

# 無線アクセスポイントリンク WAPL の実装と性能評価

小島崇広 市川祥平 竹尾大輔 渡邊晃  
名城大学大学院理工学研究科

**あらまし** インターネットの普及に伴い、いつでもどこからでもネットワークに接続できる無線 LAN の要求が高まっている。そこで、我々は無線 LAN のアクセスポイントどうしをアドホックネットワークで結合することにより容易に無線 LAN エリアを拡大できる WAPL (Wireless Access Point Link) を提案している。本稿では、WAPL のアーキテクチャを検討しそれに基づいて実装を行った。また、評価の結果、有効なシステムを構築できることがわかった。

## Implementation and Performance evaluation for Wireless Access Point Link

Takahiro KOJIMA Syouhei ICHIKAWA Daisuke TAKEO Akira WATANABE  
Graduate School of Science and Technology, Meijo University

**Abstract** With the spread of the Internet, the demand for wireless LANs, that can offer network environments anywhere and anytime, has been increasing. We have proposed WAPL(Wireless Access Point Link) that can expand wireless LAN areas easily. It couples access points in wireless LANs with an adhoc network technology. We have studied the architecture of WAPL and realized the system. From the result of evaluations, it is said that WAPL is quite useful.

### 1. はじめに

インターネットの急速な普及、通信端末の小型化、高性能化などの技術革新に伴い、時間や場所を気にせず、いつでも、どこでも通信したいという要求が高まっている。そこで、無線 LAN を通信インフラとして用いるサービスが注目されている。近い将来、あらゆるものが無線でネットワーク化された新たなサービスが提供されることが想定できる。しかし、無線 LAN は通信範囲が限られるため、インフラとして整備するためには多数のアクセスポイント(AP)の設置が必要となる。無線 LAN では AP を有線で接続するのが一般的であるため、AP の設置に多大な費用と時間を伴うのが現状である。また、一度 AP を設置してしまうと、移設や増設が困難であるので計画的な配備が必要である。そこで、AP 間を無線で結合できればこのような

課題が解決され無線 LAN サービスエリアの拡大が容易になると考えられる。

AP 間を無線で結合する考えはメッシュネットワークと呼ばれ、インフラを簡単に確立できる方式として注目されている。Multihop-Wireless LAN (M-WLAN) [1]-[4], Tropos Netwroks[5], ThinkTube[6]など様々な技術が現時点で存在している。また、IEEE802.11s 委員会においては標準化作業が進められようとしている。しかし、使用を一般に公開しているものはほとんどなく、その性能も不明である。AP 間の結合にはアドホックネットワークによるマルチホップ通信を利用するものが多いが、マルチホップ通信で用いるルーティングプロトコルはシステムによって異なり、M-WLAN は、MENET[7]の OLSR[8], ThinkTube は同じく AODV[9], Tropos Netwroks は、独自の PWRP(Predictive Wireless

Routing Protocol)を採用している。メッシュネットワークによって端末間の通信を実現するためには、どの端末がどの AP の配下にいるかをあらかじめ知っておく必要があり、この実現方法によりシステムの特長や性能が決まる。M-WLAN では、OLSR を改良することによって、すべての AP がすべての端末と AP との関係を持することによりこれを実現している。この方法では、端末数が増加すると、AP が管理するテーブルの量が多くなり、AP 間で交換するトラフィックが増大するという課題がある。Tropos Networks, ThinkTube に関しては実現方式に関する詳細な情報は公開されていない。

そこで、我々は端末からの通信要求があった時点で、随時必要なテーブルをオンデマンドで作成することにより、テーブル量の増加を抑えるとともに、AP 間の制御トラフィックを大幅に減少させることができる WAPL(Wireless Access Point Link)を提案している [10][11]。本稿では、WAPL を実装し、性能評価を行ったのでその結果を報告する。

