

## 無線 LAN における アクセスポイントの仮想化とその経路構築の実現

永井隆博<sup>†1</sup> 濱口毅<sup>†1</sup> 重野寛<sup>†2</sup>

無線 LAN アクセスポイント (AP) は干渉を起こすほど高密度に設置されることが少なくない。AP の高密度な設置の解消には AP を停止して数を減らせばよいが、AP としての機能が失われるため通常は AP を停止できない。

AP の機能を失わずに停止するには AP の”機能”と”機器”を分離すればよい。分離・移動することで機能を失わずに数を減らすことができる。

そこで本稿では”機能”と”機器”の分離・移動を実現するための Virtual Access Point (VAP) を提案する。AP の仮想化により分離・移動を実現し、物理ネットワーク上に仮想ネットワークを構築することで通信を維持する仕組みを実現する。

### Access Point Virtualization and Path Construction Method for Wireless LAN

TAKAHIRO NAGAI,<sup>†1</sup> TSUYOSHI HAMAGUCHI<sup>†1</sup>  
and HIROSHI SHIGENO<sup>†2</sup>

It is not rare that the wireless LAN access point (AP) is set up by high density so as to cause interference. We stop AP to break off high-density setting and should reduce a number, but cannot usually stop AP so that the function as AP is lost.

You should divide "function of AP" and "machinery of AP" to stop AP without losing a function as AP. We can reduce a number without losing a function by separating, and moving.

Therefore We suggest Virtual Access Point (VAP) to realize "a function" and separation and movement of "the machinery" by this report. We realize separation and movement by virtualization of AP and realize the organization which maintains communication by building a virtual network on a physics network.

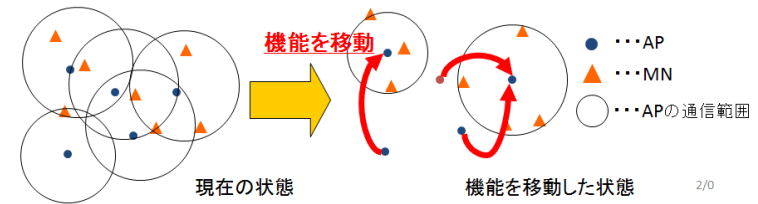


図 1 AP の機能の移動

Fig. 1 Migration of function of AP

### 1. はじめに

無線 LAN アクセスポイント (AP) は互いに干渉を起こすほど高密度に設置されることが少なくない。これは、実際に無線 LAN を構築、使用する際、各ドメインの管理者がそれぞれ AP を自由に配置・設定するためである。学校やオフィスのように狭い範囲に多数のドメインが存在する場所では、AP の電波到達範囲が重複し電波干渉を起こす。

AP に関する研究には、AP の最適配置や最適選択の研究がある。最適配置研究は、地形情報に基づいて、なるべく少ない AP でエリアをカバーするよう配置場所を決定する。また、最適選択の研究は、Mobile Node (MN) のスループットに基づいて、電波干渉やスループットが改善されるように MN の使用する AP と無線チャンネルを決定する。

しかし、現実には AP の最適な配置・選択を行うにはドメインを考慮する必要がある。他ドメインの管理者に自ドメインの AP を制御された場合、自ドメインの AP を使用不能になる可能性がある。自ドメインの AP の使用の継続には、自ドメインの AP の機能を他の AP 上で実現し、機能を存続させることが必要となる。

そこで、AP の機能と AP の機器の分離を考える。AP の機能とは主に MN をネットワークへ接続する機能である。AP の機器とは主に計算機やインターフェースを指す。図 1 に機能を移動する様子を示す。機能を機器から分離し移動することで、機能を失わずに AP 数を減らすことができる。これにより、不要な AP を停止しても MN は通信を継続できる。

しかしこれの実現には 2 つの要求条件がある。まず、1 つの AP で複数のドメインのポリシーやサービスを実現する必要がある。これは、機能の移動により、1 つの機器に複数の

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Keio University

機能の存在が考えられるからである。現在の AP は 1 つの AP で 1 つのドメインのネットワークしか扱えない。また、機能の移動後、トラヒックは移動前と異なる経路を通ることになるため、通信を維持する仕組みが必要である。

