

断線障害を自動補修するネットワークの検討

永井順也[†] 伊藤将志^{††} 渡邊晃^{†††}

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。しかし、災害発生時にはネットワーク自身が破壊される恐れがある。そこで、被災地に即座に無線メッシュネットワークを構築して、一時的にインフラ網として利用する方法が研究されている。しかし、この方法ではネットワークを構築するまでの期間は通信ができない。そこで、本稿では公衆無線 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 が必要に応じて自動的に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。

Examination of network where disconnection trouble is repaired automatically

JUNYA NAGAI[†] MASASHI ITO^{††} AKIRA WATANABE^{†††}

The necessities of the telecommunication of the delivery and the safety confirmation etc. of struck information rise at the disaster. However, when the disaster occurs, the network might be destroyed. Then, the wireless meshed network is immediately constructed in the stricken area, and the method of the temporary use as the infrastructure net is researched. However, the period until the network is constructed in this method cannot be communicated. The wireless mesh network function is added to AP of public wireless LAN in this text, and then, AP usually automatically shifts to the wireless meshed network if necessary when the trouble happens to cable and AP when striking it by using a high-speed, steady cable route as general AP, and it proposes the method of immediately restoring the network at time.

[†]名城大学大学院理工学研究科情報工学専攻

Graduate School of Science and Technology Meijo University

^{††}名城大学大学院理工学研究科情報工学専攻

Graduate School of Science and Technology Meijo University

^{†††}株式会社東芝研究開発センター

Research and Development Center, Toshiba Corporation

^{†††}名城大学理工学部情報工学科

Department of Information Engineering, Meijo University

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ったり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、山古志ねっと[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、臨時的インフラとして、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、被災後に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、動画などの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。たとえ局所的な普及であったとしても、障害に強いネットワークが存在することは災害通信において重要であると考えられる。

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、被災時に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 に障害が起これば 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。

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、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。

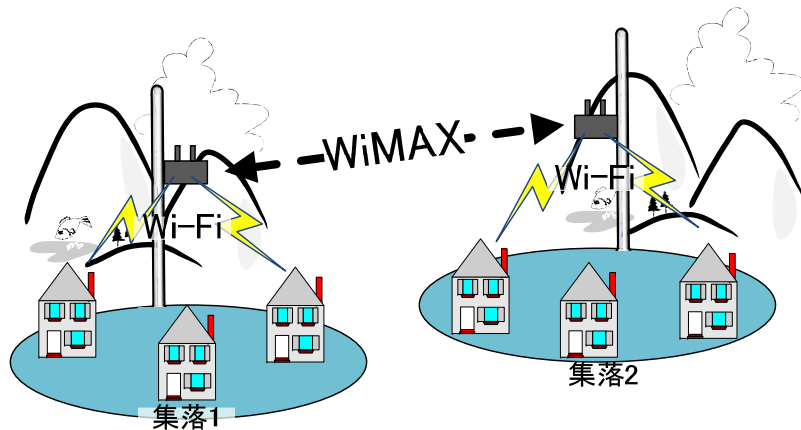


図 1 山古志ねっと概要

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レスなハンドオーバーを実現できるなどの特徴がある。

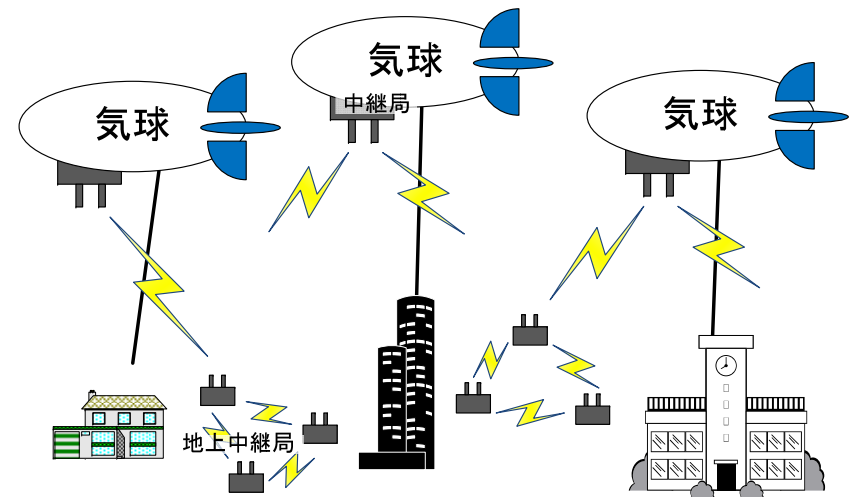


図 2 スカイメッシュ概要

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検出した 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 アドレスが記述されており、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ネットワークの構成を図 5 に示す。提案システムでは

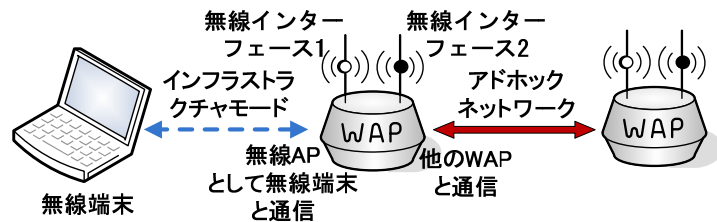


図 3 WAPL の概要

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。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 は有線、アドホックネットワーク、インフラストラクチャの 3 つのインタフェースを持つ。HWAP は状態に応じて行動を変化する。HWAP の状態遷移概要を図 6 に示す。HWAP は KeepAlive によって自身の状況を判断し、APmode、Meshmode の 2 つの状態に動的に遷移する。以降は、APmode の HWAP を APmode、Meshmode の HWAP を Meshmode と省略して記述する。

APmode :

通常の AP、および WAP と Meshmode によって構成される無線メッシュネットワークと有線部のゲートウェイとして動作する。自身と、近隣の AP がともに障害のない健康な状態では、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。近隣に Meshmode の HWAP もしくは WAP が存在する状況で、中継要請を受けた場合、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。また、WAP の LT には送信元端末と送信元 WAP の IP アドレスの対応が記録されていたが、APmode ではそれに加えて、パケットを受信したインタフェースの情報も記録する。APmode には有線、アドホックネットワーク、インフラストラクチャの 3 つのインタフェースで通信を行うため、どのインタフェースで通信をするかが重要となる。LT に受信インタフェースの情報を記録することで、APmode は通信するインタフェースを判断できる。

もし、自身の有線が断線すると Meshmode に遷移する。

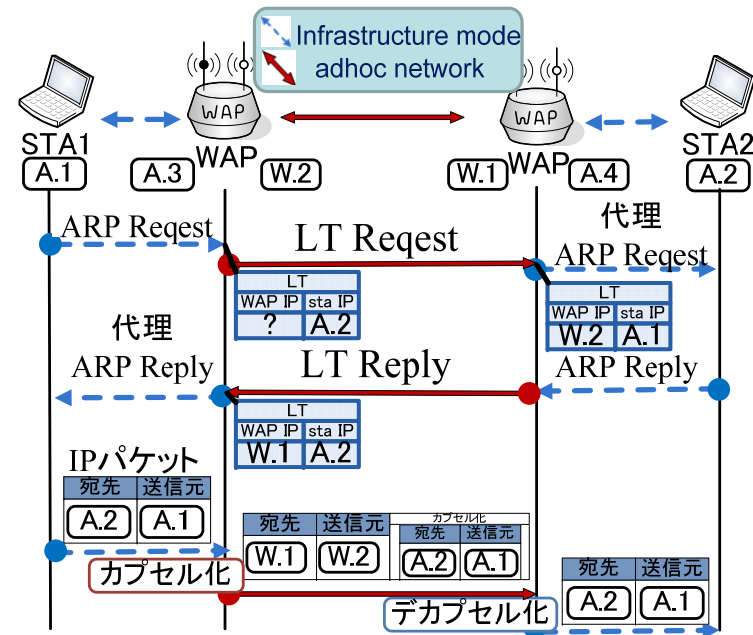


図 4 LT の生成シーケンス

Meshmode :

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。APmode が有線インタフェースの断線を検知すると、Meshmode に動作を移行する。断線の検知は 3.5 節に記述する。Meshmode に移行したときにアドホックインタフェースから、断線メッセージと呼ぶパケットをフラッディングし、周囲に自身が断線したことを通知する。近隣の健康な HWAP(APmode)から最適なものを探索し、パケットの中継を要請する。有線が復旧すると APmode に遷移する。

3.5 MHWAP

図 5 右上に示すように、提案システムでは HWAP と外部ネットワークのゲートウェイに MHWAP(Master HWAP)と呼ぶ機器を設置する。HWAP と MHWAP はスイッチで接続されており、MHWAP は HWAP に対して KeepAlive パケットを送信し続け、HWAP はこの KeepAlive を受信し続けることで、有線との接続を認識する。KeepAlive が途切