以下、2 章で WAPL の紹介、3 章で実装、4 章で性能評価について述べ、5 章でまとめを行う。

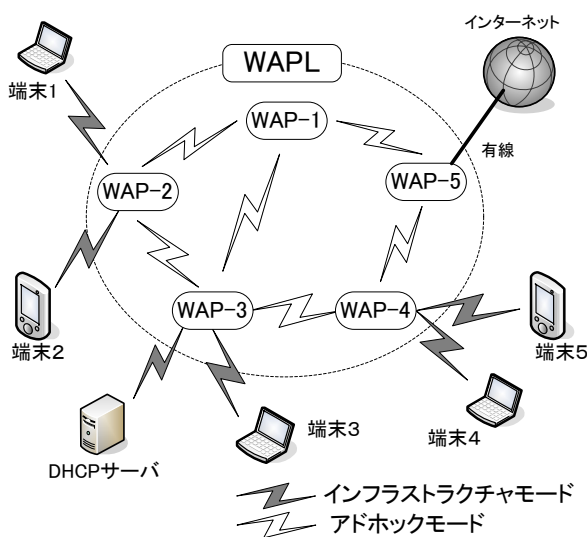


図1 WAPL の構成例

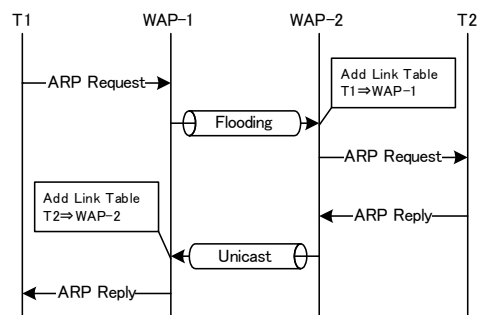


図2 リンクテーブル生成シーケンス

## 2. WAPL について

### 2.1 WAPL の概要

WAPL の構成例を図 1 に示す。ここで、WAPL における AP を以後 WAP(Wireless Access Point)と呼称する。

WAP は、無線 LAN のインターフェースを 2 つ持つ、一方はアドホックモードによるマルチホップ通信で WAP 間の通信を行い、もう一方はインフラストラクチャーモードで配下の端末との通信を行う。マルチホップ通信のルーティングプロトコルには一切手を加えないため任意のプロトコルを選定することができる。端末間通信パケットは最寄りの WAP でカプセル化・デカプセル化することにより WAP 間を中継し宛先端末に到達する。端末からは WAP によるネットワーク全体が一つの LAN のように見える。そのため、WAPL 内では端末は自由に移動することが可能である。

### 2.2 リンクテーブル

WAPL はアドホックネットワークのルーティングテーブルの他に、リンクテーブルと呼ぶ独自のテーブルを保持する。リンクテーブルは通信したい相手端末がどの WAP に所属しているかという対応情報を保持している。これは端末が通信を開始する際にオンデマンドで生成する。リンクテーブル生成のトリガーに通信開始に先立って MAC アドレス解決のために実行されるは ARP(Address Resolution Protocol)[12]を使用する。

図 2 は端末 1 が端末 2 へと通信を開始する際のリンクテーブル生成シーケンスである。端末 1 が ARP 要求

パケットを送信すると、WAP-1はこれをブロードキャスト IP アドレスでカプセル化し、他の WAP にフラッディングする。これを受け取った各 WAP はデカプセル化を行い、配下のネットワークへブロードキャストする。同時に ARP 要求パケットの内容から端末 1 が WAP-1 の配下に存在するというリンクテーブルを生成する。端末 2 はこの ARP 要求に対して、ARP 応答パケットを端末 1 宛にユニキャストする。WAP-2 は、この ARP 応答パケットを受け取ると先ほど生成したリンクテーブルに従って、ARP 応答パケットを WAP-1 の IP アドレスでカプセル化し、WAP-1 へと送信する。WAP-1 はこのパケットを受け取るとデカプセル化をして配下の端末 1 に送信すると同時に、APR 応答パケットの内容から端末 2 が WAP-2 の配下にいるというリンクテーブルを生成する。以後の通信は、リンクテーブルに従ってカプセル化/デカプセル化が実行される。なお、リンクテーブルは一定時間参照されなければ自動的に削除される。本方式によれば、リンクテーブルはオンデマンドで必要な時だけ生成されるため、テーブル量が少なくすむうえ、WAP 間のアドホックネットワークにかかわる制御パケットの通信量が増加することはない。ARP のフラッディングは通信開始時に 1 回だけ実行されるので、トラヒック圧迫の要因とはならない。

