[s]

目による評価を行った。シミュレーション条件を表 2-1 に示す。RA-OLSR と HWMP のルーティングパラメータを表 2-2 に示す。ルーティングパラメータは [2-1], [2-2] の値に従っている。SPUT INTERVAL は、提案方

式の U-DSSSS 及び MDSSSS における SPUT の送信間隔である。また、図 2-3 にモデルを示す。

(1) 評価結果

図 2-4 に総 STA 数を MAP 数 × 10 台とし、MAP 数を 225 台まで増加させた場合の総制御メッセージ量の推移を表す。MAP 数が増加した場合、RGSS, HWMP に比べて、U-DSSSS と M-DSSSS は総制御メッセージ量の増加が抑えられている。しかし、RGCS が最も総制御メッセージ量が少なく、増加率も低いことがわかる。MAP 数を 25 台に固定し、STA 数を増加させた場合の総制御メッセージ量も評価した。この場合、U-DSSSS は総制御メッセージ量の増加率が RGSS よりも高いが、M-DSSSS は擬似的なマルチキャストの導入効果により RGCS に次いで低い。HWMP は STA 数の増加に伴い、総制御メッセージ量が増えていることが分かった。よって、総制御メッセージ量においては、MAP 数・STA 数の増加において、集中構築方式である RGCS を除いて M-DSSSS が最も優れていることが分かる。

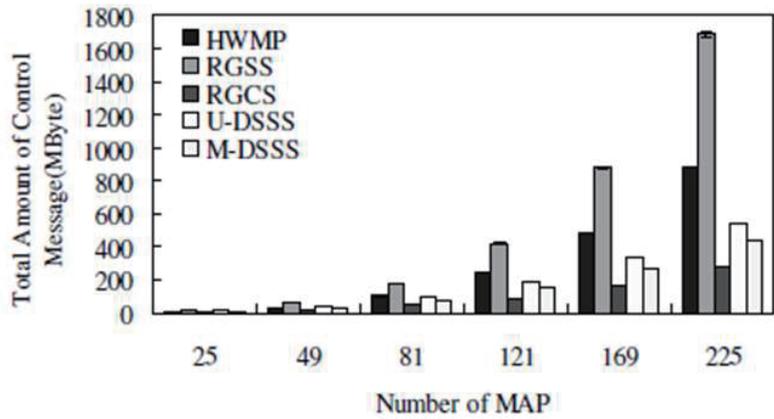


図2-4 MAP 数と総制御メッセージ量

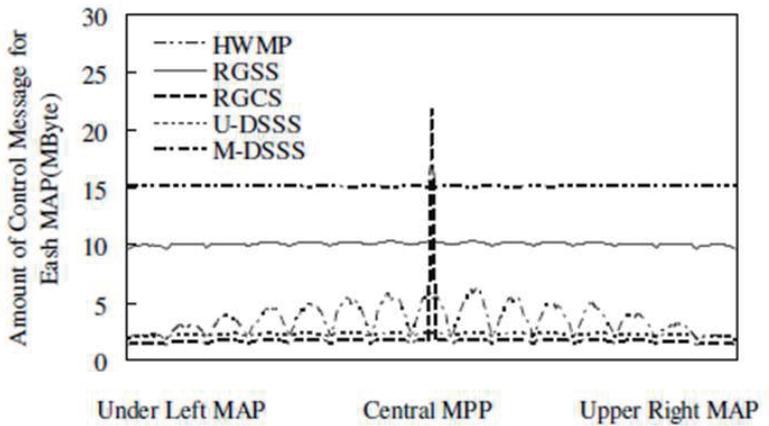


図2-5 各MAP宛の制御メッセージ量(MAP数225台,STA数9000台)

次に、大規模かつ STA が高密度の環境下での各 MAP 宛の制御メッセージ量を評価するために、MAP 数を 225 台、STA 数を MAP 数 × 40 台とした場合の結果を図 5 に示す。グラフ内で、右側に行くにつれて、格子状では右上に配置された MAP を表す。図 2-5 では、RGCS は GAB の集中管理により、特定の MAP (MPP) に負荷が集中していることがわかる。一方 U-DSSSS と M-DSSSS は、負荷分散性が高いことがわかる。