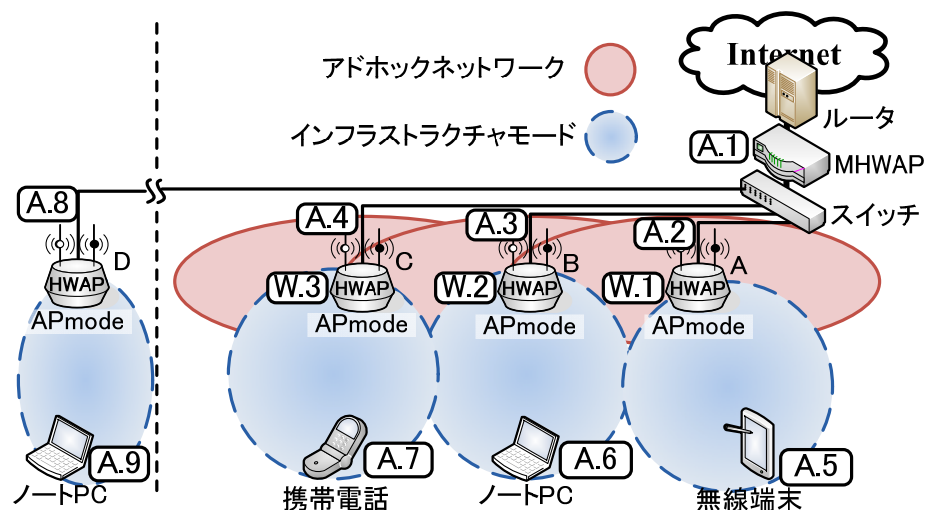


図 5 提案システムによる公衆無線 LAN の構成

れると、HWAP は断線を検知する。また、MHWP は外部ネットワークへの最適 HWAP を決定するときにも利用される。

3.6 HWAPの復旧方式

これ以降のシーケンス図 7,8,9 の IP アドレス、ネットワーク構成は図 5 と同様とする。

図 7 に有線が切断したときの HWAP の動作について示す。HWAP(B) の有線が切断され、KeepAlive パケットが一定時間途切れた HWAP(B) はタイムアウト後、APmode から Meshmode に遷移する。Meshmode に遷移した HWAP(B) はアドホックインタフェースから断線メッセージをフラッディングして、自身が断線したことを周囲に伝達する。断線メッセージには、HWAP の IP アドレスと配下端末の IP アドレス/MAC アドレスが記述され、周囲の APmode(A,C) は断線メッセージの受信をトリガにして、LT を作成する。APmode で近隣に Meshmode が存在するかは、LT を利用して判定する。LT が作成されていれば、APmode は Meshmode の配下端末と通信するときに、有線が切断されていても、アドホックインタフェースを使えば通信可能であると判断できる。さらに、APmode は断線メッセージに記述された、送信元 HWAP の IP アドレスを自身のものに變更し、有線インタフェースからブロードキャストして、有線で接続した他の

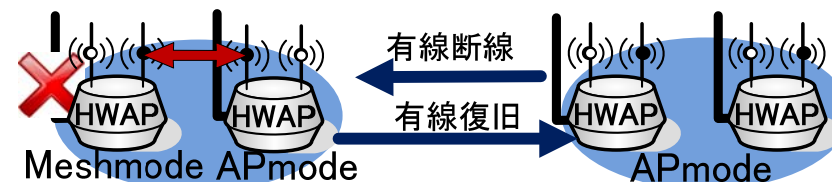


図 6 HWAP の状態遷移

APmode に断線を伝達する。断線メッセージには固有のシーケンス番号が割り振られており、図 7 の場合、Meshmode(B) がフラッディングしたパケットから APmode(A,C) が送信元 HWAP の IP を變更して有線にブロードキャストする断線メッセージまで、全ての断線メッセージに同じシーケンス番号が記述されている。HWAP は同じシーケンス番号のパケットが複数あった場合、最も速く届いたパケットを採用し、後は破棄する。全ての HWAP は結果的に最適な経路を選択することができる。有線を介して断線メッセージを受信した APmode(D) は LT を作成する。今後、配下端末や、中継する Meshmode が LT に記述された端末と通信をするとき、LT の情報より、通信の中継が可能となる。

断線障害が発生したネットワークでは、様々な壊れ方が考えられる。全ての壊れ方を網羅するのは困難なため、本研究では、宛先と送信元に着目して検討した。

(1) Meshmode の配下端末から外部ネットワークへの通信

図 8 に Meshmode の配下端末から外部ネットワークへの通信をするときのシーケンス図を示す。Meshmode(B) の HWAP は配下端末からの ARP をトリガにしてアドホックインタフェースから外部宛の LTRequest をフラッディングする。APmode(A,C) が外部宛での LTRequest 受信すると、有線インタフェースから MHWP 宛てに、LTRequest を中継する。MHWP は、LTRequest を受信すると、LTReply をユニキャストで返信する。このとき LTReply が通る経路が、Meshmode(B) の配下端末と外部ネットワークをつなぐ経路となる。ここで、Meshmode(B) から送信される LTRequest はフラッディングするため、複数の APmode が受信し、MHWP に対して複数の LTRequest が送信される可能性がある。もし、MHWP が受信した LTRequest 全てに LTReply を返信すれば、全体のパケット量が増加し、複数の経路が作成されてしまうが、LTRequest には、断線メッセージと同様に、シーケンス番号が記録されており、1 度にフラッディングした全ての LTRequest には同じシーケンス番号が記録されている。LTRequest を受信した MHWP はシーケンス番号を確認し、最も速く届いた LTRequest を採用し、それ以降に届いた同じシーケンス番号を持つ LTRequest はすべて破棄する。これにより、LTReply は最も速い経路の APmode のみに返信され、結果的に最適な経路が選択され

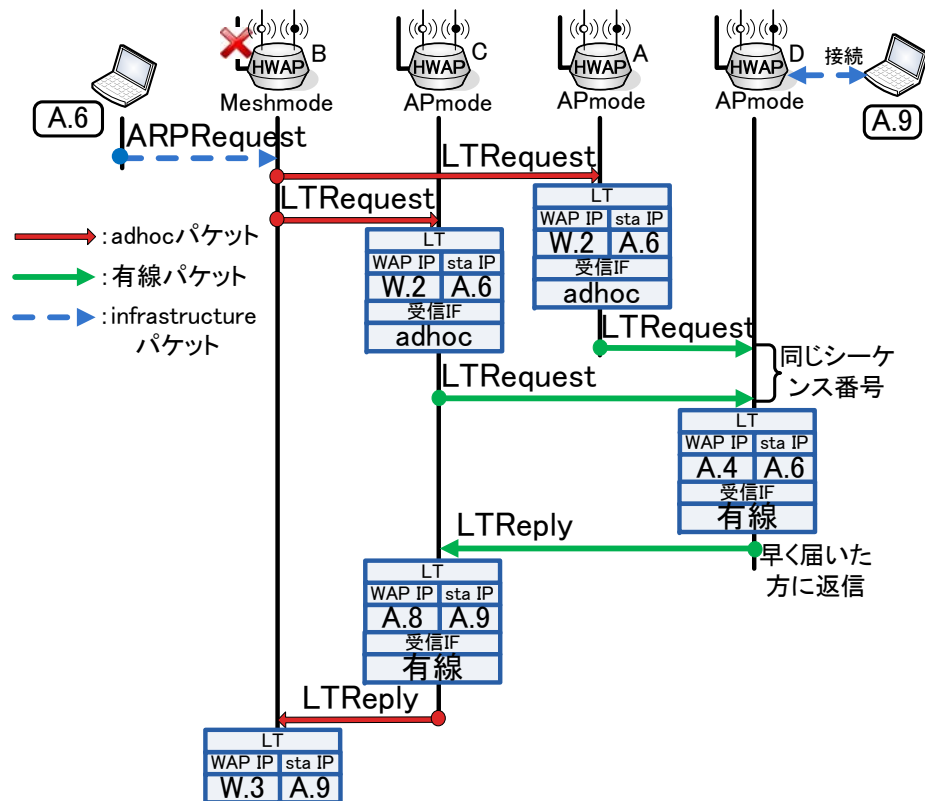


図 11 に実装予定の HWAP のアーキテクチャを示す。HWAP のプログラムを PC 上で動作させる。OS には Linux を利用する。HWAP 間の接続には PC 搭載の無線インタフェースを使用する。無線端末と HWAP の接続には市販の AP を使用する。PC と市販の AP を、HUB を介して Ethernet で接続し、PC と市販の AP を一体のものと見なす。無線規格は共に IEEE802.11g を使用し、AP/無線端末間はインフラストラクチャモードで、HWAP 間はアドホックモードで動作する。IP 層には、MANET のルーティングプ

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ための構成であるため、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

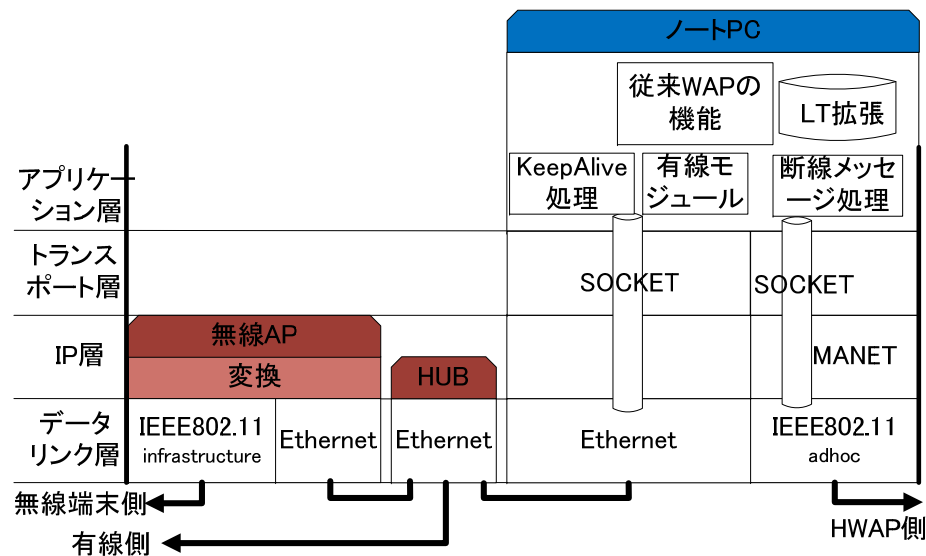


図 11 HWAP のアーキテクチャ

線 LAN として安定した通信を提供することができる。個々の HWAP を連携させてネットワークの障害を自動で補修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。専門的な知識の有無については、災害時に構築が必要な臨時インフラ型は構築時に専門的な知識が必要のため△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。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

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	◎	△	○
専門的な知識	◎	△	◎

って発生するトラヒ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/voicel71/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/\(SoftBank\)](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: 山古志ねっとの構築
- [5] 山古志ねっ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, 照井宏康, 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