既存の研究では、この 2 つの要求条件を満たす Virtual Access Point(VAP) が提案されている<sup>1)2)3)</sup>。本稿では、VAP を実現する機構とその経路構築について提案する。VAP とは AP の機能であり、それに対し AP の機器を Physical AP(PhyAP) と呼ぶ。仮想化技術により PhyAP は複数の VAP を保持する。また、VAP を Migration により PhyAP 間を移動させる。経路構築では、VAP を使用するドメイン毎に作成される仮想的なデータリンク層 (L2) のネットワークである L2 フラットネットワークを構築する。VAP を持つ PhyAP を L2 フラットネットワークに参加させることで MN の通信を可能にする。また、VAP のプロトタイプの実装を行い、MN が通信可能であることを確認した。

以下、2 章で関連研究とその問題点を延べ、3 章で Virtual Access Point(VAP) の実現機構と経路構築を述べる。そして 4 章でプロトタイプの実装と評価、5 章に結論を示す。

## 2. 関連研究

### 2.1 アクセスポイント最適配置と最適選択

無線ネットワークを構築する際の重要な点の 1 つは AP の配置場所の決定である。MN が有線ネットワーク上のホストと通信を行うには、AP の電波到達範囲内に MN が存在する必要がある。しかし、AP を過疎に配置すると電波強度の低下のために通信品質が悪い可能性がある。一方で AP の過密な配置は、コスト増加や電波干渉を招く。その場合、AP に適切に周波数帯域を割り当てなければ通信効率のよい無線ネットワークの設計は出来ない。

そこで上記の問題に対して、AP の最適配置の研究と AP の最適選択の研究がある。

AP の最適配置に関する研究は、AP の地理的な配置場所を最適にする研究である。初期の研究では無線ネットワークを構築する範囲を最小の AP 数でカバーするように、線形計画法を用いて配置方法を決定する研究<sup>4)</sup>がある。文献<sup>5)</sup>は、OFDM を用いた屋内の無線ネットワークを構築する際に、AP の配置方法について定式化し、焼きなまし法を用いて解決を図る。また、AP によるメッシュネットワークを構築する際、AP の数を少なく且つ通信効率が良くなる配置方法を非線形計画法を用いて決定する研究がされている<sup>6)</sup>。

AP の最適選択に関する研究は MN の通信状態の情報をもとにする。文献<sup>7)</sup>では一般的に AP の配置とそのチャンネル割当ての最適化が別々に行われる点に注目し、配置とチャンネル割当てを同時に行う手法を提案している。文献<sup>8)</sup>は線形計画法を用いて AP の最大チャ

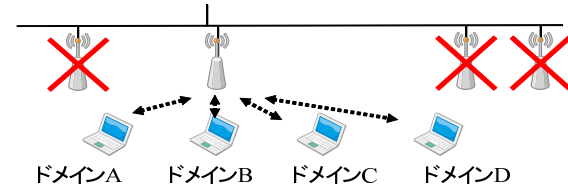


図 2 最低限の AP と MN の通信

Fig.2 Minimal AP and Communication of MN

ネル使用率が最小になるように AP の選択とチャンネルを決定する。また、Radio Resource Broker と呼ばれる監視ノードによって、ドメインの境界に関する最適な無線チャンネルの選択を提供する研究がされている<sup>9)</sup>。

### 2.2 アクセスポイント最適配置と最適選択の問題点

本節では、関連研究の課題について述べ、本研究の目的と位置づけを明確にする。

AP の最適配置や最適選択に関して研究がなされている。しかし、実際に AP の最適配置・選択を行うにはドメインを考慮する必要がある。既存の研究においては、AP の配置や設定を全て行うことが出来る前提である。しかし現実では、部屋ごとやオフィスごとに地理的に狭い範囲でドメインが存在し、そのドメインの管理者が AP を設置する場合が多い。一つの部屋が一つのネットワークを構築しているため、一部屋ごとに AP を設置している。

このような状態を解決する一つの方法は、最低限の AP に出来るだけ多くの MN の通信を集約する方法である。図 2 にその例を示す。この例では一つの AP でドメイン ABCD の四つの通信を行っている。これによって他の三つの AP を動作させる必要がなくなる。

