

機関番号：32619

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21700087

研究課題名 (和文) 無線メッシュネットワークにおける双方向ハンドオフ方式

研究課題名 (英文) Architecture supporting bi-directional handoff in wireless mesh networks

研究代表者 森野 博章 (MORINO HIROAKI)  
 芝浦工業大学・工学部・准教授  
 研究者番号：50338654

## 研究成果の概要 (和文)：

本研究では無線メッシュ網において双方向ハンドオフの際の経路再構築を迅速に行うことを目的として、ハンドオフ前後の経路切り替えを VLAN を用い Layer 2 で行う手法を提案した。本方式の基本構成では AP 間に常に最短経路を設定するためには網の AP 数と同数の VLAN を設定する必要があるが、一般の Layer2 スイッチでは同時に利用可能な VLAN 数が限られており、規模拡張性を確保できない。そこで、仮想トランクノードと呼ばれる概念を無線メッシュ網に適用し、基本構成と比較して同時に使用する VLAN の数を大幅に削減する手法を提案した。本手法により、同時に使用する VLAN の数を 1/10 に押さえながら、経路のホップ数の増加は 5% 程度に抑えられることを示した。

## 研究成果の概要 (英文)：

We have proposed Layer 2 routing scheme using VLAN for bi-directional handoff performed in wireless mesh networks aiming at fast route reconstruction before and after handoff. The basic configuration of the proposed scheme needs VLANs the number of which equal to the number of access points (AP) in the mesh networks, and its scalability in terms of number of APs is limited. To overcome this problem we proposed improved configuration of the proposed scheme which significantly reduces the number of required VLANs while maintaining routing performance. The performance evaluation shows the improved configuration reduces the number of required VLAN by 10% compared with the basic configuration, while it achieves the increase of the route hop length constructed in this configuration compared with the basic configuration within 5%.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	900000	270000	1170000
平成 22 年度	800000	240000	1040000
年度			
年度			
年度			
総計	1700000	510000	2210000

研究分野：無線ネットワーク

科研費の分科・細目：情報学，計算機システム・ネットワーク

キーワード：無線メッシュ網，ハンドオフ，VLAN，Layer 2，分散制御

## 1. 研究開始当初の背景

無線メッシュ網においてノードの移動に伴

うハンドオフ処理を、Layer2 のレベルで特定の集中ノードを必要とせず、すなわち無線メッシュ AP 間の分散制御により行う手法を

検討した。本研究ではこれを双方向ハンドオフと呼ぶ。

ハンドオフ処理を Layer2 で行うことの最大のメリットは、Mobile IP を始めとする Layer3 ハンドオフ機構を端末に導入する必要がないことにあり、様々な OS を搭載する今後のモバイル端末間での移動通信サポートを容易にするものである。また従来の無線メッシュ網の Layer 2 ハンドオフは、ほとんどが商用の Proprietary な技術として提供されており詳細は公開されていないが、集中管理ノードを介した制御が行われている。このため管理ノードと AP との通信障害、あるいは管理ノード自身の障害が発生した場合、ハンドオフ処理の性能低下あるいは処理自体の停止の問題があると考えられる。

## 2. 研究の目的

1. で述べた問題点を解決するため本研究課題では、無線メッシュ網において、双方向ハンドオフにより障害対応を増加させると共に、端末の移動に伴うハンドオフ制御オーバーヘッドを削減する手法の検討を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) VLAN をベースとした双方向ハンドオフサポート機構の提案

双方向ハンドオフを実現するための要素技術として本研究では、筆者らが提案している VLAN を用いた無線メッシュ網の経路制御 [1] を双方向ハンドオフに適用する手法を提案する。本節では、VLAN による経路制御の概要と、この上で動作する移動端末への経路構築制御について述べる。

#### ① VLAN を利用した経路制御のコンセプト

既存の無線メッシュ網における VLAN 機能は、網内に複数のドメインを設定してユーザグループ毎に通信トラフィックを分ける目的で提供されてきた。一方、筆者らは VLAN を用いれば各無線メッシュ AP 間に複数の経路を設定できることに着目し、端末のハンドオフに伴って必要となる経路再構築を利用する VLAN の切り替えによって行うことで、従来の Layer 3 ハンドオフに比べ経路構築の高速化と制御オーバーヘッドの削減を図る。

#### ② 提案方式によるハンドオフ処理動作

図 1 に示すような、10 台のアクセスポイント (以下 AP と呼ぶ) からなる無線メッシュ網で端末 A, B の移動をサポートすることを例に本制御を説明する。この網では立ち上げ時のリンク情報から AP1 を始点として他の全ての AP との間を結ぶ最短経路木 (SPT: Shortest Path Tree) を認識し、これに対して VLAN を

設定する。本稿ではこれを SPT VLAN と呼ぶ。同様に AP2 から AP10 の各々を始点とする SPT VLAN を設定し、網には合計で 10 の SPT VLAN が設定される。端末間の通信セッションが開始し、AP $i$  から AP $j$  ( $i, j=1\cdots 10$ ) へパケットを送信する際には、AP $i$  を始点とする SPT VLAN を使用し Layer 2 でのパケット中継を行う。この例では当初端末 A, B はそれぞれ AP1, AP5 に接続しているため、パケット中継にはこれらを始点とする SPT VLAN が利用される。VLAN 上では通常のスイッチと同様 MAC アドレス学習によりユニキャスト経路が構築される。