断線障害を自動補修するネットワークの 検討

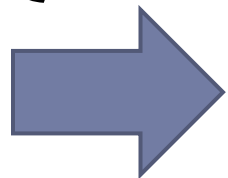
名城大学

永井順也 伊藤将志 渡邊晃

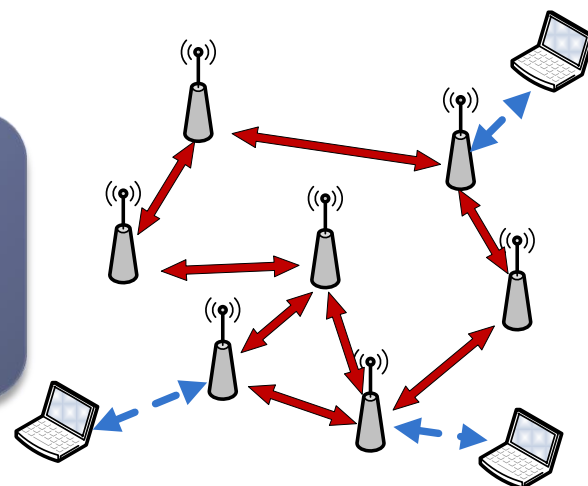
被災時のネットワーク

- ▶ 断線・停電・機器の故障など様々な要因で使えなくなる
- ▶ その中でも被災時に各地で断線したケーブルを修復するのは手間と時間がかかる
- ▶ 断線による故障はネットワークが有線で通信しているために発生する

そこで



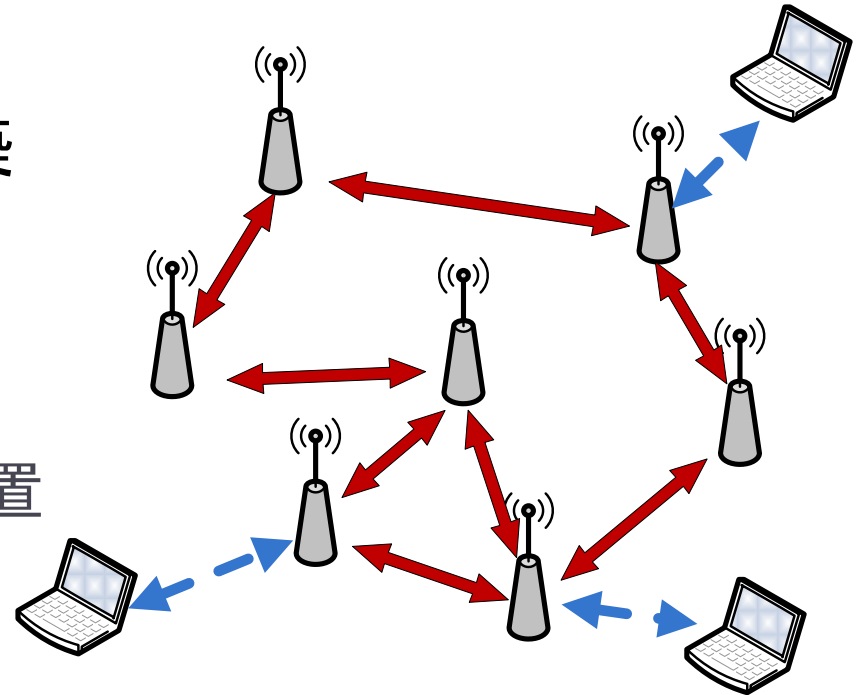
無線メッシュネットワーク
を利用して復旧する試み



無線メッシュネットワーク

無線メッシュネットワーク

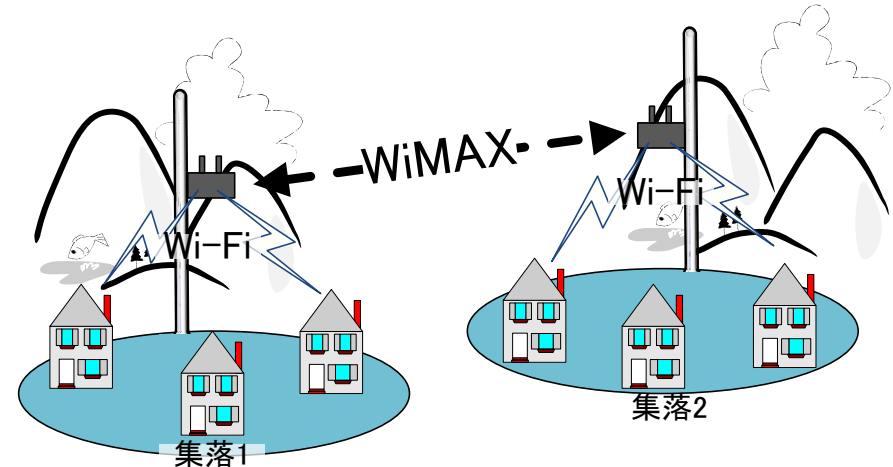
- ▶ 中継局を配置するだけで無線のネットワークを形成
- ▶ 無線だけでネットワークを構築できるため
 - ▶ 有線を引く必要がない
→ 低コスト・拡張性に優れる
 - ▶ 機器が故障した時は、機器を置き換えるだけで修復できる
→ 耐障害性がある



無線メッシュネットワークを使った被災インフラ復旧の研究

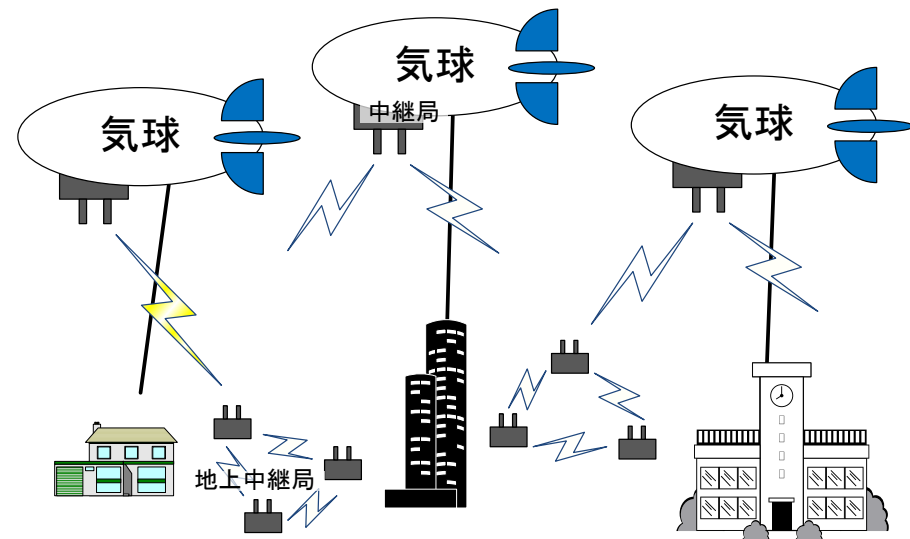
▶ 山古志ねっと(新潟大学)

- ▶ 無線メッシュネットワークを普段からインフラとして利用
- ▶ 目的: 無線通信で中山間地にネットワークを展開し、災害耐力を持たせる



▶ スカイメッシュ(新潟大学)

- ▶ 被災地に無線中継局を搭載した気球を配備
- ▶ 目的: 無線メッシュネットワークで被災地に臨時のインフラ網を構築



無線メッシュネットワークを使った被災インフラ復旧の研究

- ▶ 他にも様々な研究があるが、既存の復旧方式は二種類に分類することができる
- ▶ 常時インフラ型
 - ▶ 被災前に無線メッシュネットワークを構築
 - ▶ 通常時はインフラとして使用できる
 - ▶ 例：山越ねっと(対象は中山間地)
- ▶ 臨時インフラ型
 - ▶ 被災後に1から無線メッシュネットワークを構築
 - ▶ 被災地がどこであろうと、システムを持ち込めば臨時のインフラを構築できる
 - ▶ 例：スカイメッシュ

