

無線アクセスポイント間通信「WAPL」のインターネット接続方法の研究

加藤 佳之 渡邊 晃

近年、無線 LAN を使用した公衆通信サービスが注目を集めている。このような無線 LAN をベースとした通信システムの整備には多数のアクセスポイントの設置が必要となるため、多大な費用と時間を要することとなる。我々は、アクセスポイント間を無線で結合することにより、上記の問題を解決する WAPL(Wireless Access Point Link)を検討している。WAPLには未検討部分が存在している。その一つに WAPL からのインターネットアクセスがある。インターネット接続可能となることで WAPL の応用範囲が広がることが期待される。本研究では WAPL におけるインターネット接続方法の詳細を述べる。

Researches on connection between Wireless Access Point Link and the Internet

Yoshiyuki Kato Akira Watanabe

In recent years, a public communication service used wireless LAN has attracted considerable attention. Development the system that based on wireless LAN requires setting many access points, so that needs many costs to develop and spending times. We researches WAPL (Wireless Access Point Link) that resolves this issue by wireless inter-access point linking. There is something grounded that has not been implemented in WAPL. One of things, WAPL internet access. Application range of WAPL will be wider by internet connection. In this research, I will describe further details about WAPL internet access method.

1 章.はじめに

近年、通信端末の小型化やインターネットの普及をうけて、時間や場所に縛られず、自由に通信を行いたいという要求が高まっている。こうした状況で、無線 LAN をインフラとして用いる公衆インターネット接続サービスが注目されており、今後の拡大が予想されている。

無線 LAN の通信エリアを広げるためにはアクセスポイント(AP)の整備が不可欠である。AP の通信範囲は限られているため、インフラとして用

いるためには相当数の設置が必要となる。しかし、既存の AP は有線で結合されることが一般的であり、AP の設置に多大なコストと時間を費やす必要がある。また、AP に障害が起こった場合の取り替え作業や、トラフィックの増大に応じた、AP の増設も難しい。このような問題を解決するため、我々は無線で AP 間を結合して、容易に無線通信エリアを拡大することが可能な”WAPL”(Wireless Access Point Link)[1]を検討している。

WAPL は AP 間の通信を無線化するためさまざまな応用が可能である。たとえば、各車両内に AP を設置することで容易に車車間が実現できる

[2]. また、大災害により通信が破壊された状況下でも、AP を災害地に投下することで通信環境の速やかな回復が可能となる[3].

WAPL は上記のような特徴や応用が可能な技術であるが、未検討部分が存在する。そのひとつにインターネット接続の方法が挙げられる。インターネットに接続することでこれまで WAPL 内部に限られていた通信が、外部とも通信可能となり、より実用的なシステムとなる。

本文献の 2 章では WAPL に関連する技術として WDS(Wireless Distribution System) , IEEE 802.11s, M-WLAN[4]について説明を行う。3 章では我々が研究している WAPL の説明を行う。4 章では WAPL のインターネット接続方法の検討と評価を行う。最後に 5 章でまとめと今後の課題を考察する。

2 章.関連技術

2.1 IEEE 802.11s

メッシュネットワークの標準化に向けて IEEE 802.11 Task Group s (TGs) [5]が設立されている。メッシュネットワークとは WDS(付録参照)を発展させたシステムでより大規模なアクセスポイント間通信として認識されている。

そのためホーム、オフィスにとどまらず、災害、軍事、公衆アクセスなど幅広い用途を想定している。IEEE802.11s ではこのようなネットワークを構成するための機器としてメッシュ機能を有し、端末と通信を行う MAP(Mesh Access Point), お互いが通信を行い、ネットワーク範囲の拡大に寄与する MP(Mesh Point), 既存の LAN に接続するゲートウェイとしての役割を担う MPP(Mesh Portal Point)が提案されている(図 2.1)[6]. 通信の経路制御は 3.2 で述べる MANET で議論されているものをベースにして無線 LAN 特有のメトリックを導入したアドホックルーティングプロトコルを用い