しかしながらこの方法を実現するには 2 つの要求条件が存在する。

まず、1 つの AP で複数のドメインのポリシーやサービスを実現する必要がある。ドメインはドメインごとに、認証方式やアドレスの割り当て方、セキュリティの規則や優先制御などを決定する独自のポリシーを持っている。またドメインによって、サーバから提供されるメールやウェブページなどのサービスは異なる。現在の AP は一つの AP で一つのドメインのネットワークしか扱えないため複数のドメインのポリシーやサービスを実現できない。

また、通信を維持する仕組みが必要である。機能の移動によりトラヒックはそれまでとは異なる経路を通ることになるため、ルーティングの変更が必要になる。しかし、1 つの AP に異なるドメインのアドレスが複数存在するため、互いにプライベートなアドレスを使用していた場合はアドレス重複の可能性があり、ルーティングが困難になる。また、他のドメイ

ンの AP を利用する場合は、データリンク層 (L2) レベルで自分のドメインと通信できなくなるため、自分のドメインのポリシーやサービスのうち受けられなくなる可能性がある。

### 3. Virtual Access Point (VAP)

本節では、2章で述べた要求条件を満たす Virtual Access Point (VAP) の実現機構とその経路構築について提案する。PhyAP アーキテクチャは仮想化技術を用いて1つの PhyAP 上で複数の VAP の動作を可能にする PhyAP の仕組みである。また、VAP を Live Migration により PhyAP 間を移動させる。経路構築では L2 フラットネットワークを構築する。L2 フラットネットワークとは VAP を使用するドメインネットワークごとに作成される仮想的なデータリンク層 (L2) のネットワークである。VAP を持つ PhyAP が L2 フラットネットワークに参加することで MN の通信が可能となる。また、L2 フラットネットワークは互いに分離しているため、ドメインごとにリソースを管理することが可能である。

#### 3.1 PhyAP アーキテクチャ

PhyAP アーキテクチャは仮想ホスト、仮想化マネージャ、ポリシープレーン、VAP マネージャ、有線インタフェース、無線インタフェースの六つの要素からなる。仮想化マネージャは仮想化技術による仮想計算機を動作させるためのプログラムである。VAP マネージャは VAP を管理するためのプログラムである。VAP マネージャは仮想化マネージャを通じた仮想ホストの作成やポリシーの適用や仮想インタフェースの作成を行う。また、ドメインごとのポリシーは VAP マネージャが作成するポリシープレーンで実現する。VAP 間でポリシーがコンフリクトしない場合には各 VAP の要求する全てのポリシーを実現することが可能である。しかしながら、VAP の要求するポリシーが許容する通信帯域幅などの通信リソースを超える場合にはポリシーを実現することができない。そのような場合は各ポリシーを合理的に制限できる仕組みが必要である。従ってドメインごとのポリシーは仮想ホストの OS 上で実現するのではなく PhyAP 上の VAP マネージャによって実現・管理する。

VAP は仮想ホスト、ポリシープレーン、仮想有線インタフェース、仮想無線インタフェースの四つの要素からなる。仮想ホスト上でドメインごとのサービスが実現される。ポリシープレーンは各ドメインのポリシーを実現する設定等のデータであり、ファイアウォール等ドメインごとのポリシーを実現する。また、VAP は AP であるため通信を行うためのインタフェースを持つ。このインタフェースは仮想インタフェースとして作成され、PhyAP のインタフェース上に多重化される。