無線メッシュネットワークを使った被災インフラ復旧の研究

▶ 両方式それぞれに弱点がある

▶ 常時インフラ型

- ▶ 電波干渉や、天候の影響などを受けて不安定になりやすい
- ▶ 帯域と速度不足

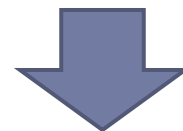


普段は有線で通信
すべき



▶ 臨時インフラ型

- ▶ 設置と準備に時間がかかる
- ▶ 設置に専門的な知識が必要



普段から設置
したい

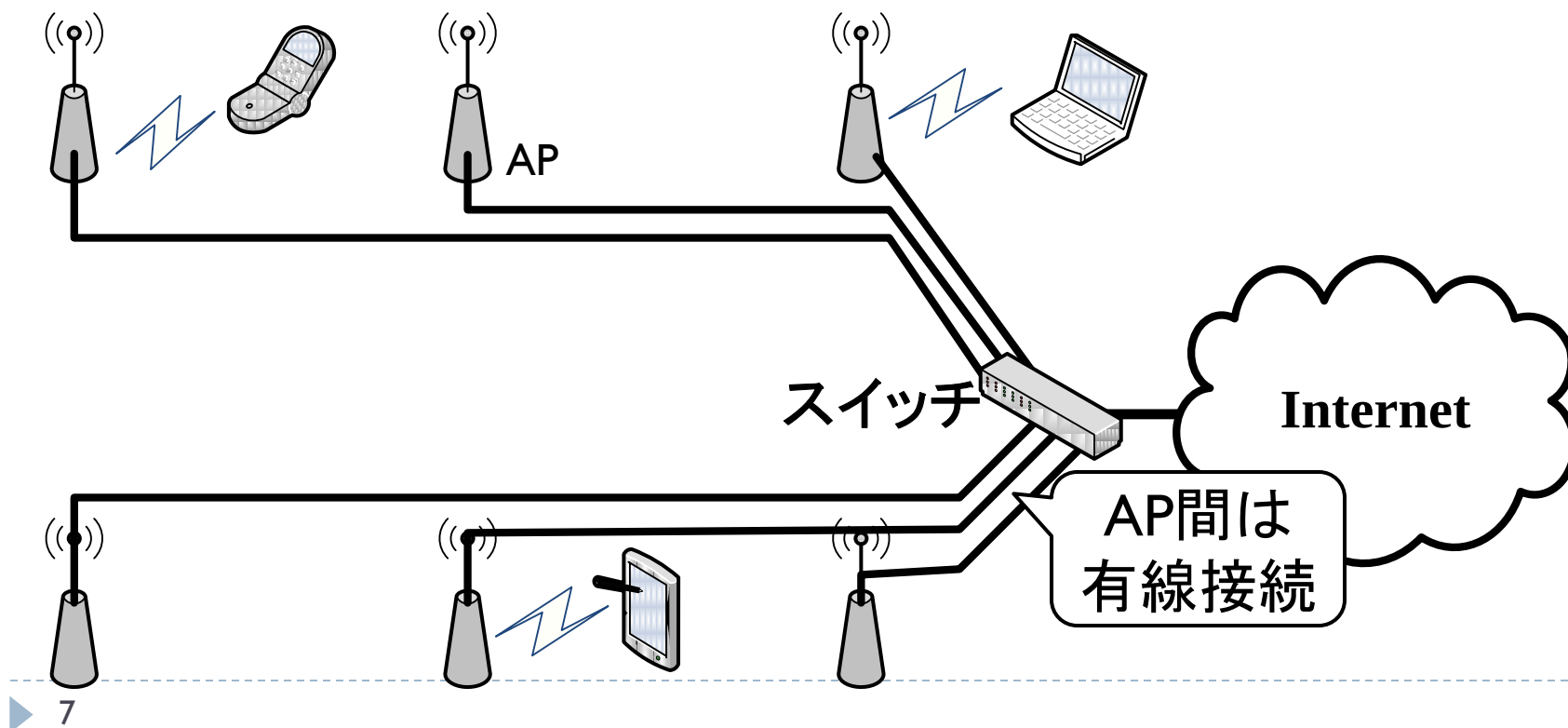


提案

公衆無線LAN+無線メッシュネットワーク

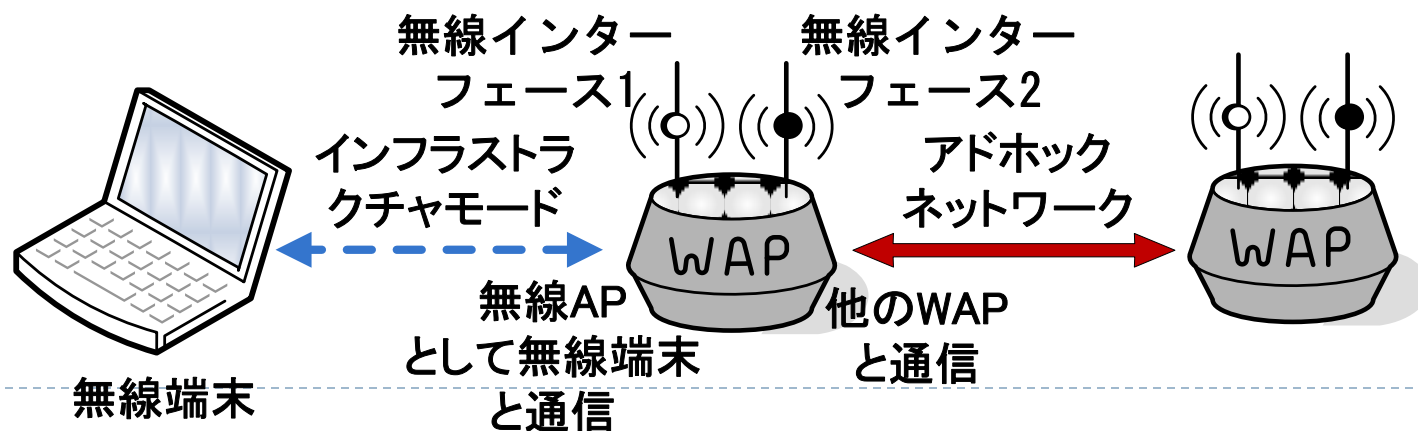
公衆無線LAN

- ▶ 街中で無線LANを利用できるサービス
- ▶ AP-無線端末間は無線だが、AP間は有線接続
- ▶ 現在は局所的な展開のみ(空港、駅など)



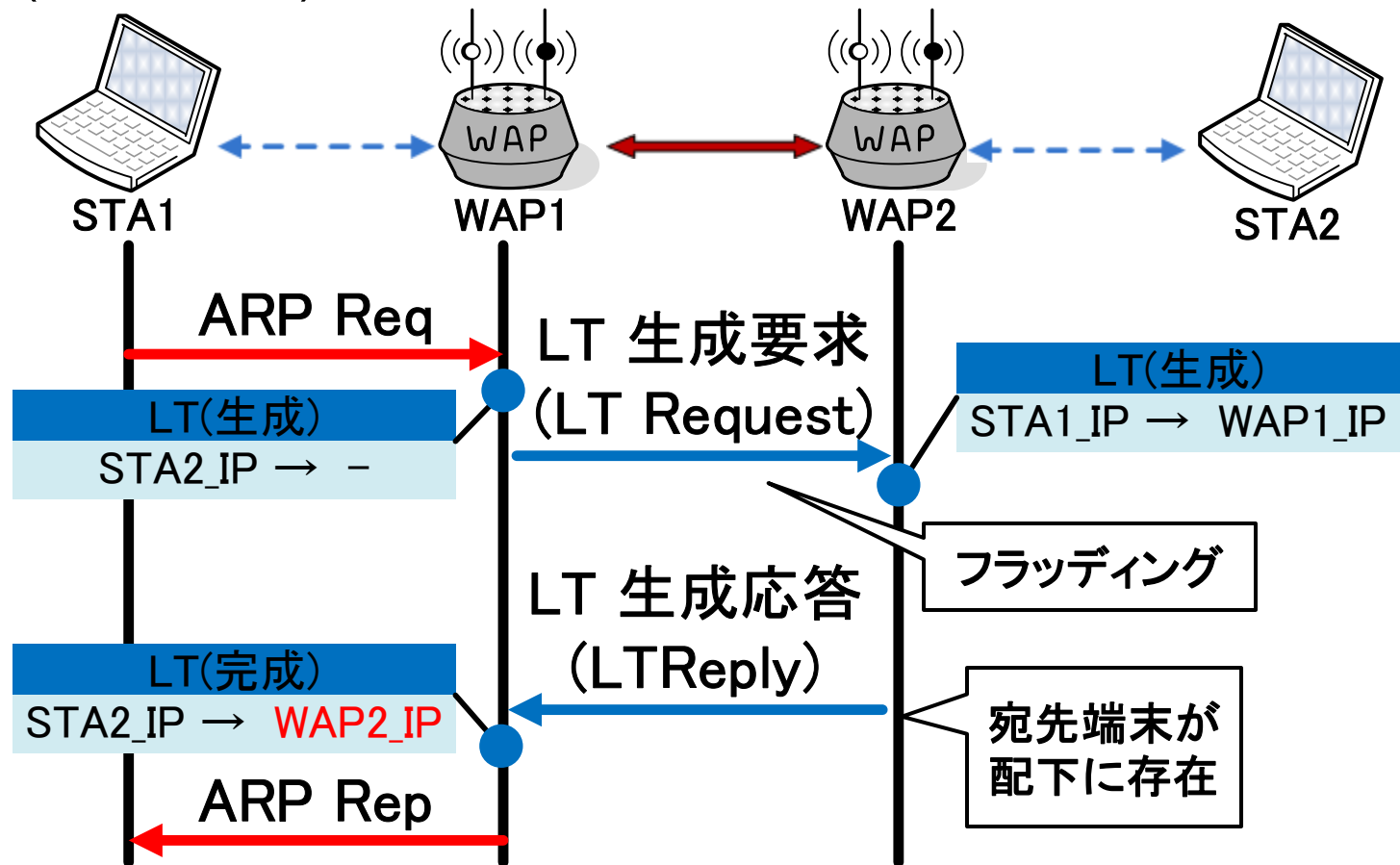
提案システムの無線メッシュネットワーク

- ▶ 提案する無線メッシュネットワークのベースとして、無線メッシュネットワークWAPL(Wireless Acces Point Link)を使用
- ▶ WAPL
 - ▶ アドホックルーティングプロトコルから自由な選択が可能
 - ▶ 端末/AP間のマッピング情報(端末とAPの対応関係)によるオンデマンドな経路生成
 - ▶ シームレスハンドオーバーが可能



