

障害に強い公衆無線 LAN の検討

永井 順也 伊藤 将志 渡邊 晃

名城大学理工学研究科情報工学専攻

地震等の災害時には、被災情報の配信や安否確認などの情報通信の必要性が高まる。混乱している被災者に確実な情報を与え、正しい行動をうながすことは二次災害の防止に役立つ。そのため、破壊されたネットワークの復旧や、新たなネットワークの構築など通信網の早急な整備が必要となる。特に断線による障害はネットワークが有線接続しているために発生する。そこで、被災地に無線メッシュネットワークを構築して、障害に強いインフラ網として利用する方法が研究されている。本研究では公衆無線 LAN の AP 自体に無線メッシュネットワーク機能を追加し、通常時は一般の AP として、高速で安定した有線経路を使い、被災時に有線や AP に障害が起こると AP が必要に応じて無線メッシュネットワークに移行し、即座にネットワークを復旧させる方法を提案する。

Proposal of public wireless LAN robust in a disaster

Junya Nagai Masashi Ito Akira Watanabe

Graduate School of Science and Technology

Meijo University

At the time of disaster, such as an earthquake, the demand of information such as the safety confirmation rises. It is very important of prevention of secondary damage to give disaster victims accurate information and press a correct action. Thus, it is necessary to rebuild a broken network or build a new network immediately. Especially, the trouble by disconnection is caused by cable connection. Therefore, the method of making infrastructure strong for troubles by building the Wireless Mesh Network has been studied. In this paper, we propose a robust wireless LAN system, which can be smoothly recovered from the destruction state when access points or wires connecting access points are broken by the disaster. In this system, we add functions of the Wireless Mesh Network into the access point used as public wireless LAN.

1. はじめに

地震等の災害時には、被災情報の配信や安否確認などの情報通信の必要性が高まる。混乱した状態の中で、適切な情報を被災者に早急に与え、正しい行動をうながすことは二次災害の防止に役立つ。被災者の安否情報を確実に周りの人間に知らせることも、混乱を緩和させるためには非常に重要である。我が国においては阪神・淡路大震災後、災害対策に関するサービスの提供や研究が活発に進められるようになった。これまで実用化された災害対策としては、災害伝言ダイヤル[1]による安否確認サービスやインターネットや携帯電話網を使った災害用伝言板サービス[2][3]がある。これらのサービスは膨大な数の通話が回線を混雑させてしまうことを防ぐためのものである。しかし、これらのサービスでもネットワークが物理的に破壊されてしまつてはサービスを利用することができない。そのため、破壊されたネットワークの復旧や、新たなネットワークの構築など、通信網の早急な整備方法を検討することは重要である[4]-[7]。

そこで、被災地に無線メッシュネットワーク[8]-[14]を構築し

て、障害に強いインフラ網として利用する方法が研究されている[4]-[6]。無線メッシュネットワークは無線 LAN アクセスポイント(AP)間の接続を、有線ケーブルを利用せず、無線アドホックネットワークの技術を用いて無線化する。パケットを AP 間で中継する際、互いに無線範囲の届かない AP 間では、中間に位置する AP がパケットを中継する。さらに AP は自律的に経路を形成する機能を持っている。このため、AP を適切に設置していくだけでネットワークを素早く柔軟に拡張することができる。このように、無線メッシュネットワークは被災時の早期インフラ復旧システムとして有効である。

無線メッシュネットワークを使った災害支援を扱う研究としては、山古志ねつと[4][5]や、スカイメッシュ[6]等がある。これらの研究を災害へのアプローチの違いから分類すると、無線メッシュネットワークを通常時からインフラとして利用する常時インフラ型と、災害が起こった後に臨時的インフラ網を構築する臨時インフラ型に分けられる。前者の方法は、無線メッシュネットワーク自体が安定した通信ができるものではなく、遮蔽物や天候などの影響を受けやすいといった問題点が指摘されている[4]。そ