### 2.3 WAPL のアーキテクチャ

WAPL のアーキテクチャを図 3 に示す。WAPL は、APF(Access Point Function) と CAPF(CAPsulation Function)の 2 つの機能から構成される。

APF は、インフラストラクチャ側の通信パケットを Ethernet パケットに変換するもので、一般の AP と全く同じ機能を持つ。CAPF は、Ethernet パケットをアドホックネットワークを用いて遠隔の CAPF に送り届けるための機能で、以下に示すようにパケットをカプセル化/デカプセル化し、Ethernet をエミュレートする。

図 2 の端末 1 から端末 2 へデータ転送する場合を例に WAPL の動作を説明する。端末 1、端末 2 はそれぞれ

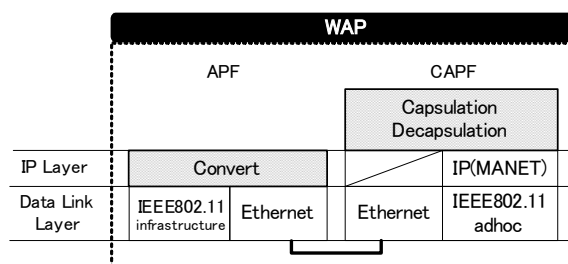


図 3 WAPL アーキテクチャ

れ WAP-1 と WAP-2 の配下に存在しているものとする。WAP-1 の APF は端末 1 から無線パケットを受け取ると Ethernet パケットに変換して CAPF へと転送する。CAPF では、上記 Ethernet パケットを受け取るとそのまま CAPF の処理へと引き渡し、リンクテーブルを参照して WAP-2 宛の IP アドレスにより Ethernet パケットごとカプセル化を行う。上記パケットを受信した WAP-2 の CAPF は、デカプセル化により Ethernet パケットを取り出し、そのまま Ethernet に送信する。APF はこのパケットを無線パケットへ変換して端末 2 へと送信する。このように、CAPF が Ethernet を完全にエミュレートすることによって、端末は WAP を意識することなく Ethernet による環境と同様の通信を行うことができる。

Ethernet を完全にエミュレートしているので、DHCP[13]-[15]、DNS、デフォルトゲートウェイなど全て Ethernet によるシステムと同様に使用できる。また、端末の移動時に AP のベンダによっては AP 間で独自に情報を交換し、効率的なハンドオーバーを実現している場合があるが、この手順もそのまま適用できる。

WAPL では端末の IP アドレス取得には DHCP を使用する。ただし、DHCP による IP アドレス取得の際には ARP が飛ばないため、DHCPDISCOVER/OFFER パケットでも ARP パケット同様にリンクテーブルを生成するよう考慮している。DNS とデフォルトゲートウェイに関しては DHCP の自動設定を利用できるため既存のシステムに何も手を加える必要はない。

端末がハンドオーバーした時には、端末の ARP キャッシュがクリアされるため、移動後には必ず端末から ARP が再度送信される。よって、この ARP を使うこ

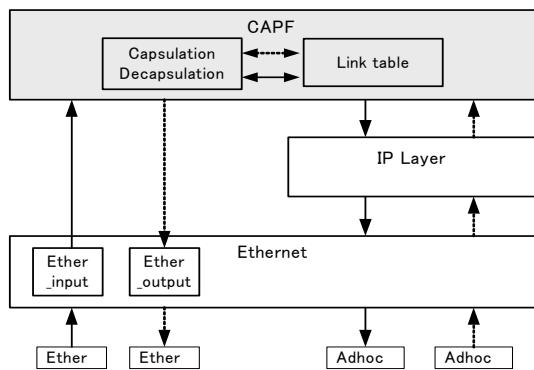


図4 CAPFの実装概要

とによりハンドオーバー後のリンクテーブル書き換えが可能であり、WAPLにおけるハンドオーバーがうまく実現できる。

### 3. 実装

試作として APF を市販の AP, CAPF を PC により実現し, Ethernet で結合した. OS にはオープンソースで, ネットワーク関連の情報や処理内容の資料が多い FreeBSD(5.4-RELEASE)を採用した. 図4にCAPFの実装概要を示す. 点線はアドホックのインターフェース側から受信したパケットの処理, 実線は APF 側からのパケットを受信した処理を示す. APF 側からのパケットは, データリンク層の ether 入力処理から CAPF に渡され, カプセル化処理されたパケットは IP 層に渡される. また, アドホック側インターフェースからのパケットは, IP 層のから CAPF に渡され, デカプセル処理された後, データリンク層の ether 出力処理へと渡され, APF へと送信される.