MN から VAP へデータを送信する際は、MN は VAP マネージャの作成した仮想無線

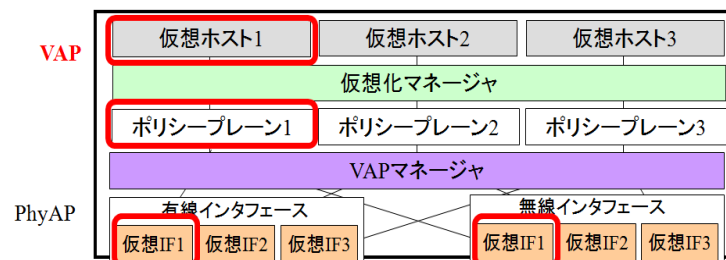


図 3 PhyAP アーキテクチャ  
Fig.3 PhyAP architecture

インタフェースにネゴシエーションし接続する。MN がデータを送信すると仮想無線インタフェース、ポリシープレーンを通して仮想ホストにデータが渡される。この際に MN の所属するドメインのポリシーがあれば適用される。また、仮想ホストではドメインごとのサービスが動作している。VAP がブリッジとして動作している場合はデータはブリッジングされ、ルータとして動作している場合は仮想ホストにおいてルーティングが行われる。

#### 3.2 VAP マイグレーション

VAP マイグレーションはある PhyAP 上で動作している VAP を他の PhyAP へ移動する仕組みである。既存の仮想化技術による Migration の機能に VAP のポリシーとインタフェースの情報の移動を追加する。VAP マイグレーションは移動先の PhyAP に同様の仮想化技術が用いられていれば異なるドメイン間でも可能である。VAP マイグレーションは仮想ルータのマイグレーション<sup>10)</sup>を参考にしている。

まず移動元の PhyAP から移動先の PhyAP へ通信経路を作成する。これは次節で述べる L2 フラットネットワークを用いる。L2 フラットネットワークにより、制御情報が NAT やファイアウォールを通過することを可能にする。次に移動元の PhyAP から移動先の PhyAP へ VAP のポリシーとインタフェースの情報を転送する。この際、VAP が保持する SSID や IP アドレスや MAC アドレスも移動されるため、VAP は移動した後も移動前と同様の SSID やアドレスを使用する。そして移動先の PhyAP 上で VAP マネージャがポリシープレーンと仮想インタフェースを作成する。次に仮想化技術による仮想ホストのマイグレーションを行う。最後に移動元の PhyAP のポリシーと仮想インタフェースを削除する。

VAP マイグレーションにおいて VAP のダウンタイムは仮想ホストのマイグレーションの移動におけるメモリの移動中のみである。VAP マイグレーションとして加えたポリシー

と仮想インタフェースの移動は一定時間移動元と移動先の両方の PhyAP に同時に存在する。従って VAP マイグレーションにおいてポリシーとインタフェースの移動中にはダウンタイムにはなく、仮想化技術におけるマイグレーションのみにダウンタイムは影響される。また、同一のインタフェースが同時に存在している最中は、両方の PhyAP のインタフェースでデータを受信するが、仮想ホストはどちらか一方の PhyAP にしか存在しないため、2つの AP から同一のデータが転送されることはない。

### 3.3 L2 フラットネットワーク

L2 フラットネットワークとはデータリンク層 (L2) レベルの通信が可能である仮想的なネットワークである。L2 フラットネットワークはドメイン L2 フラットネットワークと管理 L2 フラットネットワークの2つに分けられる。ドメイン L2 フラットネットワークは、VAP を使用するドメインごとに作成することで通信の分離を実現する。また、管理 L2 フラットネットワークを作成することで、リソースの管理を実現する。

#### 3.3.1 ドメイン L2 フラットネットワーク

ドメイン L2 フラットネットワークは VAP を扱うドメイン上を横断して実現される仮想的な L2 のネットワークである。また、ドメイン L2 フラットネットワークは次節で説明する管理 L2 フラットネットワークのサブネットワークとして構成される。

ドメイン L2 フラットネットワークでは移動前のドメインと移動後のドメイン間で L2 フレームのトンネリングを行う。なぜなら、一般的に AP は MN からの通信をネットワークにブリッジングするからである。VAP が移動した後であっても、一般的な AP と同様に自身が所属するネットワークへ L2 フレームを転送できる必要がある。そこで L2 フレームのトンネリングを行うことでネットワークへの L2 での接続を可能にする。

また、ドメイン毎にドメイン L2 フラットネットワークの作成を行う。なぜなら、PhyAP には複数のドメインの VAP が存在することが想定されるため、各ドメインのトラフィックに対してそれぞれ異なる処理を可能にするためには通信を区別する必要があるからである。