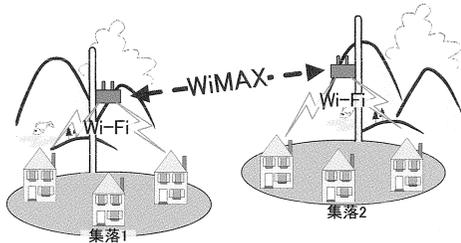


図 1 山古志ねっと概要

れに対して、被災時に一から無線メッシュネットワークを構築する臨時インフラ型は有用である。しかし、以下に示すような様々な課題がある。まず、AP を設置したい場所に電源があるとは限らない。電池を使うにしても、本来のネットワークが復旧するためにかかる時間を考えると、最低でも一週間は電源を維持する必要がある[7]。次に、臨時のインフラとして、外部との通信が不可欠である。そのため、無線メッシュワークと外部ネットワークをつなぐ経路の速やかな発見と確保が必要である。被災地で外部への経路を確保しようとしても、被災によりネットワークがどのように壊れるかを予測することは難しい。また、AP を誰が設置するかという課題もある。ボランティアが設置者となる場合には事前に講習などを受けてもらう必要が生じる。さらに、被災後一からインフラ網を構築するため、被災直後から、インフラが利用可能となるまでに空白の時間が発生することは避けられない。そのため、被災直後に求められる安否確認と被災状況の情報を迅速に得ることが出来ない。このような多くの課題を全て解決するのは容易ではないと考えられ、後者の方法だけでは有用なシステムを提供できない。そこで、本論文では新しいアプローチとして、通常の公衆無線 LAN に利用する AP に無線メッシュネットワーク機能を持たせる。

現在、公衆無線 LAN のサービスは局所的に提供されている場合が多い。公衆無線 LAN は町内に AP を設置し、無線 LAN クライアントを搭載したモバイル機器が、AP の提供する電波範囲内で無線通信を利用できるサービスである。有料サービスでは、BB モバイルポイント、Mzone・mopera U、livedoor Wireless、無料サービスでは FREESPOT、FON などがあり、それぞれが独自に事業展開を行っている。ユーザがサービスを利用するには、どの事業者も ID とパスワードによる認証を必須としている。また、事業者ごとにサービス提供範囲が異なるため、町内でも自分の加入している事業者のサービスエリアを探すには苦労を要する。事業提携などにより、異なる事業者の間でローミングが利用できる場合もあるが、いずれにせよ、サービスはまだ局所的なため、本格的な普及には至っていない。しかし、最近では、動画など、リッチコンテンツに対する需要増加による回線の増強の必要性や、iPhone に無線 LAN クライアントが搭載された経緯などから、近い将来、高速で安定した無線ネットワークを提供する公衆無線 LAN が普及すると思われる。

公衆無線 LAN の AP 同士は、有線で接続されており、安定した通信が可能である。しかし、被災時では有線が切れてしまうと外部との通信が出来なくなる。さらに AP は障害が発生したことを自身の配下端末に通知する手段がなく、配下端末は障害の発生した AP に接続し続けてしまうという問題がある。

現時点では公衆無線 LAN は、まだ本格的な普及には至ってい

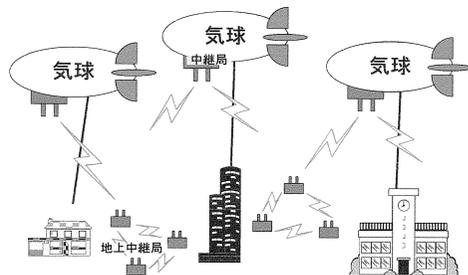


図 2 スカイメッシュ概要

ないが、今後の普及が期待できる分野である。そこで、本研究では公衆無線 LAN の AP 自体に無線メッシュネットワーク機能を追加し、通常時は一般の AP として、高速で安定した有線経路を使い、被災時に有線や AP に障害が起こると AP が必要に応じて無線メッシュネットワークに移行し、即座にネットワークを復旧させる方法を提案する。

さらに、本研究では、無線 AP を管理する管理サーバを準備し、公衆無線 LAN が普及した時、各地に設置された AP との通信で、有線部分の障害箇所を特定する。なお、提案方式は無線メッシュネットワーク WAPL(Wireless Access Point Link)[15]をベースに、様々な機能を追加することによりその実現方法を検討した。

以下、2 章では既存システムとその課題について整理し、3 章では WAPL と提案システムのモデルについて述べる。4 章では提案システムの実装方法について説明し、5 章で評価を行い、最後に 6 章でまとめる。