る。スパニングツリーによるものに比べて帯域への負担が少ないため、より効率の良いデータ転送が可能である。IEEE 802.11s の具体的な仕様、および標準化される時期に関しては 2005 年 9 月現在、IEEE 802.11 TGs において標準化のための検討が行われている段階であるため未定である。

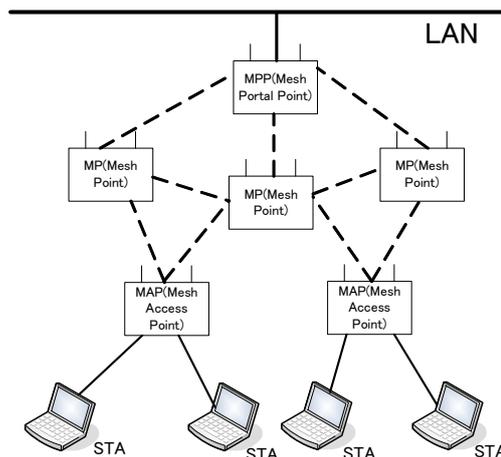


図 2.1. IEEE802.11s のモデル

2.2 M-WLAN

M-WLAN (Multi-hop Wireless LAN) はメッシュネットワークの実現方法の提案のひとつとして新潟大学で検討されているものである。現時点で詳細な仕様が公開されている唯一の方式である。この方式では 3 章にて解説する WAPL と同様に 2 つの無線インターフェースを用いる特殊な AP を使用する。無線インターフェースはそれぞれ端末間接続と AP 間接続用で使用される。

M-WLAN では複数のアーキテクチャが提案されている。本文献では LAN エミュレーション方式について解説する。同方式は配下端末から受け取った Ethernet フレームをそのまま UDP パケットにカプセル化し、目的の AP へと転送する方式である。

AP が目的の端末の接続している AP へ適切にフレームをルーティングするために AP は目的の端末の MAC アドレスと端末が所属している AP の MANET 側のアドレスを把握する必要がある。そ

ここでルーティングテーブルを拡張し、ネットワークのすべての端末と AP の対応関係を記録する(図 2.2).

このテーブルを生成するために AP は自分が所属している端末の MAC アドレスを定期的にフラッシュする。以上の処理により M-WLAN による無線 AP 間通信が実現する。

M-WLAN は上記のようにすべての AP がそれぞれの AP の配下端末の MAC アドレスを記録するため、テーブルが肥大化する。また、そのために通常の通信以外でも頻繁にフラッシュする必要があるためネットワーク全体の性能低下が懸念される。

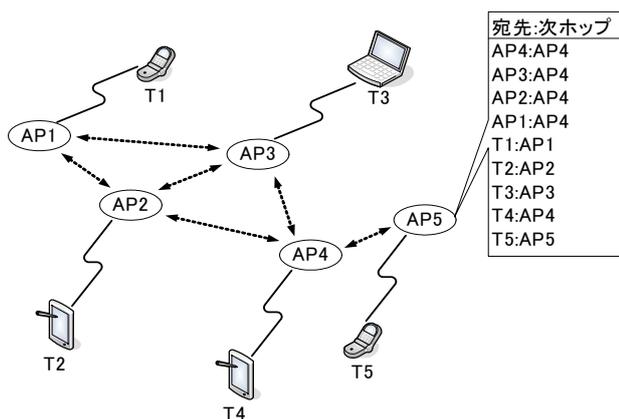


図 2.2. M-WLAN 拡大ルーティングテーブル

3 章.WAPL

3.1.WAPL の概要

WAPL(Wireless Access Point Link)は無線結合を可能とする特別な AP を使用する。この AP を以後、WAP(Wireless Access Point)と呼称する。WAP は 2 つのインターフェースを装備している。一方は AP モードに設定し、インフラストラクチャモードの端末と通信をおこなう。他方はアドホックモードに設定し、WAP 間の通信を行うインターフェースとして用いる。