L2 フラットネットワークの概要を図4に示す。物理ネットワーク上にはドメイン A とドメイン B があり、ドメイン A には PhyAP-A とホスト-A、ドメイン B には PhyAP-B とホスト-B が存在する。ドメイン B は VAP-B を PhyAP-A へ VAP マイグレーションし、MN-B をネットワークへ接続するため、ドメイン A をカバーするドメイン L2 フラットネットワークを作成している。VAP マイグレーションはドメイン B-L2 フラットネットワーク上で行われる。この際、ドメイン B-L2 フラットネットワークは L2 の仮想ネットワークであるため、VAP の移動は同じネットワーク上での移動であり、L3 におけるルーティングテ

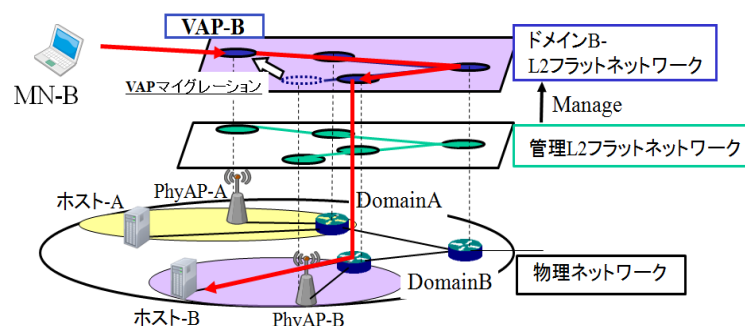


図4 L2 フラットネットワーク  
Fig. 4 L2 flat network

ブルの更新は必要ない。そして管理 L2 フラットネットワーク上で、ドメイン A とドメイン B の PhyAP やドメイン L2 フラットネットワークを構成するルータに対して情報の収集と指示が行われる。また、赤い矢印は MN-B がホスト-B と通信を行う際のパケットの通り道を示している。MN-B は VAP-B に接続しており、ドメイン B-L2 フラットネットワークによりドメイン B に所属していることになる。MN-B から送信されたパケットは VAP-B を通り、ドメイン A のルータ、ドメイン B のルータと中継されてホスト-B へ到達する。

#### 3.3.2 管理 L2 フラットネットワーク

管理 L2 フラットネットワークはドメイン L2 フラットネットワークを作成するための L2 フラットネットワークであり、全ての VAP やドメイン L2 フラットネットワークのハードウェア・ネットワークリソースの情報を扱う。あるドメインの VAP が VAP マイグレーションを行いたい場合、移動先の PhyAP に既に多数の VAP が存在する場合、リソースの関係上それ以上 VAP を保持できないことがある。また、MN の増加により、別の PhyAP へ VAP を移動させなければならないことも起こりうる。これらの状況に対処するため、管理 L2 フラットネットワークによりリソース状況などの情報の収集・管理を行う。

管理 L2 フラットネットワークはドメイン L2 フラットネットワークと機構は同一であるが、VAP を扱う全てのドメインにわたってネットワークを作成する点が異なる。従ってドメイン L2 フラットネットワークのトポロジは管理 L2 フラットネットワークのトポロジのサブグラフとして表すことができる。ハードウェア・ネットワークリソースの情報は PhyAP の VAP マネージャから送信される。

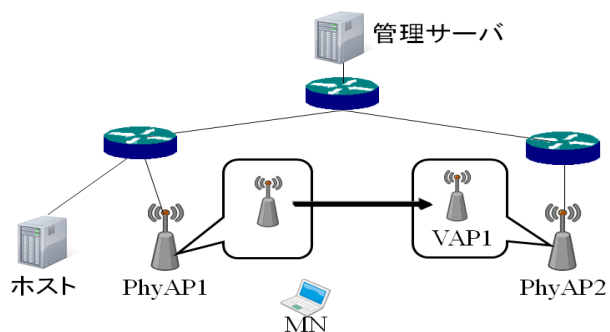


図 5 VAP 実装トポロジ  
Fig. 5 Topology of the VAP implementation

#### 4. プロトタイプの実装と評価

本節では、提案のプロトタイプの実装について説明する。

##### 4.1 実装環境

実装を行った環境を図 5 に示す。VAP の構築は現実的な環境で行うために、実際に無線ネットワークを扱う 2 部屋で行った。両 AP は直線距離で 20m ほど離れている。また、近隣の部屋にも実験とは無関係である実際のドメインのネットワークがあり、20 から 30 程度の無線ネットワークが稼働している。