2. 既存システム

2.1. 山古志ねっと

山古志ねっとの概要を図 1 に示す。山古志ねっとは無線メッシュネットワークで旧山古志村に点在する集落を結ぶ。集落内では、集落をカバーするように AP を配置し、AP 間はモバイルアドホックネットワークで接続する。数カ所の遠く離れた集落どうしは WiMAX で接続する。通常はコミュニティーネットワーク、インターネット接続、遠隔医療などに利用する。災害時は安否登録と安否確認、外部からの災害状況のモニタリングに利用できる。山古志ねっとは中山間地に経済的に展開・構築し、災害に強いネットワークを構築できる。しかし、無線メッシュネットワーク自体が安定した通信ができるものではなく、遮蔽物や天候などの影響を受けやすいといった問題点が指摘されている[4]。そのため、現時点では無線メッシュネットワークによって、通常時にインターネット接続サービス等として、十分な帯域を常に確保することは難しく、常用インフラと災害に強いネットワークを両立するにはまだ課題がある。

2.2. スカイメッシュ

スカイメッシュの概要を図 2 に示す。スカイメッシュは災害発生直後から 1 週間程度の通信サービス空白の期間に、無線メッシュネットワークを使った臨時のインフラを提供するものである。スカイメッシュでは気球に無線 LAN の中継局を搭載し、地上高 50m~100m に設置することで通信の長距離伝送を可能とする。また、必要に応じて地上にも中継局を設置する。スカイメッシュはこれらの中継局を無線メッシュネットワークで接続することで臨時のインフラを構築する。スカイメッシュを構築する機材は、



図 3 WAPL の概要

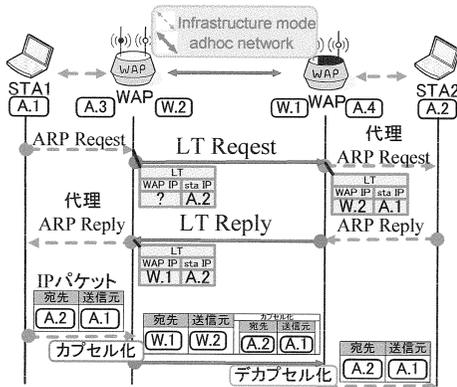


図 4 LT の生成シーケンス

通常時には自治体や通信事業者等により各拠点に備蓄され大規模災害時にはトラックやヘリコプターにより、被災地へ輸送される。しかし、電源確保、無線メッシュワークと外部ネットワークをつなぐ経路の速やかな発見と確保、インフラが利用可能となるまで時間を必要とするなどの課題がある。また、既に被災地で AP を利用して、端末がインターネット等に接続していた場合、利用不能となった AP からスカイメッシュの AP への接続の切り替えをユーザが意識しなければならない。災害時にスカイメッシュが形成されても、ネットワークの知識の乏しいユーザは、有線部の断絶により外部ネットワークへの接続が不可能となった AP を利用し続けてしまう可能性がある。

3. 提案方式

3.1 WAPL の概要

本提案のベースとなる WAPL の概要を図 3 に示す。WAPL では WAPL 独自の AP を WAP(Wireless Access Point)と呼称する。WAP はインフラストラクチャモードとアドホックモードの無線インタフェースを持つ。インフラストラクチャモードのインタフェースは一般の AP と同様に無線端末と接続する。アドホックモードのインタフェースは WAP 同士で無線アドホックネットワークを形成する。無線端末は離れた通信相手に対して、中間に位置する WAP を中継して通信することができる。無線端末が通信を開始する前に、WAP とそれに所属している無線端末の対応関係(以下、マッピング情報)がわかっている必要があるが、WAPL ではマッピング情報をオンデマンドで生成するため、制御パケットの負担が少ない。また、WAPL は無線アドホックネットワークのルーティング機能とは独立しており、ルーティングプロトコルを自由に選択できる。さらに、WAP が端末の通信の状況を常に監視することにより、端末が移動してもパケットロスのないシーム