ここで例えば端末 A が AP8 のエリアに移動すると、AP8 がこれを検知し、移動前に使用されていた SPT VLAN 上で AP1 と A との経路を構築する。これにより、A は移動後も使用する SPT VLAN を変更せずに B との通信を継続する。B が移動する場合の制御も同様である。この方法ではハンドオフ回数の増加に伴って AB 間の経路のホップ数が増加していくため、事前に設定されたハンドオフ回数あるいは時間を超えると A, B 間の最短経路を含む SPT VLAN に切り替えることで経路の最適性を維持する。

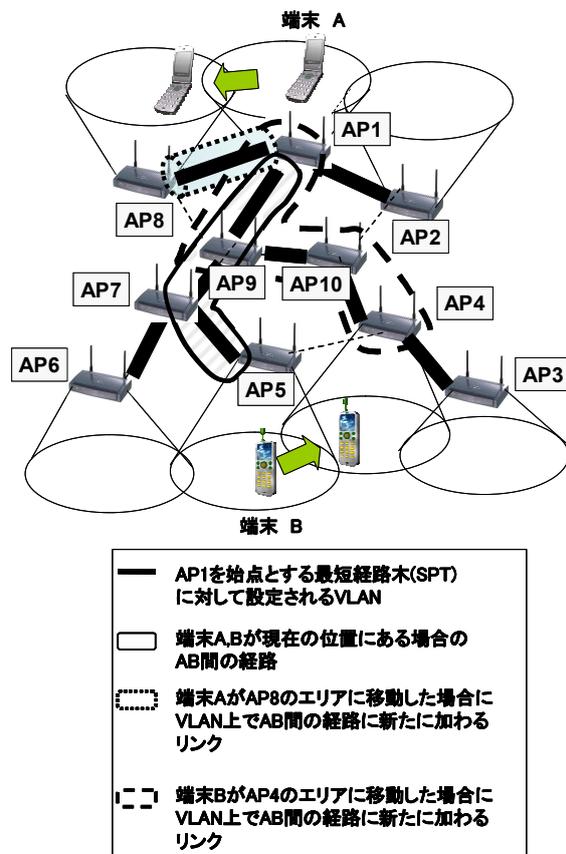


図 1 VLAN を利用した無線メッシュ網の双方向ハンドオフ動作

## (2) 提案方式の実現上の課題

この方式では、経路の最適性を維持するためには全 AP 間の最短経路を含む SPT VLAN を用意する必要がある。すなわち全 AP のそれぞれを始点とする SPT VLAN が必要である。しかしながら一般的な Layer2 スイッチでは主に実装コスト低減の目的で、同時に使用できる VLAN 数が制限されており、現状では 256 に設定されているものが多い。本方式では AP 数がこの数を超えると、最短経路を設定することができない AP のペアが生じることになり、遅延性能の低下を招く。

## (3) 仮想トランクノードの概念に基づく SPT VLAN サブセット選択方式の提案

前節で述べた問題を解決するため、ここでは経路最適性の劣化を可能な限り抑えつつ、網全体で使用する SPT VLAN の総数を削減する手法を提案する。一般には、網で使用する SPT VLAN の総数を削減すると、一部の AP 間の経路については、経路の両端の AP とも SPT の始点に位置しないような VLAN を使用せざるを得なくなり、経路のホップ数の増加を招く。

本研究では、有線マルチキャストツリーの構築で提案された仮想トランクノードの概念[2]を応用し、無線メッシュ網において上記の目標を実現し、かつノード総数より少ない数の VLAN SPT からなる集合、すなわち VLAN SPT サブセットの選択手法を提案する。

本方式では、まず使用する VLAN 経路に制限がないものとし、網の全ノード(N 個)の各々を始点とする SPT を使用してある 2 つの AP 間で最短経路を設定する。次に各々の経路でどの AP が中継ノードとして含まれているかを調べ、中継ノードとして含まれる頻度が高い順に AP をランク付けする。次に使用する VLAN SPT の総数を k 個 ( $k < N$ ) に設定すると、ランクの高い順に k 個の AP を仮想トランクノードとして選出する。図 2 は、ノード数 30 の網において k=5 個の仮想トランクノードを選出する例を示している。図中、白丸がノード、実線がノード間の無線リンクを表す。選出された仮想トランクノードは黒丸で表されている。傾向として仮想トランクノードは比較的網の中央に位置し、かつ次数の高いノードが選出される。

本方式では、これらの仮想トランクノードの各々を始点とする k 個の SPT を構築し、それぞれに VLAN を設定したものを SPT VLAN サブセットと呼ぶ。経路制御ではこのサブセットに属する VLAN のみを用いる。SPT VLAN サブセットにより経路構築を行う場合、通信を