実線部分のリンクは 100Base-T で結線されている。両ドメインのネットワークにはそれぞれルータと PhyAP とホストが 1 つずつある。両ルータはルーティングを行うことでネットワーク間の通信を可能にする。PhyAP とホストはルータの下位に接続されている。また、2 つのドメインのネットワークの間には、上位のネットワークが存在する。上位のネットワークには各ドメインのネットワークのルータ・PhyAP を管理するためのサーバである管理サーバが配置されている。

次にプロトタイプの実装に使用した計算機を示す。

- ルータ  
有線インタフェースを 2 つ持つ。1 つは上位ネットワークに、もう 1 つは自分のネットワークに接続される。また、L2 フレームのトンネリングのため、Virtual Private Network(VPN) の 1 つである OpenVPN 及び IEEE802.1q による VLAN を実装した。
- PhyAP

2 つの無線インタフェースと 1 つの有線インタフェースを持つ。複数の無線インタフェースは PhyAP アーキテクチャを実現する際に、無線の仮想インタフェースを作成するために用いられる。また、無線インタフェースには Atheros 社のチップを搭載するものを使用した。Atheros 社のチップの Madwifi により、MAC アドレスを変更した。

- 仮想ホスト  
仮想有線インタフェースを 2 つ持つ。1 つは PhyAP の有線ネットワーク側の仮想有線インタフェースとブリッジされる。もう 1 つは PhyAP の無線ネットワーク側の仮想無線インタフェースとブリッジされる。
- 管理サーバ  
ルータと PhyAP を管理するための管理アプリケーションが動作している。有線インタフェースを 1 つ持つ。また、VAP における仮想ホストの OS イメージを持ちネットワークを通じたマウントを提供する。
- ホスト  
有線インタフェースを 1 つ持ち、ストリーミングサーバとして MN に動画を提供する。
- 無線端末  
無線インタフェースに GW-US54GXS を使用した。また、VAP マイグレーション前と後を通してホストから動画を受信する。

##### 4.2 プロトタイプシステムの評価

VAP のプロトタイプシステムを用いて、PhyAP1 から PhyAP2 へ VAP1 の移動実験を行った。これにより、アドレスや SSID などの無線部分も含め VAP を移動できること、また、VAP マイグレーション後も MN において動画を受信でき、MN の通信を維持しながら VAP を移動できることを確認した。

また、プロトタイプシステムのオーバーヘッドを計測した。計測は無線通信部分における不安定さを取り除くため、有線部分のみにおいて行った。結果を表 1 に示す。通常のネットワークとは提案手法を用いていない、つまり VAP が存在しない場合のネットワークでのホストから PhyAP1 までの通信経路を表している。VAP 移動前の経路はホストから PhyAP1 内に構築された VAP1 まで通信を行った場合の通信経路である。VAP 移動後の経路は VAP1 を PhyAP2 へ VAP マイグレーションした後、ホストから PhyAP2 内の VAP1 まで通信を行った場合の通信経路である。表 1 より、VAP 移動後のスループットの低下を 10%程度に抑制でき、遅延の増加を 1ms 以下に抑制できていることがわかる。

表 1 有線における L2 フラットネットワークのオーバヘッド  
Table 1 The overhead of the L2 flat network in the fixed line

	最大スループット (Mbps)	遅延 (ms)
通常のネットワーク	94.58	0.417
VAP を構築 (移動前)	93.75	0.545
VAP を構築 (移動後)	83.32	1.377

スループットの低下や遅延増加の理由としては、ルータ間でパケットをカプセル化しトンネリングしているためであると考えられる。1つのパケットの大きさが増加し、1秒間に送信できるパケットの量が減少する。また、カプセル化のための処理の時間が必要となる。そのため、ルータの受信バッファの溢れが発生する。これによりパケットロスが起こり、パケットロスに影響され、スループットが低下していると考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、APの機能と機器の分離・移動を実現するための、仮想化技術を用いることによるAPの仮想化及びその経路構築について述べた。