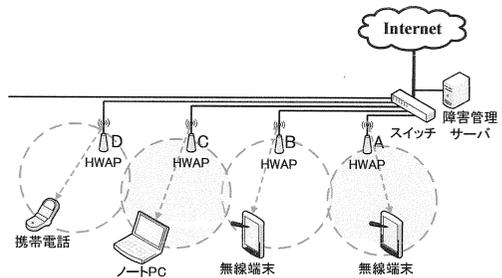


図 5 提案システムによる公衆無線 LAN の構成

レスなハンドオーバーを実現できるなどの特徴がある。

3.2 WAPL の通信方式

WAP は無線端末が通信開始する際の ARP 処理をトリガとして、WAP とその配下の無線端末のマッピング情報を WAP 間で交換し、LT (Link Table) と呼ぶテーブルを生成する。LT の生成シーケンスを図 4 に示す。WAP は端末からの ARP 要求を受信すると、他の WAP へ LT 生成要求メッセージ(LT Request)を広告する。LT Request には探索端末の IP アドレスと送信元端末の IP アドレスと MAC アドレスが記載されている。LT Request を受信したすべての WAP は自身の LT に送信元端末と送信元 WAP の IP アドレスの対応を記憶する。配下に目的の探索端末が存在することを確認した WAP は、ユニキャストで送信元 WAP に LT 応答メッセージ(LT Reply)を返す。LT Reply には探索端末と送信元端末の IP アドレスと MAC アドレスが記載されており、送信元 WAP は LT Reply を受け取ると、自身の LT に探索端末と、その端末が所属する WAP の IP アドレスの対応を記憶する。以上の動作により、互いの WAP に LT が生成され、以後のデータパケットは WAP 間のアドレスにより IP カプセル化されて中継される。

3.3 HWAP

提案システムにより構築された公衆無線 LAN の構成を図 5 に示す。提案システムでは AP の代わりに HWAP(Hybrid Wireless AP)と呼称する。無線メッシュネットワーク機能を追加した AP を配置する。HWAP の詳細は 3.4 節以降に記述する。各 HWAP と障害管理サーバはスイッチで接続されており、障害管理サーバは HWAP の状態を常時監視する。提案システムでは HWAP が障害により有線が切断され、ネットワークから孤立すると、必要に応じて無線メッシュネットワークに移行し、周辺の健康な HWAP から最適な物を選択してパケットを中継させる。それぞれの HWAP が障害を即座に検知し、自動的に中継処理を行うことで、迅速な復旧を可能にする。

3.4 HWAP の状態遷移

HWAP にはそれぞれ固有の ID を付加し、設置位置と対応付けて管理サーバに記録する。HWAP の状態遷移概要を図 6 に示す。HWAP は 3.3 節で説明するヘルスチェックによって自身の状況を判断し、AP State, Mesh State, Relay State の 3 つの状態に動的に遷移する。

AP State :

通常の AP として動作する。自分自身と、近隣の AP がともに障害のない健康な状態。通常の AP として、インフラストラクチャモードで配下の無線端末と通信する。自身の有線が断線すると

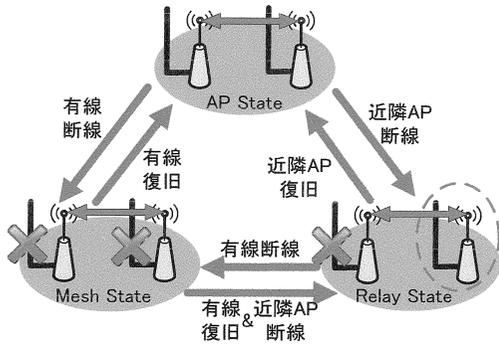


図 6 HWAP 状態遷移概要

Mesh State に、近隣 AP の有線が断線すると Relay State に遷移する。

Mesh State :

従来の WAP として動作する。有線との接続が断線して外部ネットワークと孤立した状態。近隣の健康な HWAP を探し、パケットを中継してもらう。有線が復旧すると AP State に、有線が復旧し、近隣に有線から切断された AP がいた場合は Relay State に遷移する。

Relay State :