以上の結果より、制御メッセージ量の軽減と負荷分散性において、提案方式の有効性が示された。

3 中継ノード間無線干渉を考慮した迂回拡大型トラフィックふくそう制御法

3-1 検討の背景

マルチホップ通信が前提である無線メッシュネットワークでは、通信が CSMA/CA により制御される場合、各 MP (Mesh Point) の送信機会が均一に割り当てられるため、複数の上流 MP からデータを受信した中継 MP においてデータが滞留し輻輳が発生することがある [3-1]。中継 MP の輻輳は、スループットの低下や伝送遅延を招く。この問題に対して、隣接 MP 間でのシグナリングによる輻輳制御が必須技術として規定されている。既存方式では、自身の上流 MP の送信レートを制御し、自身のバッファあふれを減らすことで、結果的にスループットの向上を図るトラフィック抑制型の制御を行っている。一方、無線メッシュネットワークはホームネットワークや公衆アクセスネットワークなどを想定しており、MP, MAP (Mesh Access Point) などのノード群はモビリティの極めて低いネットワークインフラとしての適用が想定される。したがって、ネットワークトポロジの変化が少ないため、迂回経路の構築が比較的容易であると考えられる。

本検討では、輻輳トラフィックを抑制することなく迂回経路にトラフィックを分散することで輻輳を緩和する拡大型の制御を行うための迂回経路構築アルゴリズムを提案する [3-2]。提案方式により、ネットワーク負荷が増加しても既存方式と比較しネットワークの性能を維持できることを示す。

3-2 経路制御と輻輳制御

(1) 経路制御

HWMPではルートMP(MPPなど)が存在する場合はツリー状の経路を構築する。ツリー状の経路はRANN(Route Announcement)の定期的なフラディングにより構築される。

(2) 輻輳制御

無線メッシュネットワーク内の輻輳制御は3つのメカニズムで構成される。

- ① MPは自身の受信レートと送信レートを監視
- ② 輻輳を発見したMPは、輻輳発生の要因となっているMPに対し輻輳制御通知(Congestion Control Notification)フレームを送信
- ③ CCNフレームを受信した上流MPは指示された送信レートを下回るように制御

3-3 提案方式

本検討では、輻輳制御におけるCCNフレームと連携した迂回経路構築アルゴリズムを提案し、トラフィックを抑制することなく迂回経路に分散させることで輻輳を回避、緩和する拡大型の制御を検討、MPとMPP(Mesh Point collocated with mesh Portal)間において発生する輻輳の回避、緩和を目的とする。輻輳状態のMPの隣接MPを迂回経路に利用すると隣接MPによるさらし端末問題などの無線による干渉が発生してしまい、輻輳状態のMPの通信が抑制され輻輳がさらに悪化してしまう。同様に、迂回経路構築により既に輻輳が発生しているMPへの無線干渉や、迂回経路としての使用も回避するべきである。無線干渉や他の輻輳を回避するため、輻輳状態のMPは自身が輻輳状態であることを周辺のMPに対して通知する必要がある。この情報を利用することにより、現在輻輳しているMPを避け、無線による干渉を避ける迂回経路が構築できる。図3-1は輻輳状態の周知方法と迂回経路構築アルゴリズムの図である。MPPを根としたツリー状の経路が構築されている。MP間を結ぶ実線が経路、破線が隣接関係にあることを示している。

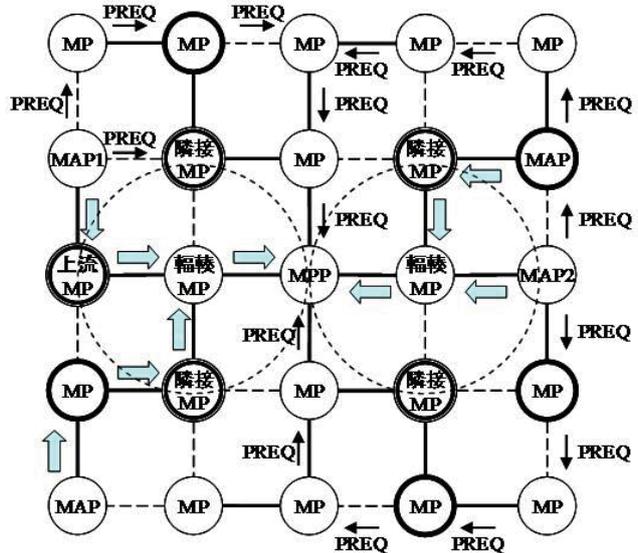


図3-1 輻輳状態の周知と迂回経路構築アルゴリズム

図3-1は輻輳状態の周知方法と迂回経路構築アルゴリズムの図である。MPPを根としたツリー状の経路が構築されている。MP間を結ぶ実線が経路、破線が隣接関係にあることを示している。