WAPL による通信例を図 3.1 に示す。

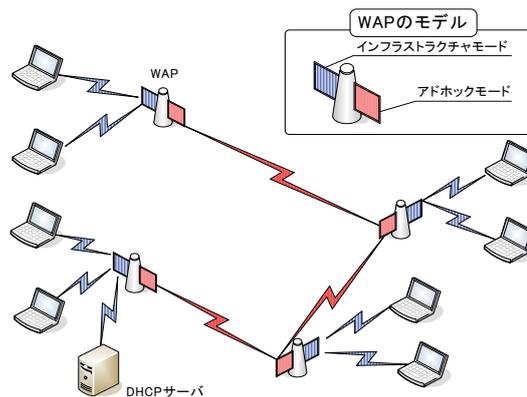


図 3.1. WAPL の通信例

WAP 間の通信には MANET(Mobile Ad-hoc Network)のルーティングプロトコルを適用し、マルチホップ通信による無線結合を行う。これにより有線接続を介さない AP 間通信を可能としている。端末はネットワーク全体が一つの LAN のように見えるため、WAPL 内の他の端末と自由に通信をする事が可能となる。WAPL 内の端末の IP アドレスは DHCP[7]サーバを配置して配布する。

WAPL は 3.4 で述べるリンクテーブルを用いることにより M-WLAN のようなルーティングテーブルを拡大して適用する方式に比べてテーブルサイズを最小限に保つことができ、フラッシュングパケットの肥大化や制御パケットを削減している。また、MANET アドホックルーティングプロトコルに変更を加えないため、WAPL の適用目的に合わせてルーティングプロトコルを変更することが容易である。現段階では WAPL のアドホックルーティングプロトコルには OLSR[8]を採用している。

3.2 リンクテーブル

カプセル化されたパケットが適切に宛先端末の接続する WAP へ転送されるようにするためにリンクテーブルを用いる。リンクテーブルは端末の MAC アドレスとその端末の所属する WAP のアドホック側の IP アドレスの対応関係を記録したテ

ープルである。リンクテーブルは通信開始時に必ず実行される ARP によりオンデマンドで生成される。リンクテーブル生成シーケンスを図に示す。

WAP が ARP Request パケットを端末から受け取るとブロードキャストアドレスでカプセル化をして他の WAP にフラッディングする。上記 ARP を各 WAP が受け取るとデカプセル化し、ARP Request パケットを配下端末に転送すると同時にリンクテーブルを作成する。次に WAP が配下端末からの ARP Reply を受け取ると、先ほど生成したリンクテーブルを参照してカプセル化した ARP Reply パケットをユニキャストで送信元 WAP に転送する。上記 ARP Reply を受け取った WAP は配下端末に ARP Reply を転送すると同時にリンクテーブルを生成する。その後の端末間の通信はリンクテーブルを用いて行われる。

リンクテーブルは一定時間の参照が行われないと自動的に削除される。

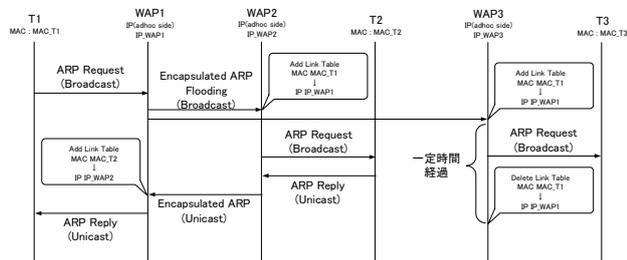


図 3.2. WAPL リンクテーブルシーケンス

リンクテーブルをオンデマンドで作成することで WAP が持つ経路表を最小限にとどめることができ、ネットワークトラヒックの増加を少なくすることができる。

3.3 アーキテクチャと実装

WAP は IP 層と MAC 層にて動作するシステムである。現状の実装では WAP 機能を APF と CAPF という 2 つのモジュールの集合体として考えている。APF は従来のアクセスポイントと同様に配下の端末とパケットの送受信を行う役割を担う部

分である。そして APF は IEEE802.11 無線 MAC レイヤと Ethernet を変換する役目も担っている。

CAPF は APF から受け取ったパケットを MAC 層から Ethernet フレームを含めて取り出し、IP パケットにカプセル化する処理を担う。カプセル化されたパケットは相手端末の所属する WAP へ MANET のルーティングプロトコルによりマルチホップで転送する。受信側 WAP は上記パケットを受け取るとデカプセル化を行い、配下の端末に転送する。