WAP の有線側のゲートウェイ、および通常の AP として動作する。自分自身は健康であるが、近隣に Mesh State の HWAP もしくは WAP が存在する状態。近隣 AP からの中継要請を受けて、アドホック側から受け取ったパケットを有線側に中継する。近隣の AP が断線から復旧すると AP State に、自身の有線が断線すると Mesh State に遷移する。

3.5 ヘルスチェック

HWAP は管理サーバや、他の HWAP との間で以下に示すヘルスチェックを行う。ヘルスチェックによって HWAP は自身の状態を知ることができる。

(1) 有線ヘルスチェック

図 7 に有線側のヘルスチェックの概要を示す。有線側のヘルスチェックは、HWAP による自身の接続状態のチェック、管理サーバによる HWAP の接続状態のチェックの 2通りがある。HWAP によるヘルスチェックは、管理サーバが定期的に HWAP に送信する LS(Line State)メッセージにより行われる。管理サーバによるヘルスチェックは、HWAP が管理サーバに定期的に送信する AL(AP Living)メッセージによって行われる。

HWAP は管理サーバから送信される LS メッセージを一定時間ごとに受信し続ける。これにより、HWAP は自分が有線と接続していることを確認できる。LS メッセージのタイムアウト時の動作を図 8 に示す。ここでは HWAP(A) と HWAP(B) の間のケーブルが断線した場合を示す。A・B 間のケーブルが断線すると HWAP(B,C,D) の有線経路は全て断線し、孤立状態になる。有線が断線すると、HWAP は管理サーバから定期的に送信される LS メッセージを受信できなくなる。HWAP が LS メッセージを一定期間受信しなくなると、有線が切断したと判断し、状態を Mesh State へと遷移させる。また、LS メッセージには Df(Disaster flag)と呼ぶフラグを定義する。このフラグは被災時に、被災地の端末が公衆無線 LAN の認証を行わずに AP に接続できるようにするために使う。公衆無線 LAN の管理者が、災害が起こったと

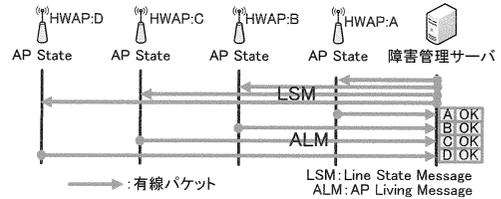


図 7 有線ヘルスチェック概要

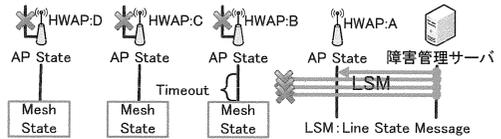


図 8 LS メッセージのタイムアウト時の動作

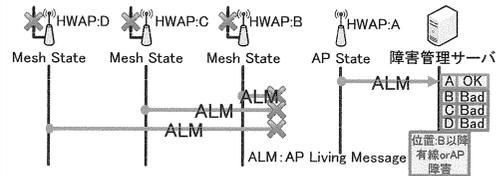


図 9 AL メッセージのタイムアウト時の動作

判断したとき、管理サーバを使ってこのフラグを ON にすることができる。有線で管理サーバとつながる HWAP は Df 付きの LS メッセージを受信すると、公衆無線 LAN の認証を解除する。これにより、一時的ではあるが、被災時のインフラとして誰でも公衆無線 LAN を利用できるようになる。Df を使用するかどうかはネットワーク管理者の判断にゆだねる。

HWAP は一定時間ごとに AL メッセージを管理サーバに送信し続ける。これにより、管理サーバは HWAP が生存していることを確認できる。AL メッセージのタイムアウト時の動作を図 9 に示す。管理サーバが一定時間 AL メッセージを受信しなくなると、有線の切断、もしくは HWAP 自体の故障と判断する。また、AL メッセージには送信元 HWAP の状態と、後述する HWAP 間の無線ヘルスチェックにより得られる近隣の HWAP の状態を記述する。これにより、管理サーバは公衆無線 LAN 全体の状態がわかるため、被災時にどこを復旧すればよいかの判断ができる。