(1) 輻輳状態の周知方法

提案方式では自身が輻輳状態であることを周辺のMPに通知するため輻輳情報CI(Congestion Information)フレームを導入する。輻輳状態のMPはCCNフレームを自身の輻輳要因となっているフローの次ノード(下流MP)以外の隣接MPに対して送信する。図1ではMAPが発信するトラフィックが要因となり輻輳が発生している。輻輳状態のMPはCCNフレームを送信し、MPP以外の点線で囲まれた範囲に属するMPが受信する。CCNフレームを受信したMPはさらにツリー状のプロアクティブ経路を利用し、自身の上流MPにCIフレームを送信する。

(2) 迂回経路構築アルゴリズム

迂回経路は輻輳発生時に必要となるため、輻輳制御フレーム受信時に構築迂回経路の構築を判断する。PREQ(Path REQuest)の転送にMPPからのツリー状の経路を利用することで、迂回経路構築により発生する制御フレーム量を抑える。

・迂回経路構築における判断条件

① CCNフレームを受信した場合

トラフィックの発信源、かつCNフレームの宛先ならば、迂回経路構築を実行

② CIフレームを受信した場合

トラフィックを中継しているか、またはトラフィックの発信源であり、CIフレームに記載されているCCNフレームの宛先MPを参照し、ツリー状の経路の下流MPと一致するならば迂回経路構築を実行

迂回経路構築を実行するMPは、PREQをブロードキャストする。PREQを受信した各MPはPREQ受信時の処理に基づきPREQを処理する。

・PREQ受信時の処理

① 通常状態：PREQをツリー状の経路の下流MPにユニキャストで送信

② 輻輳状態：PREQを破棄

③ CCNフレーム受信状態：輻輳状態のMPと隣接関係にあるためPREQを破棄

- ④ CI フレーム受信状態：下流 MP が CCN フレームを受信しているため、PREQ をブロードキャスト
- ⑤ 下流 MP から PREQ を受信：同じ経路が構築されるため PREQ をブロードキャスト
PREQ を受信した MPP は、送信元に

PREP (Path REPLY) を返送し MP と MPP 間の迂回経路が構築される。

図 3-1 は、PREQ を受信した MP が自身の状態により、PREQ を転送した状態である。

(3) 迂回経路へのトラフィックの分散

① MP→MPP へのトラフィック

MPP への迂回経路を保持している場合、自身が発信、または中継するトラフィックを迂回経路へ送出

② MPP→MP へのトラフィック

宛先 MP への迂回経路を保持している場合、迂回経路へトラフィックを送出

表3-1：シミュレーション条件

シミュレータ	Qualnet 4.5
シミュレーション時間	1000[s]
MAP の配置	9 台×9 台格子状に配置 (90[m]間隔)
アプリケーション	発呼間隔：平均60[s] 平均保留時間：平均30[s] アイテムサイズ：512[byte] アイテム送出間隔：平均1[s]
通信距離	100[m]
無線 LAN 方式	IEEE802.11a Auto Rate Fallback
輻射監視間隔	1[s]
輻射判定条件	受信スループットが送信スループットの2割を超えた場合
CCN 送信間隔	0.5[s]
送信レート制御期間	1[s]
バッファサイズ	200[KByte]
RANN 送信間隔	20[s]