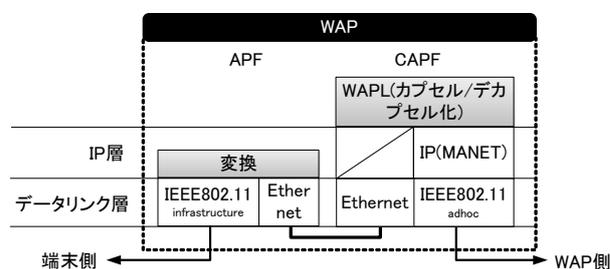


図 3.3. WAP のアーキテクチャ

現在は試作として APF は市販の AP, CAPF は PC により実現し、両者を Ethernet で接続している。CAPF は FreeBSD 5.4 Release に実装している。CAPF の実装は ether_input() と ether_output() に WAPL で定義したシステムコールの組み込み、加えて CAPF の動作を行う WAPL モジュールを追加している(図 3.3)。

ether_input() に組み込んだシステムコールにより APF 側より受け取ったパケットは Ethernet フレームを含めて取り出される。取り出したパケットはアプリケーション層にて IP によりカプセル化処理が行われる。このときカプセル化したパケットの宛先ヘッダにはリンクテーブルから参照した WAP のアドホック側の IP アドレスが付与される。

カプセル化されたパケットを受け取ると WAPL モジュールがデカプセル化を行う、カプセル解除されたパケットはそのまま APF 側に転送される。また 3.4 で述べたように ARP メッセージによるリ

リンクテーブルの生成が行われるためデカプセル機能からはリンクテーブルへの登録処理が行われる。

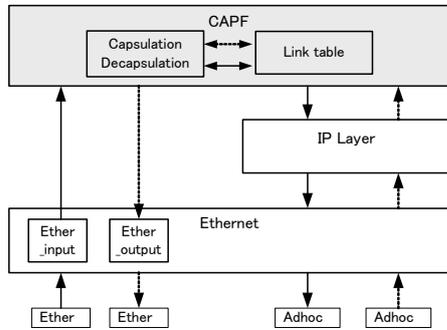


図 3.4. WAP の実装図

4.WAPL のインターネット接続

4.1 インターネット接続の形態

WAPL のインターネット接続には2つの考え方がある。ひとつはすべての WAP をインターネット接続のゲートウェイとする考え方である。これは WAP を車車間通信に利用する用途において、個々の WAP がそれぞれインターネット接続したいときに有効である(図 4.1)。その理由として

- ・車両のような移動体はリンク状態が不安定
- ・端末同士は直接、通信ができなくてもインターネットに接続したい要求がある

などが挙げられる。

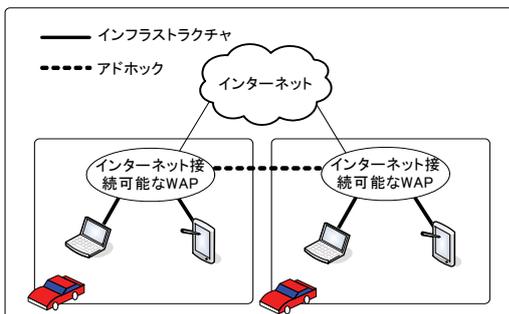


図 4.1. WAPL のインターネット接続 1

もうひとつはインターネットに接続できる特殊な WAP を準備し、WAPL 内部の全端末がそこを経由してインターネットに接続する考え方である。これは WAPL を通信インフラとして用いる場