(2) 無線ヘルスチェック

図 10 に無線側ヘルスチェックの概要を示す。無線のヘルスチェックは HWAP 間でアドホックネットワークを使って NS メッセージ(Neighbor State Message)を交換することで行われる。NS メッセージの扱いは HWAP の状態によって変わる。NS メッセージは AP State もしくは Relay State のとき一定時間ごとに送信する。NS メッセージには送信元 HWAP の ID ・ 状態 ・ hop 数などの情報が記録される。この状態の HWAP は NS メッセージを受信しても近隣には中継しない。Mesh State の状態になると、自らは NS メッセージを送信せず、近隣からの NS メッセージを受信したときに、自身の ID ・ 状態 ・ hop 数、接続する Relay State が決まっている場合はその Relay State の情報を追記して 1hop

先に中継する。Mesh State の近隣に存在する AP State や Relay State の HWAP は、この中継された NS メッセージから、近隣に存在する Mesh State の数や hop 数、Mesh State が接続

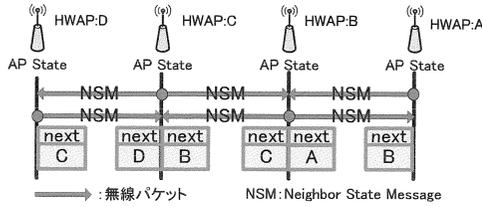


図 10 無線ヘルスチェック概要

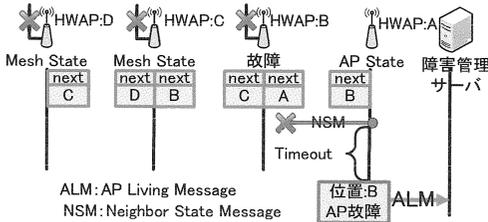


図 11 NS メッセージのタイムアウト時の動作

する Relay State の情報を取得できる。HWAP の状態によって NS メッセージの動作を変える理由は、被災時のパケット量を減らしてネットワーク効率を上げるためである。

図 8 の状態に加えて HWAP(B) が故障した時の、NS メッセージのタイムアウト時の動作を図 11 に示す。HWAP は互いに NS メッセージを送信し合うが、近隣からの NS メッセージが一定時間途切れると、送信元の HWAP が故障したと判断する。有線に接続している HWAP は管理サーバに定期的に送信している AL メッセージに故障した HWAP の ID を付加して、管理サーバに伝える。ID と位置は対応しているの、管理サーバは復旧が必要な HWAP の場所を検知することができる。

3.6 復旧方式

(1) 有線切断からの復旧

図 12 に有線が切断してから復旧するまでのシーケンスを示す。有線が切断され、LS メッセージの受信が一定時間途切れた HWAP(B,C,D) はタイムアウト後、AP State から Mesh State に遷移する。Mesh State の HWAP は近隣の AP State の HWAP(A) から一定間隔で送信される NS メッセージに自身の ID を付加し、hop 数の値を加算しながら中継していく。NS メッセージを受信した Mesh State の HWAP(B,C,D) は自身に中継されてきた NS メッセージの中から hop 数の値が最小のものを選んで Relay Request(RRReq)を送信する。RRReq を受信した HWAP(A) は AP State から Relay State へと遷移する。このとき管理サーバに一定間隔で送信している AL メッセージに自身が Relay State に遷移したこと、配下 HWAP(B,C,D) の情報を付加する。

(2) HWAP 故障からの復旧

図 13 に有線が断線し、かつ HWAP(B) 自体が故障してから復旧するまでのシーケンスを示す。HWAP(B) が故障すると、NS メッセージや RRReq を送信しなくなる。近隣の健康な HWAP(A) がこれを検知し、AL メッセージに近隣の ID と状態を付加して管理サーバに送信する。管理者は ID から故障 HWAP(B) の位置を特定すると、そこへ新たな HWAP を配置する必要があることがわかる。新たに設置された新 HWAP(B) は Mesh State となり通信パケットを中継する。また、NS メッセージに自身の ID を