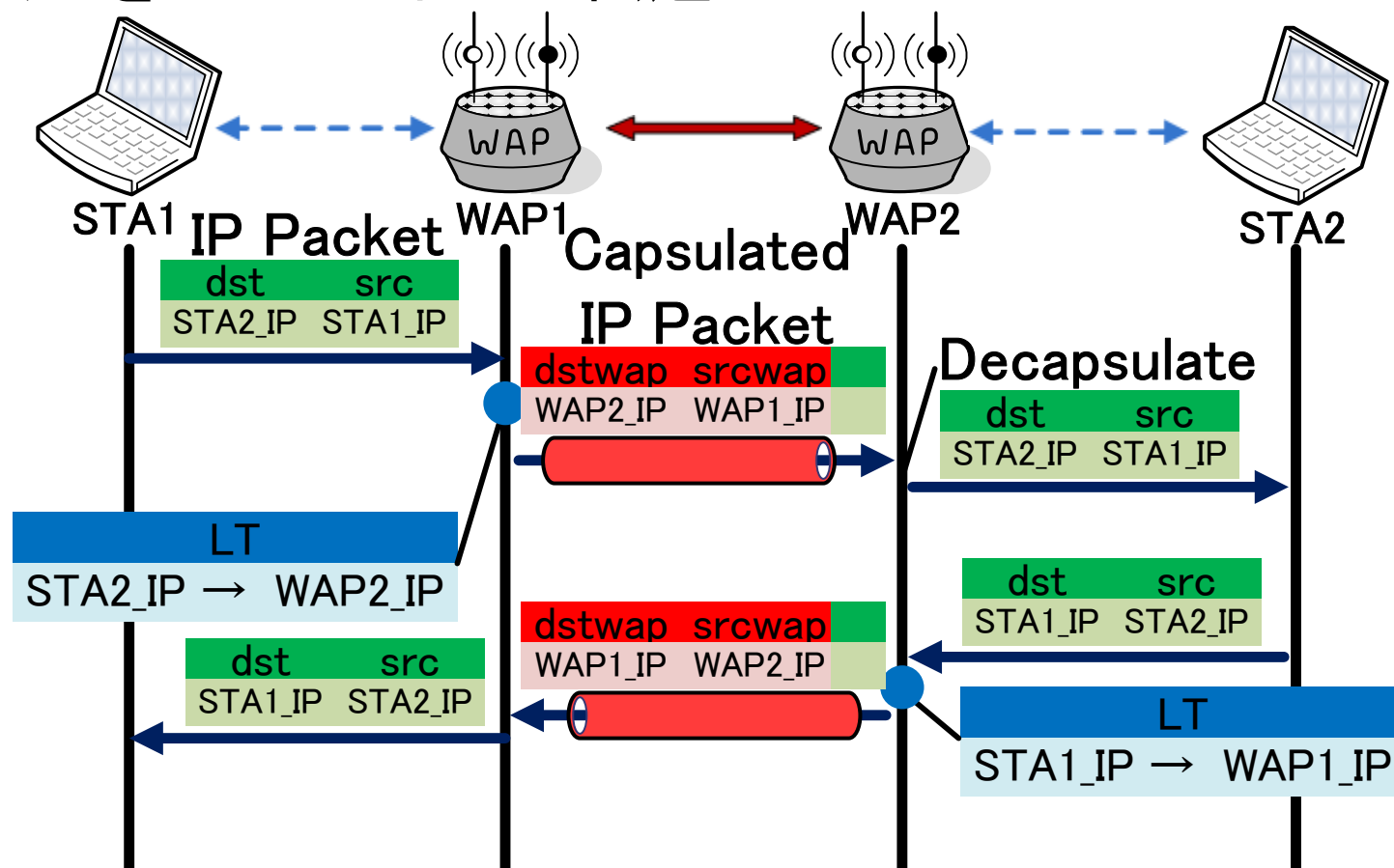
WAPLの経路生成

- ▶ 通信開始時のパケットで、端末/AP間のマッピング情報
LT(Link Table)を交換する



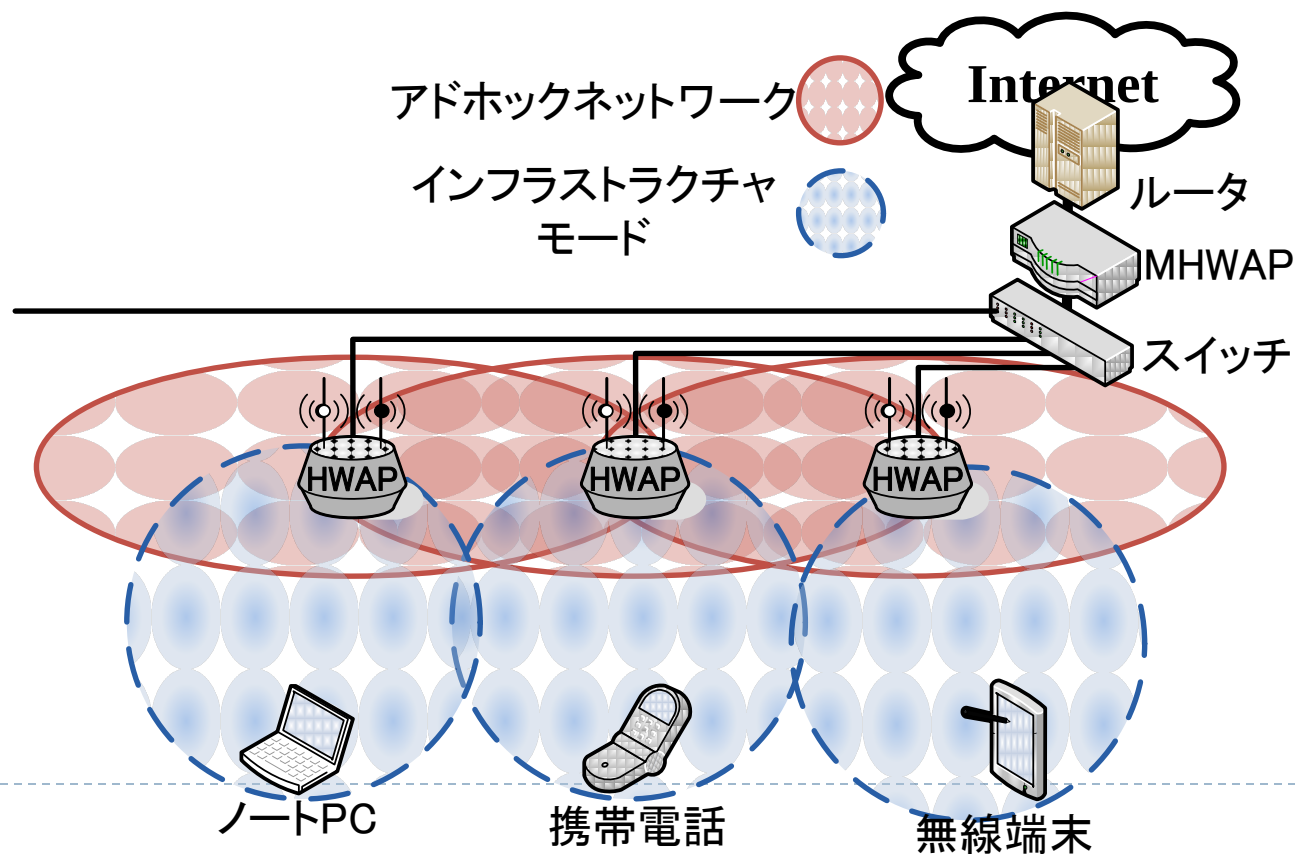
WAPLのIPパケットの中継

- ▶ WAP間のIPパケットの中継は、LTに従ってIPレベルでパケットをカプセル化して伝送



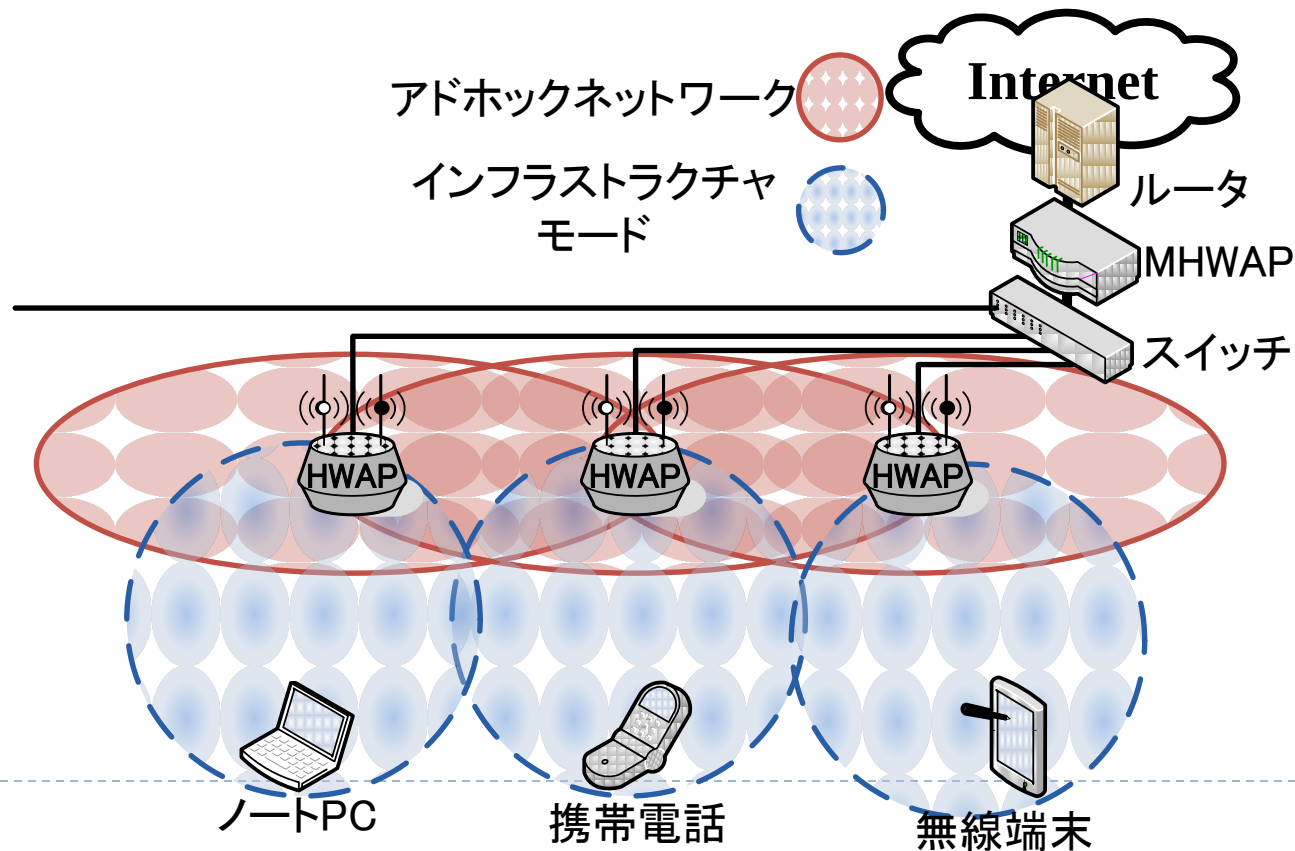
提案システムによる公衆無線LAN

- ▶ 目的：公衆無線LANに無線メッシュネットワークを加えることで、断線しても通信が続けられるインフラを作る



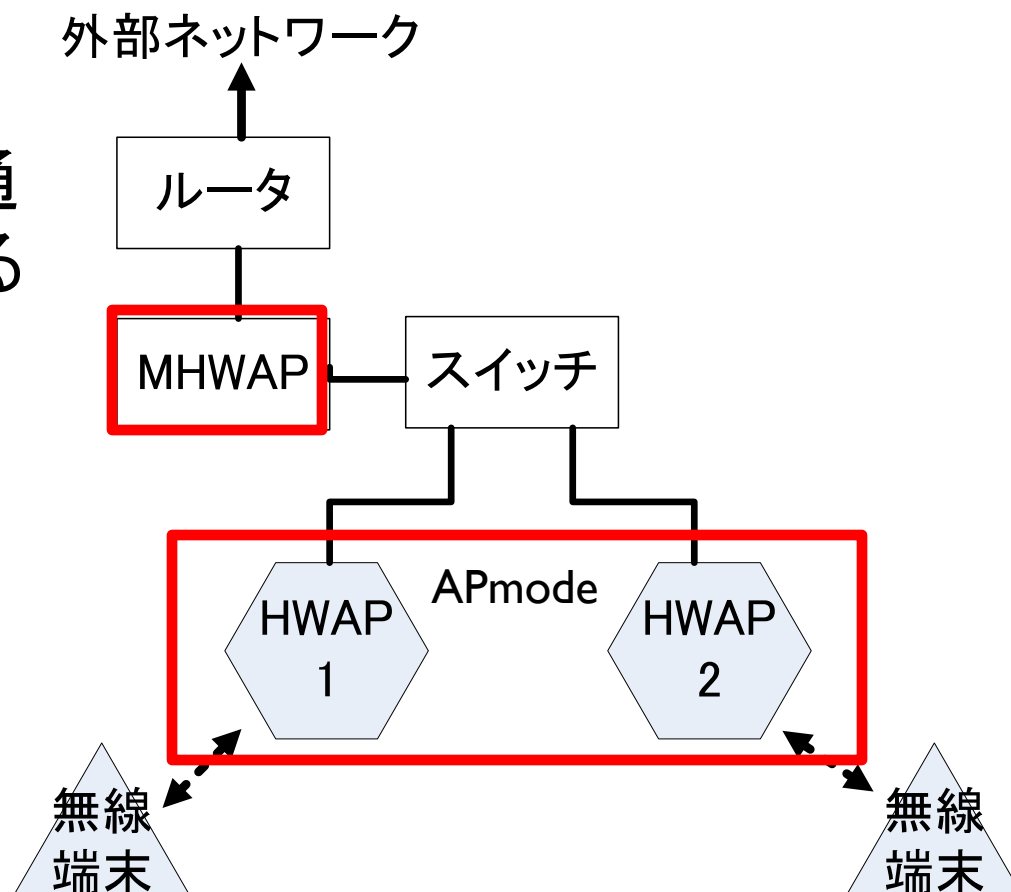
提案システムによる公衆無線LANの構成