合に有効である(図 4.2)。その理由として

- ・ WAP は基本的に移動を行わない
 - ・ WAPL 内の端末のインターネット接続を一元的に管理できる
- などが挙げられる。

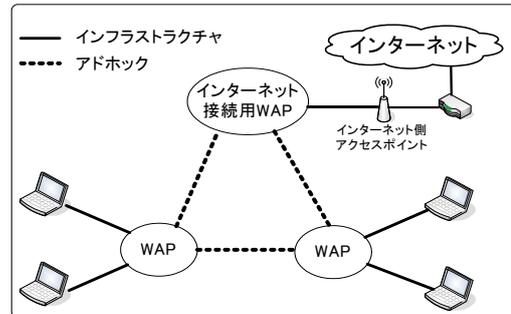


図 4.2. WAPL のインターネット接続 2

本研究では後者に焦点を当てた WAPL のインターネット接続の検討を行った。

4.2 GWAP

3.3 および3.4 で述べたようにカプセル化とリンクテーブルにより WAPL は Ethernet をエミュレートしている。WAPL をインターネット接続するにはこの特性を生かす。Ethernet ベースの LAN では、同一ネットワーク内に設置されたデフォルトゲートウェイを経由してパケットを上流ネットワークに転送する。

WAPL においても同様の考え方を採用し、WAP 内の Ethernet インターフェースにルータ機能を接続する。このような WAP を GWAP と呼称する。GWAP のアーキテクチャを図 4.3 に示す。

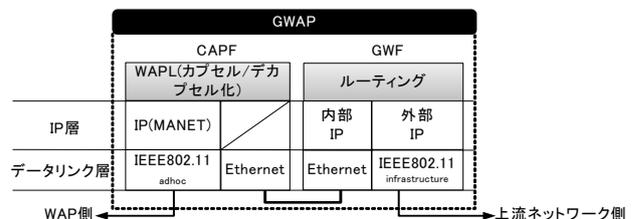


図 4.3. GWAP のアーキテクチャ

GWAP は配下の端末を持たない特別な WAP である。GWAP のインフラストラクチャ側のインタ

一フェースに向けたパケットは外部向けインターフェースに転送される。このルーティング機能と外部向けインターフェースを GWF と定義する。GWF の実装として WAP 用 PC にルータ機能を付加し、上流ネットワークにインフラストラクチャモードでつながるインターフェースを追加している。

4.3 GWAP の二重化

WAP を通信インフラとして用いるためにはデフォルトゲートウェイを二重化し、信頼性を確保する必要がある。LAN では同一ネットワーク内で指定できるデフォルトゲートウェイは一般的に 1 つである。そのため単に GWAP を二重化してもデフォルトゲートウェイと指定した GWAP が障害を起こすと WAPL 内の端末はすべてインターネットへ接続できなくなる。これに対処するために GWAP に VRRP[9]を適用することを検討した。VRRP はデフォルトゲートウェイ冗長化のために利用できる技術であり、RFC3768 で規定されている。

VRRP は初期状態でデフォルトゲートウェイとなるルータをマスタールータ(以下 MR)と呼称し、それ以外のルータをスレーブルータ(以下 SR)と呼称する。MR の IP アドレスを端末に割り当てるデフォルトゲートウェイの IP アドレスとする。MR は一定間隔で VRRP メッセージをマルチキャストで送信する。SR は VRRP メッセージから MR の存在を確認している。MR に障害が発生すると SR が VRRP メッセージの停止を確認し新たな MR(NMR)となる。このとき SR は MR の IP アドレスと自身の IP アドレスを同時に持ち、MR の機能を代行する(図 4.4)。