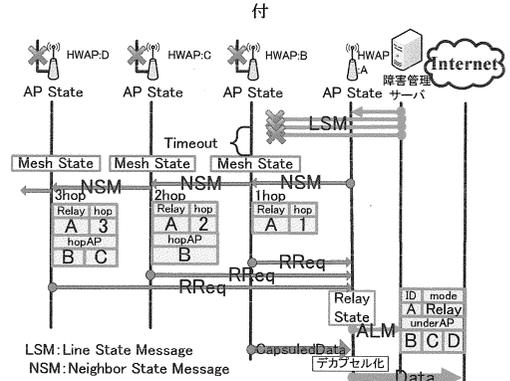


図 12 有線切断時のパケット中継シーケンス

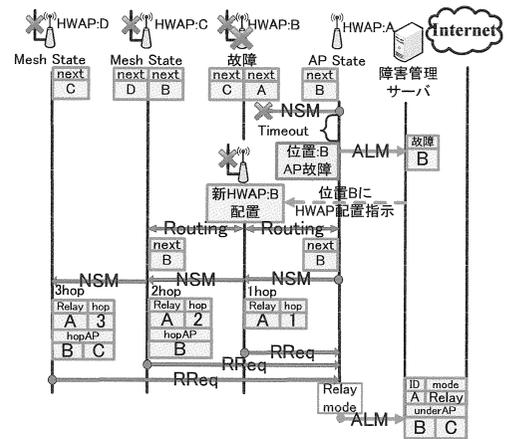


図 13 HWAP 故障時のパケット中継シーケンス

加して hop 数の値をカウントアップしながら中継する。その後の動作は有線切断からの復旧と同様にして RRReq の中継とデータパケットの中継が行われる。

4. HWAP の実装方法

図 14 に実装予定の HWAP のアーキテクチャを示す。HWAP のプログラムを PC 上で動作させる。OS には Linux を利用する。HWAP 間の接続には PC 搭載の無線インタフェースを使用する。無線端末と HWAP の接続には市販の AP を使用する。PC と市販の AP を、HUB を介して Ethernet で接続し、PC と市販の AP を一体のものとする。無線規格は共に IEEE802.11g を使用し、AP/無線端末間はインフラストラクチャモードで、HWAP 間はアドホックモードで動作する。IP 層には、MANET のルーティングプロトコルを動作させる。WAP の機能は RAW ソケットによって IP 層および、MAC 層と接続しており、MANET のルーティングプロトコルにデータ転送を委託することも、MANET のルーティングプロトコルと独立して、制御メッセージを送信することもできる。WAPL はルーティングプロトコルと独立しているため、自由にそのプロトコルを変更することができる。外部ネット

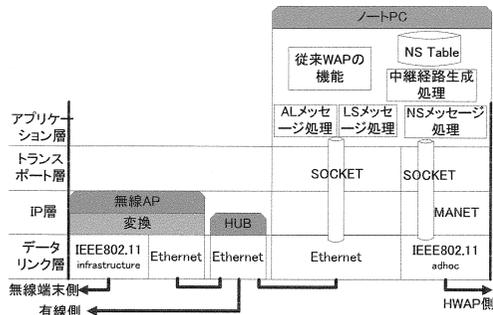


図 14. HWAP アーキテクチャ

ワーク・障害管理サーバとの接続には、HUB に接続した有線ケーブルを使用する。HWAP の機能は従来の WAP の機能と直接接続しており、WAPL の動作に加えて、管理サーバから届く LS メッセージの処理、HWAP が管理サーバに送信する AL メッセージの処理、HWAP 間の障害情報を通知する NS メッセージの処理を行うモジュールをそれぞれ独立して動作させる。各処理間の情報の共有のため NS テーブルを定義する。NS テーブルには HWAP の ID、状態、IP アドレスが記録される。