- ▶ WAPに有線接続の改造を加えたものをHWAP(Hybrid WAP)と呼ぶ
- ▶ HWAPを管理する装置MHWAP(Master HWAP)をHWAPのデフォルトゲートウェイとして外部ネットワークとの間に設置する
- ▶ HWAP同士は互いにアドホックの電波が届くように設置する



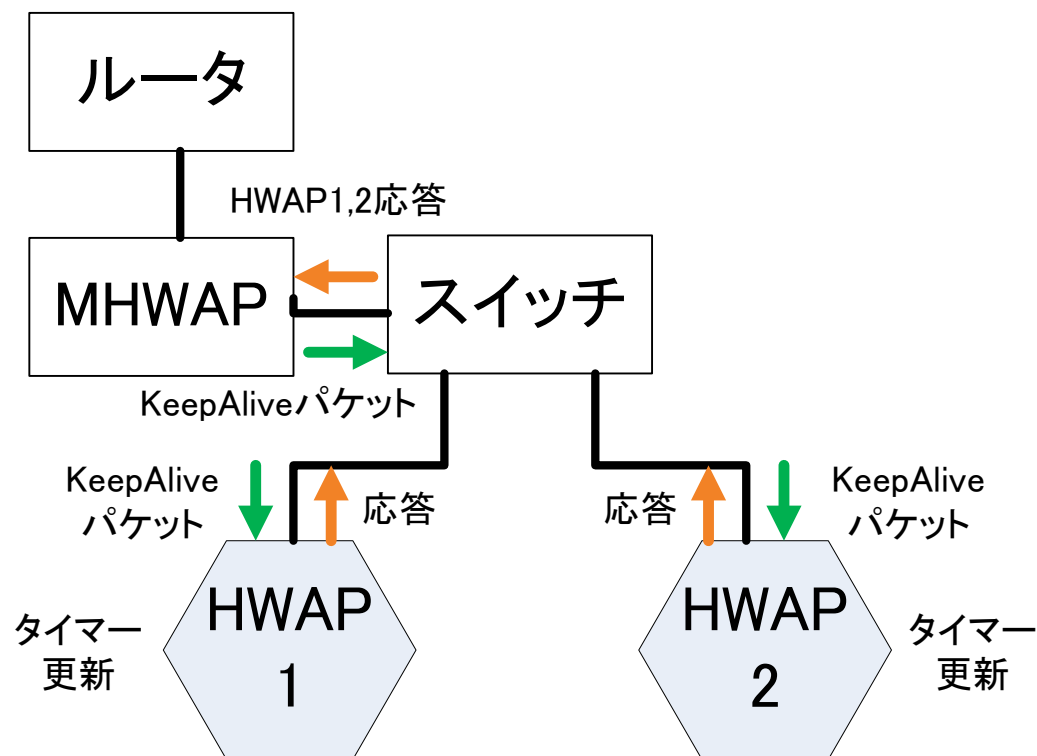
提案システム概要

- ▶ 有線に接続している通常時のHWAPの状態をAPmodeと定義する
- ▶ APmodeのHWAPは普通の無線APとして動作する
- ▶ MHWAPは断線検知や最適経路の決定などに利用される



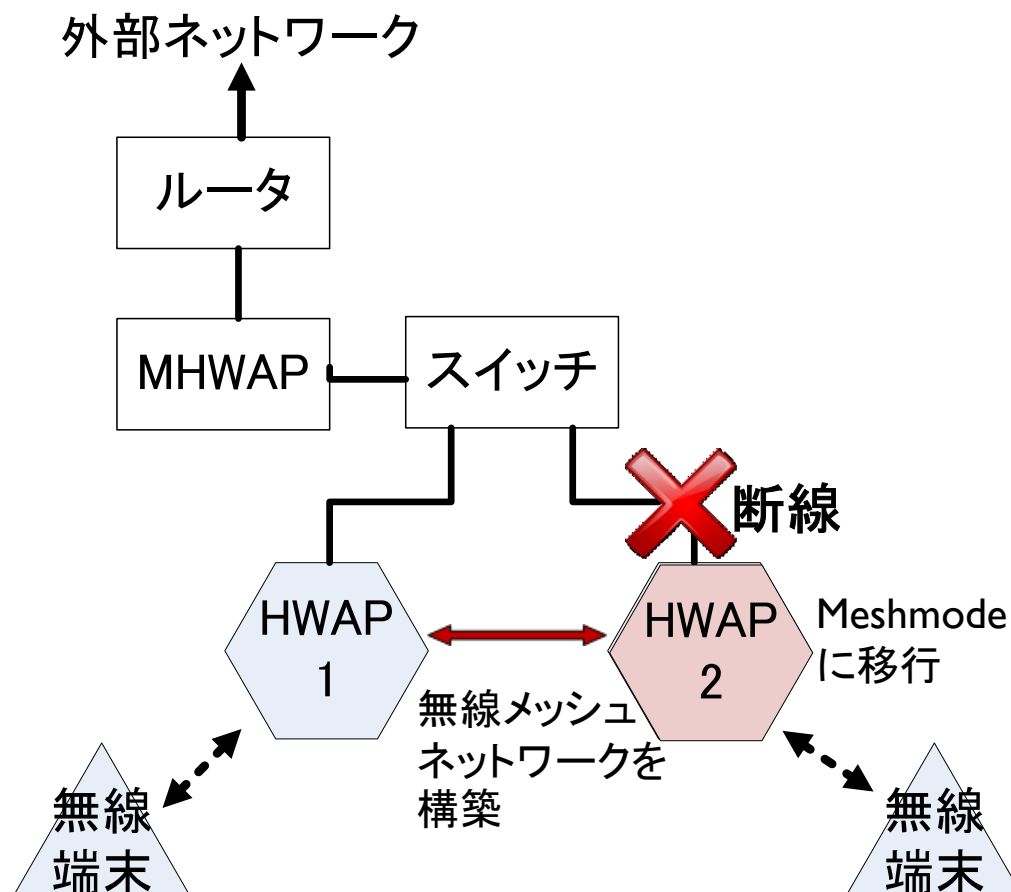
断線検知

- ▶ MHWAPから定期的に送信されるKeepAliveパケットでHWAPは有線接続を確認
- ▶ KeepAliveパケットが途切れた時、HWAPは断線を検知する