APは各ドメインの管理者がそれぞれ自由に配置・設定するため、干渉を起こすほど高密度に設置されることが少なくない。既存の研究であるAPの最適配置や最適選択などでは通信品質を改善する研究が行われているが、現実にAPの最適な配置・選択を行うにはドメインを考慮する必要がある。そのため、APの機能と機器の分離・移動が考えられた。しかしそれには、1つのAP上で複数のポリシーやサービスを実現する必要や通信を維持する仕組みが必要であるといった2つの要求条件を満たさなければならない。

そこで、本稿では仮想化技術を用いたVirtual Access Point(VAP)を実現する機構とその経路構築の方法について提案を行った。PhyAPアーキテクチャは仮想化技術を用いて複数のVAPを保持する構造である。VAP同士は互いに独立しており別々に独自のポリシーを保持することができる。また、VAPをMigrationによりPhyAP間を移動させる。L2フラットネットワークはVAPを使用するドメインネットワークごとに作成するLayer2のネットワークであり、これによりMNと他のノードの通信を維持する。

VAPのプロトタイプシステムの実装を行い、実際の環境においてVAP移動後であってもMNの通信を維持できることを確認した。また、VAPのオーバヘッドを計測した結果、VAPによる最大スループットの低下を10%程度に抑制できることを確認した。

## 参考文献

- 1) Tsuyoshi Hamaguchi, Takuya Komata, Takahiro Nagai, and Hiroshi Shigeno. A framework of better deployment for wlan access point using virtualization technique. *3rd International Workshop on Data Management for Wireless and Pervasive Communications. DMWPC 2010*, pp. 968–973, April 2010.
- 2) 濱口毅, 小俣拓也, 永井隆博, 重野寛. アクセスポイントの最適配置における仮想化技術を用いた実現手法の検討. 第17回DPSワークショップ, Vol. 2009-DPSWS-17, No.9, pp. 221–226.
- 3) 永井隆博, 濱口毅, 小俣拓也, 重野寛. 無線lanアクセスポイント仮想化とその経路制御の検討. 情報処理学会第72回全国大会, pp. 1–23–1–24, 3 2010.
- 4) R.C. Rodrigues, G.R. Mateus, and A.A.F. Loureiro. On the design and capacity planning of a wireless local area network. *Network Operations and Management Symposium, 2000. NOMS 2000. 2000 IEEE/IFIP*, pp. 335–348, 2000.
- 5) M.Kobayashi, S.Haruyama, R.Kohno, and M.Nakagawa. Optimal access point placement in simultaneous broadcast system using ofdm for indoor wireless lan. *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2000. PIMRC 2000. The 11th IEEE International Symposium on*, Vol.1, pp. 200–204 vol.1, 2000.
- 6) Jane-Hwa Huang, Li-Chun Wang, and Chung-Ju Chang. Deployment strategies of access points for outdoor wireless local area networks. *Vehicular Technology Conference. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st*, Vol.5, pp. 2949–2953 Vol. 5.
- 7) Iordanis Koutsopoulos and Leandros Tassiulas. Joint optimal access point selection and channel assignment in wireless networks. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, Vol.15, No.3, pp. 521–532, 2007.
- 8) Youngseok Lee, Kyoungae Kim, and Yanghee Choi. Optimization of ap placement and channel assignment in wireless lans. *Local Computer Networks, 2002. Proceedings. LCN 2002. 27th Annual IEEE Conference on*, pp. 831–836, Nov. 2002.
- 9) Y.Matsunaga and R.H. Katz. Inter-domain radio resource management for wireless lans. *Wireless Communications and Networking Conference, 2004. WCNC. 2004 IEEE*, Vol.4, pp. 2183–2188 Vol.4, March 2004.
- 10) YiWang, Eric Keller, Brian Biskeborn, Jacobus vander Merwe, and Jennifer Rexford. Virtual routers on the move: live router migration as a network-management primitive. In *SIGCOMM '08: Proceedings of the ACM SIGCOMM 2008 conference on Data communication*, pp. 231–242, New York, NY, USA, 2008. ACM.