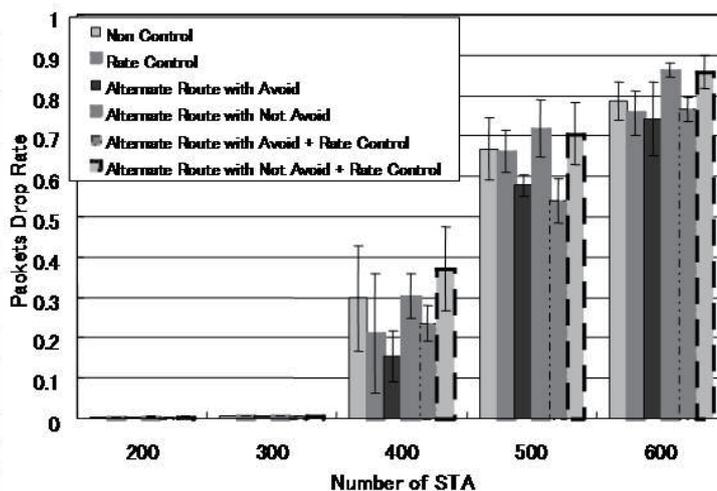


図3-2 パケットドロップ率

3-4 計算機シミュレーションによる評価

(1) シミュレーション環境

シミュレーション条件を表 1 に示す。MPP は有線で外部ネットワークと接続されており、中心に配置する。ネットワーク内に所属する STA 数を変化させ計算機シミュレーションを行う。各 STA はランダムに所属する MAP を割り当てる。STA は表 1 のアプリケーションにより相互に外部ネットワークと通信を行う。

(2) 評価結果

図 3-2 は総送信パケット数におけるパケットドロップ数の割合である。図 3-2 から既存方式と提案方式を比較し、パケットの損失を削減できていることがわかる。また、本提案で導入したように他のノードの輻射や無線干渉を避ける必要があることがわかる。

4 バイパス網オーバーレイ法の検討

無線メッシュネットワークは現在多くが、MPP が 1 つの中小規模を中心に研究開発されているが、将来的には無線メッシュネットワーク同士が地理的に結合して複数の MPP を含む大規模な無線メッシュネットワークに発展することが想定される。大規模化に伴い中継ホップ数が増加し遅延時間やパケット損失などのネットワーク性能の劣化が懸念される。本検討では、MPP 間の外部ネットワークをバイパスとして併用することにより無線メッシュネットワークの大規模化による性能劣化を抑制することを目的とし、そのための経路選択アルゴリズムを提案する、ゲートウェイノードの配置状態に依存しない柔軟性のある方式とするために、RA-OLSR をベースとして外部ネットワークの状況を考慮できる新しい経路メトリックを導入する。

4-1 提案方式

マルチホップ通信を実現させるためのルーティングプロトコルとして、IEEE802.11s では、プロアクティブ型の RA-OLSR とハイブリッド型の HWMP が検討されている。本検討では外部ネットワークにおけるルーティ

ングとの整合性の観点からベースとなるルーティングプロトコルとして RA-OLSR を用いることとする [4-1]-[4-3]。

図 4-1 で示すように、同じ無線メッシュネットワーク内に送信元の STA (以下、送信元 STA) とあて先の STA (以下、あて先 STA) がある場合でも、MAP から MPP まで無線メッシュネットワークを使用し、送信元 STA の所属する MAP のゲートウェイとなっている MPP (以下、マスターMPP) からあて先 STA の所属する MAP のマスターMPP まで外部高速ネットワークを使用して通信できるようにする。すなわち、外部高速ネットワークを併用した経路と無線メッシュネットワーク内に閉じた経路のどちらか状況に応じて適した方を用いて通信を行う。外部高速ネットワークを併用することで、大規模化による遅延時間やパケット損失の増加などのネットワークの大規模化に起因する性能劣化を抑制することができる。