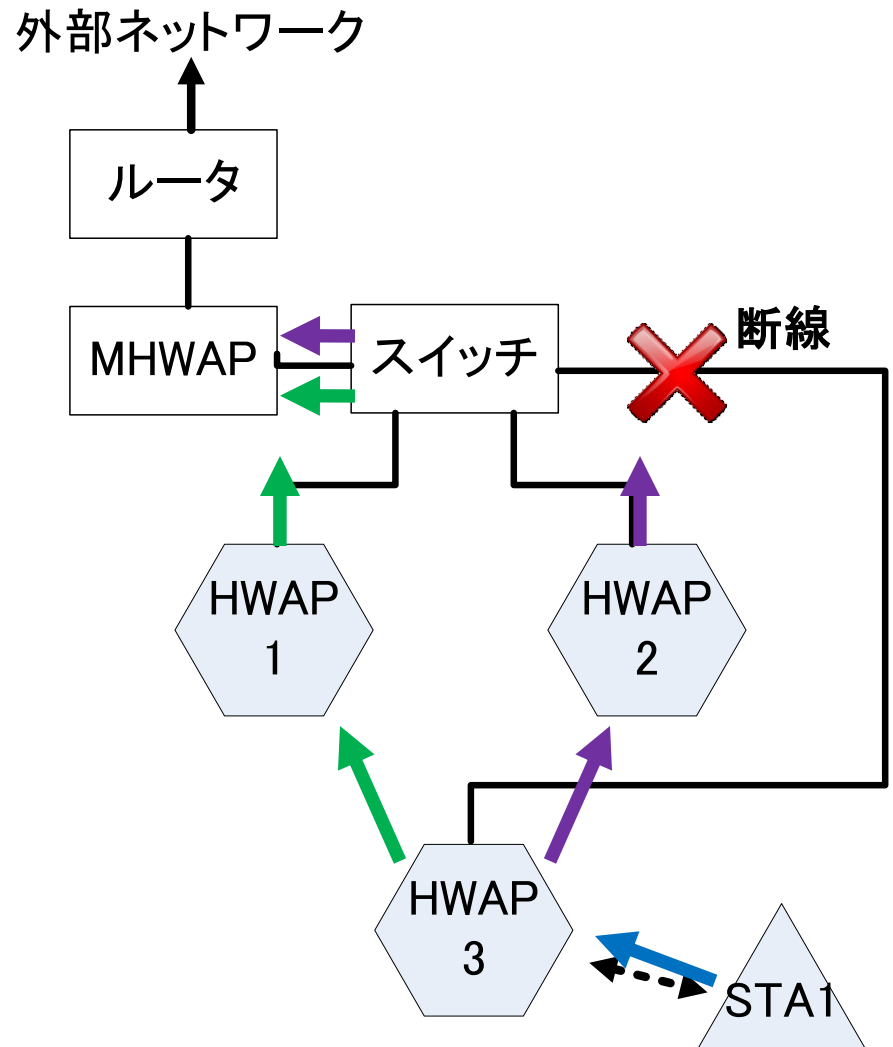
提案システム概要

- ▶ HWAPは断線を検知するとMeshmodeに動作を移行する
- ▶ Meshmodeの動作はWAPと同様
- ▶ 無線メッシュネットワークを使って新たな経路を生成する



最適経路の生成(内部→外部)

- ▶ 今回は公衆無線LANの利用形態として最も多いであろう内部から外部への通信を説明する
- ▶ 右図のようにHWAP3につながる有線が断線した場合には、STA1が外部と通信しようとする図の矢印のように複数の経路が考えられる



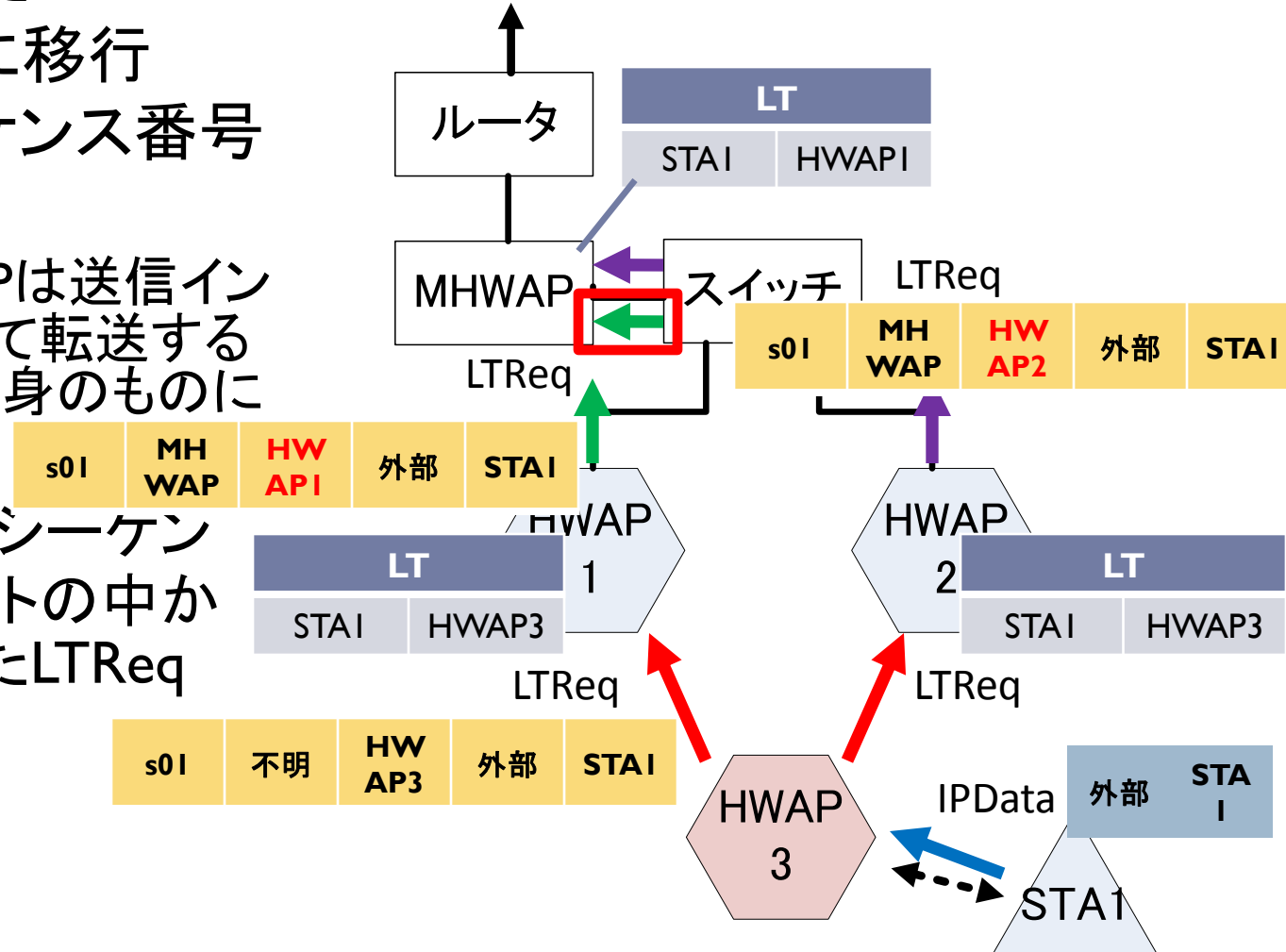
最適経路の生成(内部→外部)

STAのパケット

dst STA
IPsrc STA
IP

- 断線を検知したHWAP3はMeshmodeに移行
- LTReqはシーケンス番号を保持(s0I)
- APmodeのHWAPは送信インタフェースを変えて転送するとき、送信元を自身のものに書き換える
- MHWAPは同じシーケンス番号のパケットの中から最も早く届いたLTReqを採用する