5. 評価

本稿ではメッシュネットワークを用いた災害復旧システムを比較する。表 1 に既存システムと提案システムの比較表を示す。今回は臨時インフラ型を利用する際は既に従来の AP システムが構築されていることを想定した。被災からの復旧速度は、はじめから無線メッシュネットワークを構築している常時インフラ型が最も早い。しかし提案システムも、障害発生箇所を自動で修復するため十分早いと判断できる。臨時インフラ型は輸送や設置箇所の決定などの手間がかかるため△とした。通常時の回線の安定度は有線をバックボーンに構築する提案システムと臨時インフラ型は安定している。常時インフラ型は無線システムのみ構成であるため、現状の無線技術では不安定となることが考えられる。導入、維持管理のコストは 3 方式で機材の価格が同じと仮定した場合、無線中継局を配置するだけで良い常時インフラ型が最も安価に導入できる。管理、維持に関しても、無線メッシュネットワークを通して遠隔地から管理することが可能である。提案システムは有線を引くコストがかかるが、通常時に公衆無線 LAN として安定した通信を提供することができる。管理・維持に関しても管理サーバと個々の HWAP を連携させてネットワークの障害を自動で監視するシステムを提案することによって管理負荷を削減するため○とした。臨時インフラ型は局所的に展開すれば安価に導入できる可能性がある。しかし、規模が大きくなれば通常時の保管場所の確保、輸送、構築にかかるコストは大きなものとなる。さらに他の 2 方式と比べて通常時には利用できないため△とした。総合して、提案システムは既存システムよりもバランスが取れた仕様となっていると考えられる。

6. むすび

公衆無線 LAN の AP に WAPL の拡張機能を内蔵させることにより、災害発生時においても迅速にネットワークインフラを復旧させる方法を示した。このシステムでは有線の障害箇所を AP が自動で無線メッシュネットワーク化することで、迅速な復旧を可能にする。また、管理サーバとの連携で障害箇所の迅速な特定も可

表 1 システム比較表

	常時インフラ型	臨時インフラ型	提案システム
復旧速度	◎	△	○
通常時の安定度	△	○	◎
コスト	◎	△	○

能となる。復旧速度については、今後は実装や、シミュレーション等により、その優位性を証明する予定である。また、他にも転送スループットや制御メッセージによって発生するトラフィックの影響などの検証を行っていく。

参考文献

- [1] 災害伝言ダイヤル
<http://www.ntt-east.co.jp/saigai/voice171/index.html>
(NTT 東日本)
<http://www.ntt-west.co.jp/dengon/> (NTT 西日本)
- [2] 災害用ブロードバンド伝言板
<http://www.ntt-east.co.jp/saigai/qa/web171/index.html>
(NTT 東日本)
<http://www.ntt-west.co.jp/dengon/web171/index.html>
(NTT 西日本)
- [3] 災害用伝言板
<http://dengon.docomo.ne.jp/top.cgi> (DoCoMo)
<http://dengon.ezweb.ne.jp/> (KDDI)
<http://dengon.softbank.ne.jp/> (SoftBank)
- [4] 大和田泰伯, 鈴木裕和, 岡田啓, 間瀬憲一: 中山間地におけるメッシュネットワーク: 山古志ねつとの構築
- [5] 山古志ねつと共同実験プロジェクト, 電子情報通信学会総合大会, 2007
<http://www2.net.ie.niigata-u.ac.jp/yamakoshi-net/>
- [6] 間瀬憲一: 大規模災害時の通信確保を支援するアドホックネットワーク, 電子情報通信学会誌, Vol. 89, No. 9, pp. 796-800, 2006
- [7] 大本英徹, 岸三樹夫, 中城一, 田中大資, 三谷宗玄: 災害情報システム ONIGIRI の設計と試作, 情報処理学会論文誌, Vol. 1999, No. 61, pp. 381-386, 1999
- [8] 大和田泰伯, 照井安康, 間瀬憲一, 今井博英: マルチホップ無線 LAN の提案と実装, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J89-B, No. 11, pp. 2092-2102 (2006)
- [9] MetroMesh
<http://www.tropos.com/>
- [10] MeshCruzer
<http://www.thinktube.com/>
- [11] Packethop
<http://www.packethop.com/>
- [12] Amir, Y., Danilov, C., Hilsdale, M. et al.: Fast Handoff for Seamless Wireless Mesh Networks, *ACM MobiSys* (2006)
- [13] Navda, V., Kashyap, A. and Das, S.R.: Design and evaluation of iMesh: an infrastructure mode wireless mesh network, *World of Wireless Mobile and Multimedia Networks*, pp. 164-170 (2005)
- [14] Aoki, H., Chari, N., Chu, L. et al.: 802.11 TGs Simple Efficient Extensible Mesh (SEE-Mesh) Proposal (2005)
- [15] 伊藤将志, 鹿間敏弘, 渡邊晃: 無線メッシュネットワーク "WAPL" の提案とシミュレーション評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 6, 2008