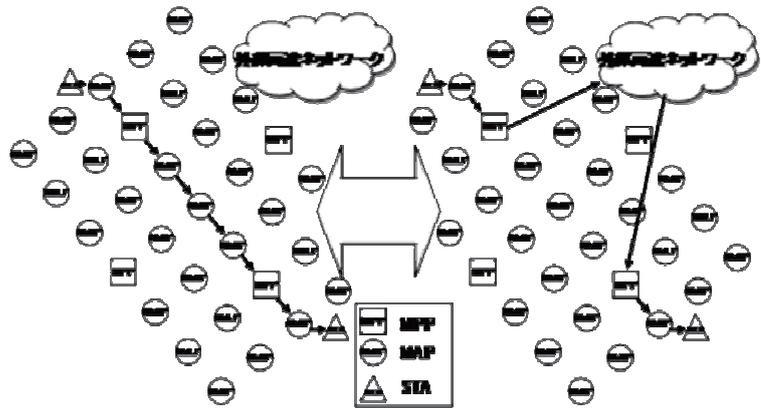


図 4-1 外部高速ネットワークを併用した経路としない経路

(1) 2つの経路選択方法

1. ホップ数を用いる方法

送信元 STA とあて先 STA のマスターMPP が同じか、もしくは無線メッシュネットワーク内だけで通信をしても、経路のホップ数がある値 (以下、ホップ数閾値) 以下の経路になる場合は、無線メッシュネットワーク内に閉じた経路を選択する。送信元 STA とあて先 STA のマスターMPP が異なりホップ数がホップ数閾値より多い経路になる場合は、外部高速ネットワークを併用した経路を選択する。

ホップ数閾値の算出式を以下に記す。このホップ数閾値の最小値に対して、外部高速ネットワークの通信速度やリンク利用率などの変化に応じて、加算する値 (以下、ホップ数加算値) を MPP が決定する。各 MPP は TC メッセージにホップ数加算値を載せて送信する。各 MAP は MPP からの TC メッセージによって届けられたホップ数加算値を、それぞれのホップ数閾値の最小値に加えてホップ数閾値とする。

$$(ホップ数閾値) = h_{\min} + h_{\text{plus}}$$

h_{\min} : ホップ数閾値の最小値

h_{plus} : MPP から届けられたホップ数加算値

この方法では、送信元 STA の所属する MAP がプロアクティブに持つ情報だけで経路を決定できるので、通信開始までの接続遅延を遅延時間が短くできるが、あて先 STA のマスターMPP からあて先 STA の所属する MAP までのネットワークの状況を考慮できないので最適な経路を選択できない可能性がある。

2. メトリックを用いる方法

送信元 STA とあて先 STA のマスターMPP が同じ場合、無線メッシュネットワーク内に閉じた経路を選択する。送信元 STA とあて先 STA のマスターMPP が異なる場合、無線メッシュネットワーク内に閉じた経路のメトリックと外部高速ネットワークを併用した経路のメトリックを比較して、低い方の経路を選択する。

外部高速ネットワークを併用した経路のメトリックの算出式を以下に記す。送信元 STA から通信要求があった MAP は、送信元 STA とあて先 STA のマスターMPP が異なる場合、あて先 STA のマスターMPP に Metric

$$m_{\text{outside}} = m_{\text{Smap-Smpp}} + m_{\text{Dmpp-Smpp}} + m_{\text{Dmpp-Dmap}}$$

m_{outside} : 外部高速ネットワークを併用した経路メトリック

$m_{\text{Smap-Smpp}}$: 送信元 STA の所属する MAP からマスターMPP の経路メトリック

$m_{\text{Dmpp-Smpp}}$: MPP 間の経路メトリック

$m_{\text{Dmpp-Dmap}}$: あて先 STA のマスターMPP から所属する MAP の経路メトリック

Request メッセージを送る。それを受け取った MPP は Metric Reply メッセージに、あて先 STA のマスターMPP からあて先 STA の所属する MAP までのメトリックを載せて外部高速ネットワークを介して送る。送信元 STA のマスターMPP では、あて先 STA のマスターMPP から送信元 STA のマスターMPP までのメトリックを計測し無線メッシュネットワークのメトリックに変換して加算して転送する。送信元 STA の所属する MAP では、送られてきたメトリックと送信元 STA の所属する MAP から送信元 STA のマスターMPP までの和を求め、これを外部高速ネットワークを併用した経路のメトリックとする。

このメトリックを用いる方法は、エンドエンド間を通じた経路の状況と比較することができるので最適な経路選択を実行できる可能性がある[4-8]。しかし、メトリックを取得するための制御パケットの通信が必要となるので、通信開始までの接続遅延がホップ数を用いる方法に比べて大きくなる。

4-2 計算機シミュレーションによる評価

(1) シミュレーション環境

本提案の性能を Scalable Network Technologies 社のシミュレータ QualNet を用いて比較評価する。シミュレーション条件を表 1 に記す。無線メッシュネットワークのノードは格子状に 2 次元で配置する。図 4-2 のようにノード数 50 のときはノードを 5×10 に配置する。全ての MPP は外部ネットワークのノードと接続されている。