表1 実験端末スペック

| PC(CAPF)           |                     |
|--------------------|---------------------|
| CPU                | Pentium M 1.7GHz    |
| RAM                | 512MB               |
| Wireless Interface | IEEE802.11g         |
| OS                 | FreeBSD 5.4-RELEASE |
| AP(APF)            |                     |
| WLA-G54(BUFFALO)   |                     |
| IEEE802.11g        |                     |

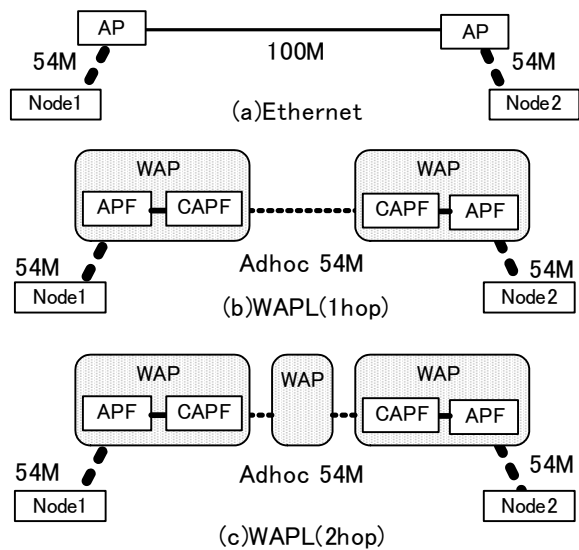


図5 測定システムの構成

このようなアーキテクチャであることから, CAPF は IP 層の内容と独立しており, アドホックのルーティングプロトコルは必要に応じて自由に選択できる. 今回の実装ではルーティングプロトコルとして MANET の OLSR を採用した.

### 4. 性能評価

試作した WAP によりシステムを構築し性能評価を行った. 測定システムの構成を図5に示す. 図5における無線通信には全て IEEE802.11g の 54Mbps を使用した. (a)は AP 間が Ethernet で結合されている場合との比較用で, AP 間を 100BASE で接続している. (b)は WAP を 2 台使用した構成 (1 ホップ) で, (c)は WAP を 3 台使用した構成 (2 ホップ) である. WAP に使用した PC(CAPF)および, AP(APF)の仕様を表1に示す. エンド端末にも, 同一仕様の PC を使用した.

#### 4.1. 処理時間の測定

端末1から端末2へ ping を実行し, 端末の無線インターフェース, CAPF の Ethernet 側インターフェース, アドホック側インターフェースを LAN アナライザ Ethereal でキャプチャし, WAP の処理にかかる時間の測定を行った. 表2に測定結果を示す. CAPF におけるカプセル化の処理時間は 0.055msec, デカプセル化

表2 処理時間の計測結果

|                                 | delay    |
|---------------------------------|----------|
| Node1(IF) - CAPF1(etherIF)      | 1.342 ms |
| CAPF1(etherIF) - CAPF1(adhocIF) | 0.055 ms |
| CAPF1(adhocIF) - CAPF2(adhocIF) | 1.059 ms |
| CAPF2(adhocIF) - CAPF2(etherIF) | 0.035 ms |
| CAPF2(etherIF) - Node2(IF)      | 2.045 ms |
| Node1(IF) - Node2(IF)           | 4.537 ms |

の処理時間は0.035msecであり、APFでの処理や無線通信にかかる遅延時間と比べ十分に処理時間が短いことがわかる。

#### 4.2 RTTの測定

図5において、端末1から端末2に向かってPingを100回実行し、Round Trip Time(RTT)の測定を行った。結果を表3に示す。表3の結果から、1hopではethernetの約2倍、2hopでは約4倍の時間を要していることがわかる。CAPFでの処理は表2のように高速であるため、遅延時間がこのように大きくなるのは無線通信部分の遅延時間の影響だと考えられる。