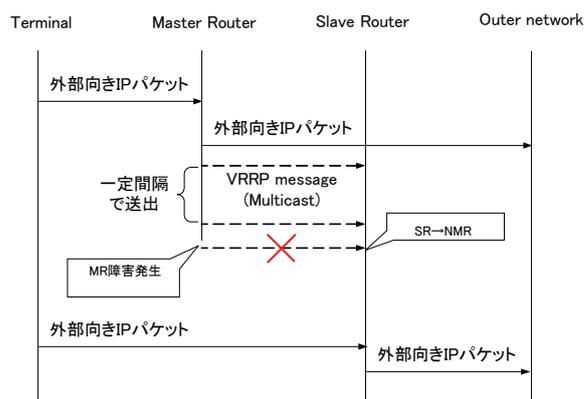


図 4.4. VRRP のシーケンス

WAPL に VRRP を適用した GWAP を検討した。GWAP として MR に相当するマスター GWAP(M-GWAP)と SR に相当するスレーブ GWAP(S-GWAP)を定義する。M-GWAP は一定間隔で VRRP メッセージをマルチキャストする。M-GWAP が障害を起こすと、S-GWAP は VRRP メッセージの停止を確認し新たにマスター GWAP(NM-GWAP)となる。このとき Ethernet ベースのネットワークとの違いは、GWAP 以外の WAP のリンクテーブルに変化がないためデフォルトゲートウェイが変わったことを感知できない事である。この状態で端末がインターネット向けのパケットを送信すると、WAP は M-GWAP に転送してしまう。

これを回避するために S-GWAP が NM-GWAP になったことをトリガにして Gratuitous ARP(NW-GWAP 自身の IP アドレスを宛先アドレスとした ARP)パケットを送信する機能を新たに実装する。これにより各 WAP の NM-GWAP に関するリンクテーブルが書き換えられて、パケットの転送が可能となる(図 5)。上記のように、WAPL においてもデフォルト経路を冗長化した外部接続が可能となる。

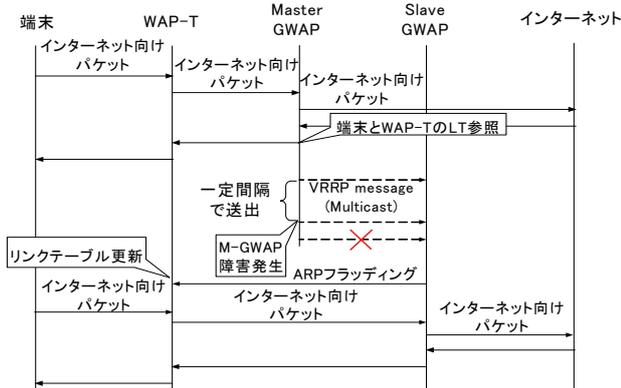


図 4.5. VRRP を適用した GWAP のシーケンス

4.4 評価

一般の LAN におけるデフォルトゲートウェイの冗長化の場合，SR から MR への切り替わり後の動作は各端末がデフォルトゲートウェイ宛の ARP Request パケットを送信することで宛先 MAC の更新を行うことができる。

対して本方式では WAPL による AP 間ネットワークの Gratuitous ARP パケットのフラッディングを行う必要がある。大規模なネットワークではフラッディングによるオーバーヘッドにより，LAN の場合に比べてデフォルトゲートウェイの切り替えに遅延が発生する可能性がある。しかし，WAPL が想定する規模におけるフラッディング時間は十分に短く，実用範囲内であると考えられる。

5. まとめ

AP 間の接続の無線化を行うメッシュ技術の関連研究と本研究で検討している WAPL の解説を行った。それをふまえて WAPL をインターネット接続するための方法を検討し，ルータ機能を付加した特別な WAP である GWAP をネットワーク中に配置して，各端末のデフォルトゲートウェイとすることで解決を試みた。加えてインフラとしての信頼性を確保するために VRRP の適用による

GWAP の二重化を行った。

今後は GWAP の二重化の検証を行い，本研究の有効性を調べる。また，今回，4.1 にて提示した個々の WAP がインターネットへ接続する形態のシステムの検討を進めていく。

【参考文献】

[1]“アクセスポイントの無線化を実現する WAPL の方式”

市川祥平，渡邊晃 DICOMO2005，Vol.2005，No.6，pp.225-228，Jul.2005.

[2]“WAPL を適用した車車間通信の実現”

大石泰大，増田真也，渡邊晃 DICOMO2005，Vol.2005，No.6，pp.153-156，Jul.2005.

[3]“災害時における電子メールを利用した安否通信方法の検討”

竹山裕晃，渡邊晃 DICOMO2005，Vol.2005，No.6，pp.657-659，Jul.2005.