(2) シミュレーションシナリオ

シナリオ 1

外部高速ネットワークに流れるバックグラウンドトラフィック量が無い状態での評価。

シナリオ 2

外部高速ネットワーク内でバックグラウンドの通信を行い、ネットワークに負荷が加わっている状態での評価。バックグラウンドトラフィック量の変化(外部高速ネットワークの負荷の変化)の影響を評価する。

(3) 評価結果

外部高速ネットワークを併用しない無線メッシュネットワーク内に閉じた接続方式(以下、内部経路方式: Internal route selection type)と、無線メッシュネットワークと外部高速ネットワークを併用した接続方式(以下、外部経路併用方式: External route selection type)においてホップ数で経路を選択する方式(以下、ホップ数

表4-1 シミュレーション条件

シミュレータ		QualNet 4.5		
シミュレーション時間		1000 [s]		
ノード数*		50	75	100
MPP 数		2	3	4
MAP 数		48	72	96
STA 数		1MAP あたり 10~40		
アプリケーション		発呼間隔: 平均 60[s] 保留時間: 平均 30[s] アイテムサイズ: 512[byte] アイテム送出間隔: 1[s]		
トランスポートプロトコル		UDP		
ネットワークプロトコル		IPv4, OSPFv2		
MAC プロトコル		IEEE802.11s		
周波数		5[GHz]		
伝送速度	外部ネットワーク	10[Mbps]		
	無線 LAN メッシュネットワーク	Auto Rate Fallback (6[Mbps]~54[Mbps])		
ノード間通信距離		110[m]		

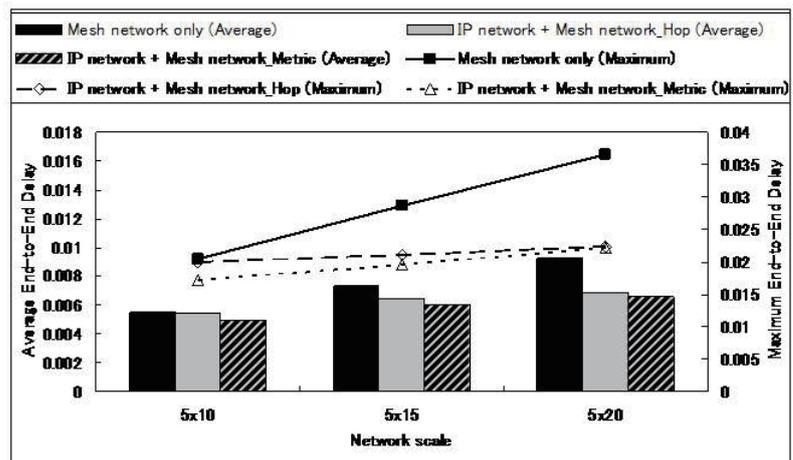


図4-3 シナリオ1遅延時間

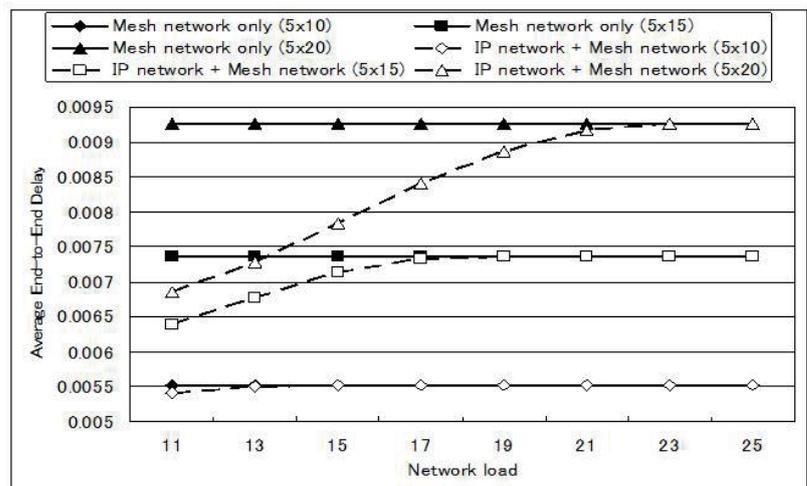


図4-4 シナリオ2平均遅延時間(ホップ数で選択)