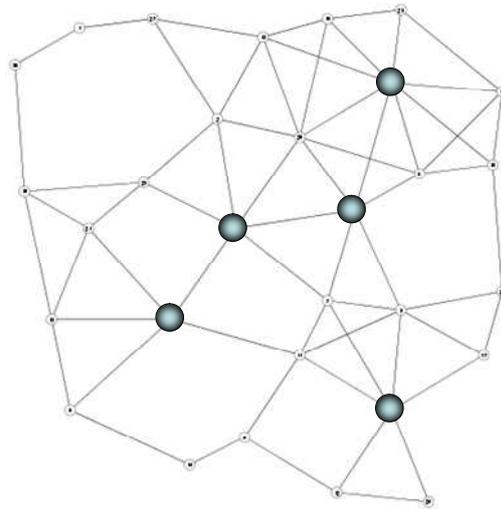


図 2: ノード数 30 のネットワークで k=5 個の仮想トランクノードを選出する例

行いたい 2 つの AP が共に、サブセットのどの SPT の始点にも含まれない場合がある。このような場合には、サブセットの SPT の中で始点が 2 つの AP にどちらかから最も近いものを選び、この SPT の上で経路を設定する。こうして設定された経路は最適ではないものの、最短経路に非常に近いホップ数を持つことが予想される。

## 4. 研究成果

### (1) 性能評価結果

提案方式により構築される経路の特性を計算により評価した。評価条件は以下の通りである。500m x 500m のエリア内に 30 台から 80 台の AP をランダムに設置する。次に AP 間を通信距離 100m の無線リンクで接続する。AP の密度が小さい場合、配置パターンによっては網が分断されるが、今回は評価の簡単化のため AP 間が完全グラフで接続されるような配置パターンを抽出する。この網について提案方式により各 AP 間を結ぶ最短経路を構築し、経路ホップ数の平均値を算出する。算出に当たっては各々の AP 数の条件について 10 通りの AP 配置パターンを用意し評価を行った。

図 3 に結果を示す。比較対象の「最適制御」とは AP の数と同数の SPT VLAN を設定し最短経路を求める手法を表している。AP 数が 40 台以下の条件では提案方式と最適制御はほぼ同じ結果であるが、この条件では AP の設置密度が低いため AP 間の接続トポロジーがほぼツリー型になっており、どの AP を始点とした SPT を用いても選択される経路が同じになることによる。

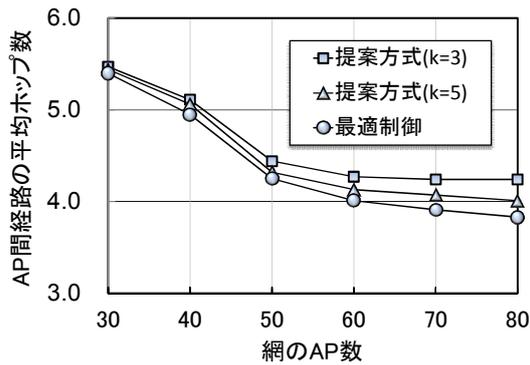


図3: 各方式における経路の平均ホップ数特性

AP数が50台以上の条件ではAP間で複数の経路候補が存在するようになり、利用可能なSPTの数が構築経路のホップ数に影響を与える。さらに配置されるAP数が増加すると各APの次数が増加し、AP間で設定可能な経路候補の数が増加するため、常に最短経路を選択できる最適制御と提案方式の経路ホップ数の差が拡大する。しかしながら、仮想トランクノードの数がk=5の場合は、AP数が80台の条件でも、最適制御と比較した平均ホップ数の増加は5%程度であり、遅延増加の影響は非常に小さいといえる。

## (2) まとめ

本研究では無線メッシュ網でVLANを利用して分散制御による双方向ハンドオフをサポートする際に、AP間を接続する経路のホップ数増加を可能な限り抑えながら使用するVLANの数を大幅に削減する手法を提案した。数値計算による性能評価の結果、500m四方のエリアに設置する網のノード数が80台までの条件で、AP間経路のホップ数増加を最適値に比べ5%以下に抑えながら、使用するVLANの数を1/10に削減できることを明らかにした。

## 参考文献

- [1] 井上真杉 大西真晶 森野博章 実藤亨  
「マネージド無線メッシュによるセンサアプリケーションプラットフォーム」電子情報通信学会技術研究報告 ユビキタスセンサネットワーク USN2008-55, 2008年10月
- [2] H.C.Lin, S.C.Lai “VTDM-a dynamic multicast routing algorithm”, Proc. IEEE INFOCOM '98, pp. 1426 - 1432.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

[1] 矢嶋一成, 森野博章, 「無線メッシュ網における仮想トランクノードを利用したVLAN スパニングツリー構築法」2011年電子情報通信学会総合大会 B-21-2, 2011年3月, 東京都市大学 (東京都世田谷区) .

[2] 矢嶋一成, 森野博章, 「無線メッシュ網における複数スパニングツリーを利用した高信頼性経路構築」2010年電子情報通信学会総合大会 B-15-12, 2010年3月, 東北大学 (宮城県仙台市) .

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

森野 博章 (MORINO HIROAKI)  
芝浦工業大学・工学部・准教授  
研究者番号: 50338654