[4]“無線マルチホップ LAN のアーキテクチャにおける検討”

大和田泰伯，照井宏康，間瀬憲一 電子情報通信学会 信学技報 2004-11 pp.25-30

[5]IEEE P802.11 - TASK GROUP S - MEETING UPDATE” Status of Project IEEE 802.11s”

(http://www.ieee802.org/11/Reports/tgs_update.htm)

[6]“IEEE 802.11 TGs: An Introduction”

Shyamal Ramachandran (Motorola,Inc) IEEE C80216mmr-05/014，2005-09-14

(http://www.ieee802.org/16/sg/mmr/contrib/C80216mmr-05_014r1.pdf)

[7]R.Droms， “ Dynamic Host Congiguration Protocol”，RFC2131(1997)

[8] T.Clausen P.jacquet，“Optimized Link State Routing Protocol”(OLSR) RFC3626 Oct.2003

[9] R. Hinden, Ed.“Virtual Router Redundancy Protocol“(VRRP) RFC3768 April 2004

謝辞

本研究を行うにあたり、多大なる指導とご鞭撻をいただきました、渡邊晃教授に心より感謝いたします。
また、有益な助言および検討をいただいた渡邊研究室の皆様に深く感謝します。

附録

参考 1. WDS

WDS はアクセスポイントの通信を中継するリピーターの役割をもち、いくつかの市販のアクセスポイントにも搭載されている。WDS の概念図を示す。

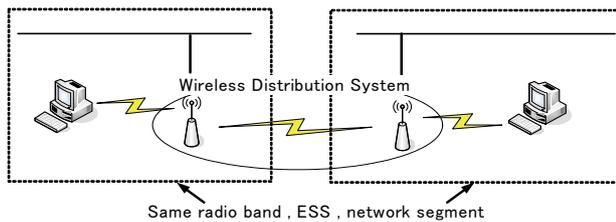


図 2.1. WDS のモデル

WDS は同じ周波数帯と ESS(Extended Service Set)-ID, ネットワークセグメントを持った AP 間で動作する。このようなネットワークにおいて送信元の端末が接続している AP は端末より受け取ったパケットを送信先が接続する AP に転送する。これにより直接 AP に接続していない端末へのデータ転送を実現している。また経路のループ回避のためにスパニングツリーを使用している。WDS は基本的な仕様のみを規定しており、具体的な実装はベンダーで独自に行われる。そのため WDS は相互接続性が低い。

またスパニングツリーによる制御のためにスループットが低下しやすいという欠点を持つ。そのためオフィスやホームネットワークのような小規模なシステムでの運用にとどまっている。

参考 2. アドホックルーチングプロトコル

IEEE802.11 の MAC 層では端末同士が直接通信を行うアドホックモード(IBSS : Independent Basic Service Set)が定義されている。3.1 で述べたように、WAPL は WAP 間の接続をこのアドホックモードと MANET(Mobile Ad-hoc Network)が標準化を行

っているアドホックルーチングプロトコルによって実現している。MANET は IETF のワーキンググループのひとつで、複数のアドホックルーチングプロトコルを Internet Draft として提案している。

アドホックルーチングプロトコルは動作の仕方によって大きくリアクティブ形とプロアクティブ形の 2 種類に分類される。前者はノードが通信を開始した段階で経路表の作成を始める方式である。この方式の長所はノードが通信処理を行うまで、必要な動作がないことからノードの電力の消費を抑えられること、ネットワーク全体のオーバーヘッドが少ないことが挙げられる。その反面、通信開始までに時間を要すること、ノード数の多い通信システムの構築には向かないことが短所として挙げられる。そのため小規模な無線アドホックネットワークや移動体の通信などに用いられている。後者はノードが一定間隔で経路情報を取得し、あらかじめ経路表を作成する方式である。一定間隔で経路表を更新しているため、ノードが常にネットワーク全体の最新の経路情報を把握でき、通信の開始の遅延が抑えられるが、常にノード間で通信を行っているため、電力消費が激しく、ネットワーク全体のトラフィックも上昇する傾向がある。そのため、比較的大規模なネットワークの構築や移動の少ないネットワークでの運用に適している。

前者を代表するプロトコルとして、AODV, DSR などが挙げられる。後者を代表するプロトコルとしては OLSR, TBRPF などが挙げられる。