考慮型外部経路併用方式)とメトリックで経路を選択する方式(以下、メトリック型外部経路併用方式)の3つの方式を比較評価する。

評価方法として、無線メッシュネットワークの規模(ノード数)を変化させた場合の各方式における遅延時間とホップ数の比較を行う。本来、ネットワークの負荷状態とパケット損失量の関係を直接評価すべきであるが、本稿ではシミュレーション時間の関係で負荷を低くして評価しているので、構築された経路のホップ数を比較する。

図4-3, シナリオ1における3つの方式の総セッションにおける平均遅延時間、最大遅延時間。図4-3から、3つの方式を比較し、内部経路方式に比べ外部経路併用方式が大幅にネットワークの大規模化による遅延時間の増加を抑制でき、メトリック型外部経路併用方式が最も遅延時間の増加を抑制できていることが分かる。詳細にはパケット損失の量を評価しなければならない。

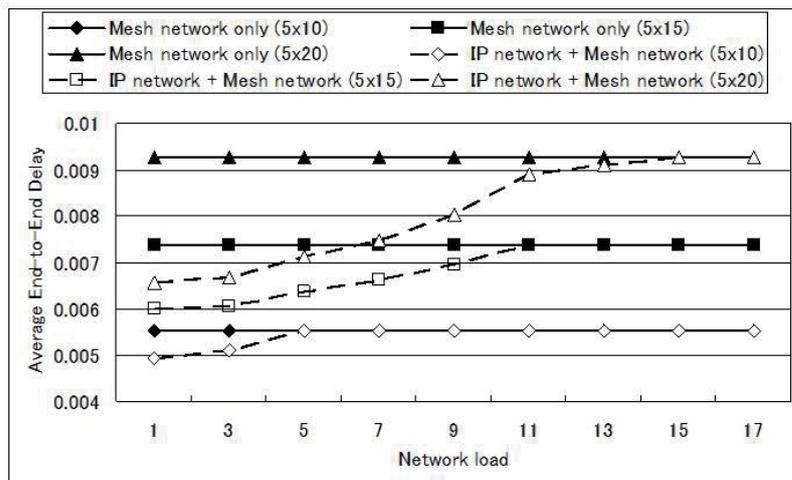


図4-5 シナリオ2平均遅延時間(遅延時間で選択)

図4-4, 図4-5は、シナリオ2において外部高速ネットワークのバックグラウンドトラフィック量の変化が平均遅延時間与えた影響の評価である。図4-4は内部経路方式とホップ数考慮型外部経路併用方式の比較で、図4-5内部経路方式とメトリック型外部経路併用方式の比較である。図4-4, 4-5は、ネットワークトラフィック量が増加するにつれて平均遅延時間が途中から増加しなくなっている。理由は、別途評価したホップ数の観測からわかるが、途中から内部経路方式と外部経路併用方式の最大ホップ数がほぼ同じになるからである。途中から外部経路併用方式でも外部高速ネットワークを併用する経路のホップ数が多く、またはメトリックが大きくなる、その結果、外部高速ネットワークを併用する経路を選択しなくなっている。また、図4-4より、外部高速ネットワークのネットワーク負荷が高くなっても外部経路併用方式の方が平均遅延時間が増加しないことが分かる。

5 まとめ

IEEE802.11系無線LAN技術およびMANET(Mobile-Adhoc NETWORK)技術をベースとして構成される無線メッシュネットワークは、大掛かりなインフラ設備を必要としない自律分散型のアーキテクチャを持つネットワークとして期待されている。アクセス網/中継網分離型の集中管理を基本とした従来のセルラー型モバイルネットワークとは全く異なる構造であり、柔軟な拡張性に富み、高い経済性を有している。現在の標準化技術では、比較的小規模で、適用領域も限定的である。しかし、その拡張性、経済性を考慮すると広域をカバーする公衆ネットワークへと発展する大きな可能性を秘めている。本研究では、期待される面的な広域適用を実現するために、制御方式におけるスケーラビリティの確保とトラフィックのふくそう制御に焦点を絞り、次の3つの課題の検討を推進し、新しい制御アルゴリズムの提案を行った。