また、2hopのときの最大値が他の測定結果と比べて非常に大きくなっているが、これは、OLSRによるルーティングテーブルの更新が原因と考えられる。実際、RTT測定中のデータを解析したところ、OLSRのTCによるルーティングテーブルの更新(5秒間隔)に同期してRTTが大幅に増加する現象が見られた。今回はOLSRを用いて評価を行ったが、Reactive型プロトコル(AODV等)を利用して、再度検証を行う必要がある。

#### 4.3 スループット比較

図5における構成で、端末1、端末2間のTCPスル

表3 RTT測定結果

|         | ethernet | WAPL      |            |
|---------|----------|-----------|------------|
|         |          | 1hop      | 2hop       |
| Minimum | 1.377ms  | 2.6670ms  | 3.8370ms   |
| Average | 2.641ms  | 5.2165ms  | 11.3146ms  |
| Maximum | 21.208ms | 24.0130ms | 212.1060ms |

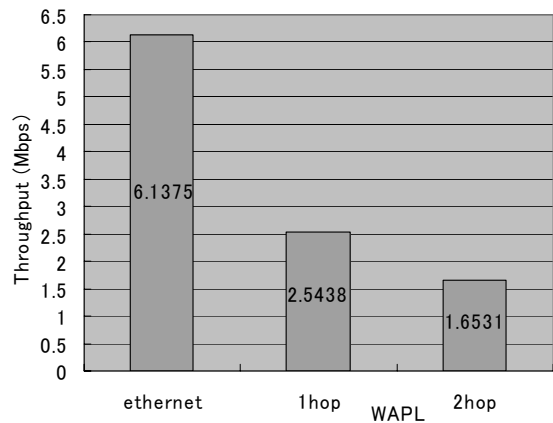


図6 TCPスループット測定結果

ープットを測定した。それぞれ1hopと2hopを測定した。測定にはIperf[16]を使用し、ウィンドウサイズは8000byteで10秒間の測定を30回行った。測定結果を図6に示す。1hopの場合においてもethernetに比べて、スループットが約半分に低下するという結果が得られた。

#### 5. 結び

本稿では、無線LANのAP同士をアドホックネットワークで結合することにより容易に無線LANエリアを拡大できるWAPLのアーキテクチャについて説明し、そのアーキテクチャに基づいて実装、動作確認を行った。また、遅延時間、pingのRTT、TCPスループットの測定を行い、Ethernetの場合との比較を行った。今後は、2hop以上における安定動作の実現、WAPLに適したアドホックルーティングプロトコルの再選定を進めていく予定である。

#### 文献

- [1] K.Mase, et al., "Wireless LAN with Wireless Multihop Backbone Network", IEEE ICWLHN 2001.pp349-358, 2001
- [2]大和田泰伯, 間瀬憲一, "無線マルチホップLANの通信方式の検討とスループット評価", 電子情報通信学会 信学技報(2002)

- [3]大和田泰伯, 間瀬憲一, “M-LAN における LAN エミュレータの実装と性能評価”, 電気情報通信学会総合大会, SB-9-4(2002)
- [4]大和田泰伯, 照井宏康, 間瀬憲一, “無線マルチホップ LAN のアーキテクチャにおける検討” 信学技法, 2004-11
- [5] <http://www.tropos.com/>
- [6] <http://www.thinktube.com/>
- [7] IEEE Home Page. <http://www.ietf.org>
- [8]T.Clausen P.jacquet, “Optimized Link State Routing Protocol” (OLSR)REC3626 Oct.2003
- [9]C.Perkins S.Das, “Ad hoc on-Demand Distance Vector” (AODV) RFC3561 July 2003
- [10]市川祥平, 渡邊晃, アクセスポイントの無線化を実現する WAPL の方式, DCOMO2005 July.2005
- [11]小島崇広, 市川祥平, 渡邊晃, 無線アクセスポイントリンク “WAPL” の立上げ方式, DCOMO2005 July.2005
- [12] Plummer, D., "An Ethernet Address Resolution Protocol", RFC 826, November 1982
- [13] B.Croft, and J.Gilmore, “Bootstrap Protocol (BOOTP)”, RFC951 (1985)
- [14]R.Droms, “Dynamic Host Congiguration Protocol”, RFC2131 (1997)
- [15]S.Alexander, and R.Droms, “DHCP Options and BOOTP Vendor Extensions”, RFC2132 (1997)
- [16]<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>