[1] 移動端末の位置管理と経路構築制御におけるスケーラビリティの確保

ハッシュ関数を用いることにより従来のフラッディング型の探索を一切必要としない制御アルゴリズムを提案し、負荷分散性と効率性(制御信号量)に関する優れた基本特性を確認した。

[2] ノード間無線干渉を考慮した迂回ルーティングによるトラフィックふくそうの制御法

従来のトラフィック規制型ではなく迂回拡大型の制御を、標準化仕様のふくそうシグナリングと連携できる形態で実現する制御アルゴリズムを提案し、基本性能の確認を行った。

[3] QoSおよびリソース効率を維持するためのバイパス網適用法

大規模化に伴って外部ネットワークとのゲートウエーを複数有するようになることを想定し、外部ネットワークをバイパス経路として活用する連携型ルーティング方式を提案し、面的拡大時の性能低下(遅延時間、パケット損失)を抑制できることを確認した。

【参考文献】

- [2-1] Draft Amendment to standard 802.11: ESS Mesh Networking, IEEE Std. P802.11s/D3.00, March 2009.
- [2-2] L. Chu, Y. Kado, K. Kim, A. Lim, Y. Liu, K. Mase, M. Nozaki, H. Okada, M. Takai, X. Wang, G. Vlan-tis, B. Zhang, "Updated Texts for RA-OLSR IEEE802.11-07/2124," July 2007.
- [2-3] 前野誉, 岡田啓, 大和田泰伯, 間瀬憲一, "メッシュネットワークにおけるステーション所属情報の転送負荷軽減法の提案," 信学技報, AN2007-1, pp.1-6, May 2007.
- [2-4] Draft Amendment to standard 802.11: ESS MeshNetworking, IEEE Std. P802.11s/D1.05, June 2007.
- [3-1] 青木秀憲, 竹田真二, 柳生健吾, 山田暁:“IEEE802. 11s 無線 LAN メッシュネットワーク技術”, NTT DoCoMo テクニカルジャーナル, Vol. 14 No. 2, pp14-22.
- [3-2] 西沢耕太郎, 山本尚生:“無線メッシュネットワークにおける輻輳制御と連携した迂回経路構築アルゴリズムの研究”, 信学技報, AN-2007-78 , March 2008.
- [4-1] IEEE Std 802.11-1999 (Reaff2003), Sep.2003.
- [4-2] IEEE Std 802.11e, Nov.2005.
- [4-3] IEEE P802.11n/D1.0, Mar.2006
- [4-4] C-K. Toh 著, 構造計画研究所 訳, “アドホックモバイルワイヤレスネットワーク-プロトコルとシステム-”, 共立出版
- [4-5] ESS mesh networking IEEE P802.11s/D1.05, June 2007.
- [4-6] ESS mesh networking IEEE P802.11s/D1.07, September 2007.
- [4-7] ESS mesh networking IEEE P802.11s/D2.0, March 2008.
- [4-8] 竹田真二, 柳生健吾, 青木秀憲, 松本洋一, “Multi interface oriented radio metric on-demand routing protocol for layer-2 mesh networks, ”信学技報, RCS2004-58, July 2005.

〈発表資料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
大規模な無線メッシュネットワークにおけるハッシュ関数を利用した S T A 位置登録・探索方式の特性改善	電子情報通信学会 論文誌 B	2010/07
無線メッシュネットワークにおける輻輳制御用シグナリングと連携した迂回経路構築アルゴリズム	電子情報通信学会 論文誌 B	2009/09
動的ゾーン制御型ルーティングプロトコルの提案	電子情報通信学会 技術研究報告	2010/01
無線メッシュネットワークにおけるトラフィック変動適応型指向性アンテナの制御	電子情報通信学会 技術研究報告	2009/10
ZigBee と無線メッシュネットワークを組み合わせた広域エリアセンシング情報流通ネットワークの設計手法に関する研究	電子情報通信学会 技術研究報告	2009/10
外部高速ネットワークを併用した無線 LAN メッシュネットワークの大規模化の研究 -大規模化によるネットワーク性能低下の抑制-	電子情報通信学会 技術研究報告	2009/10
マルチレイヤネットワークにおける耐障害性の向上を目的とした複数経路構築手法	電子情報通信学会 技術研究報告	2008/07
片方向リンクを考慮した効率的な MANET ルーティングプロトコル	電子情報通信学会 技術研究報告	2008/05