外部ネットワーク

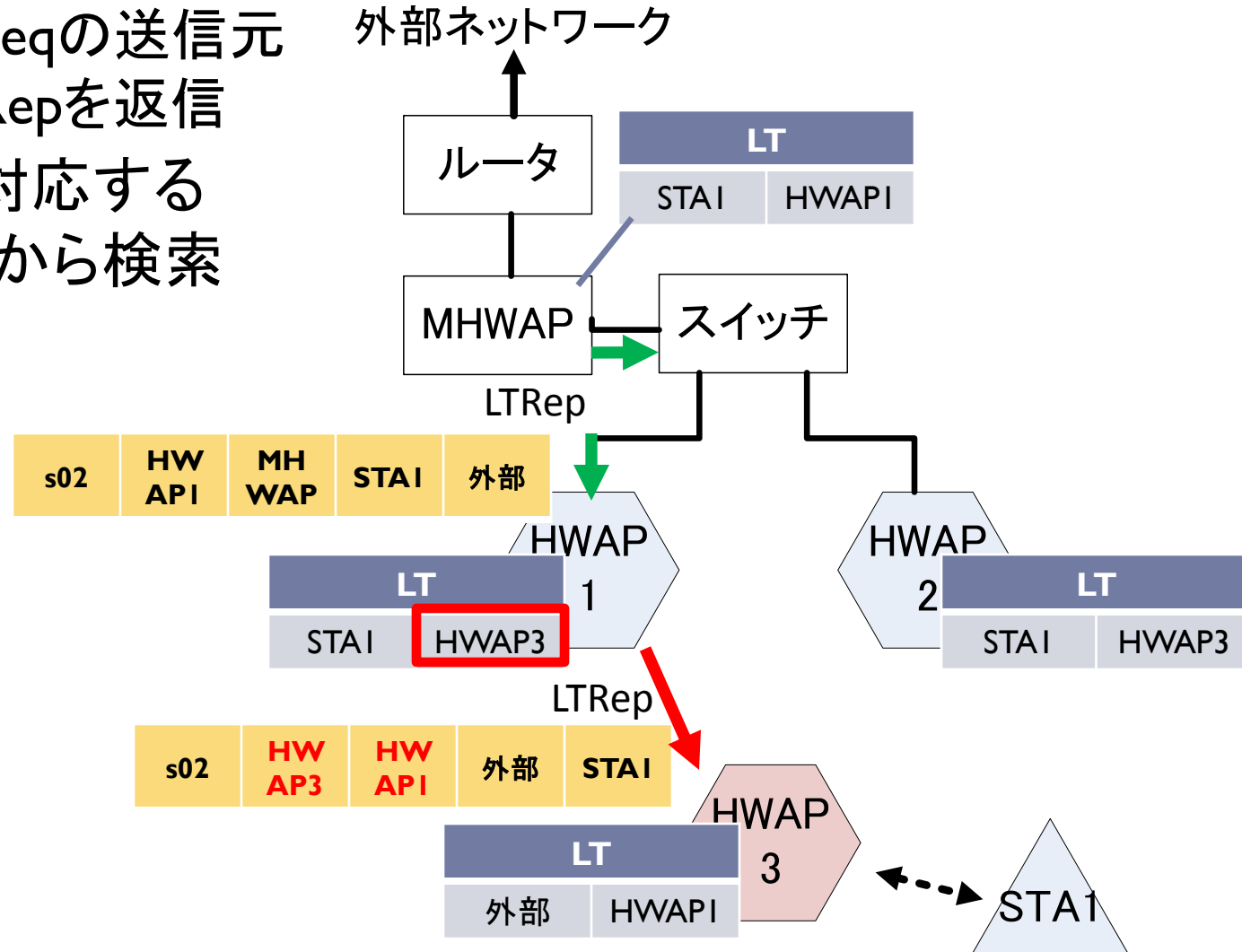


シーケンス番号	dst WAP IP	src WAP IP	dst STA IP	src STA IP
---------	------------	------------	------------	------------

最適経路の生成(内部→外部)

dst STA IP	src STA IP
------------	------------

- ▶ 採用したLTReqの送信元 HWAPにLTRepを返信
- ▶ 宛先STAと対応する HWAPをLTから検索

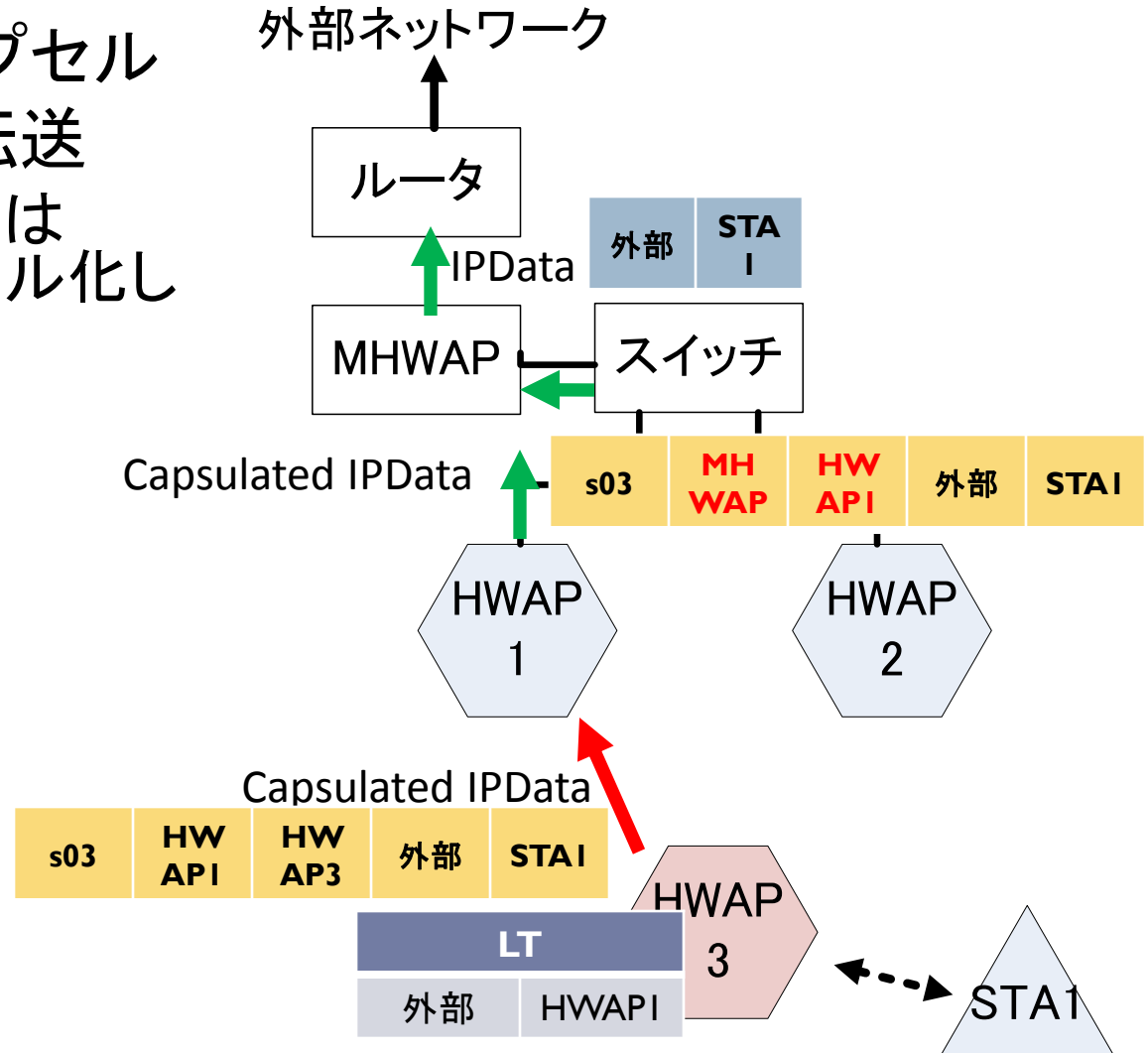


シーケンス番号	dst WAP IP	src WAP IP	dst STA IP	src STA IP
---------	------------	------------	------------	------------

最適経路の生成(内部→外部)

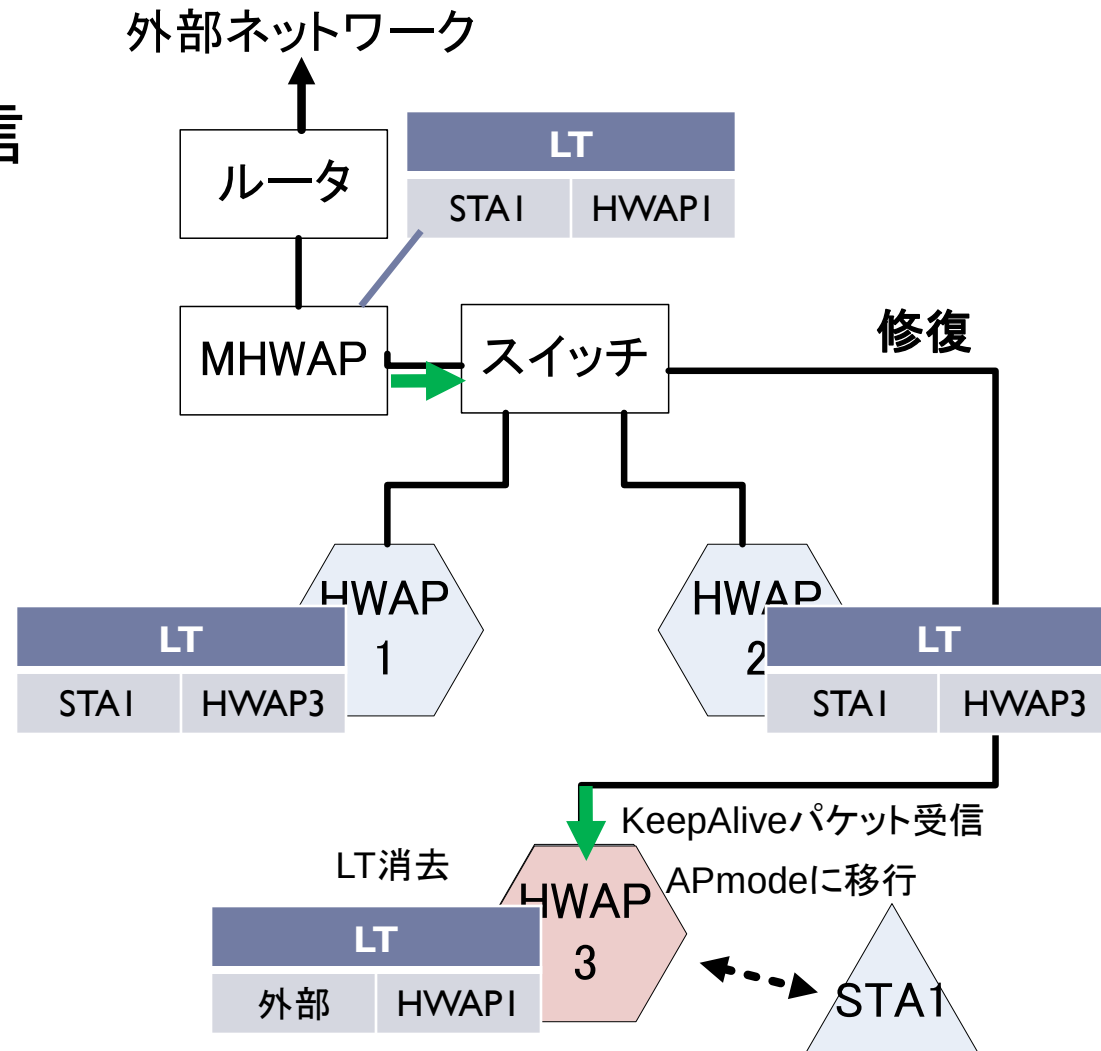
dst STA IP	src STA IP
------------	------------

- ▶ 作成したLTよりカプセル化したパケットを転送
- ▶ 外部宛てのパケットはMHWAPがデカプセル化して外部に転送する



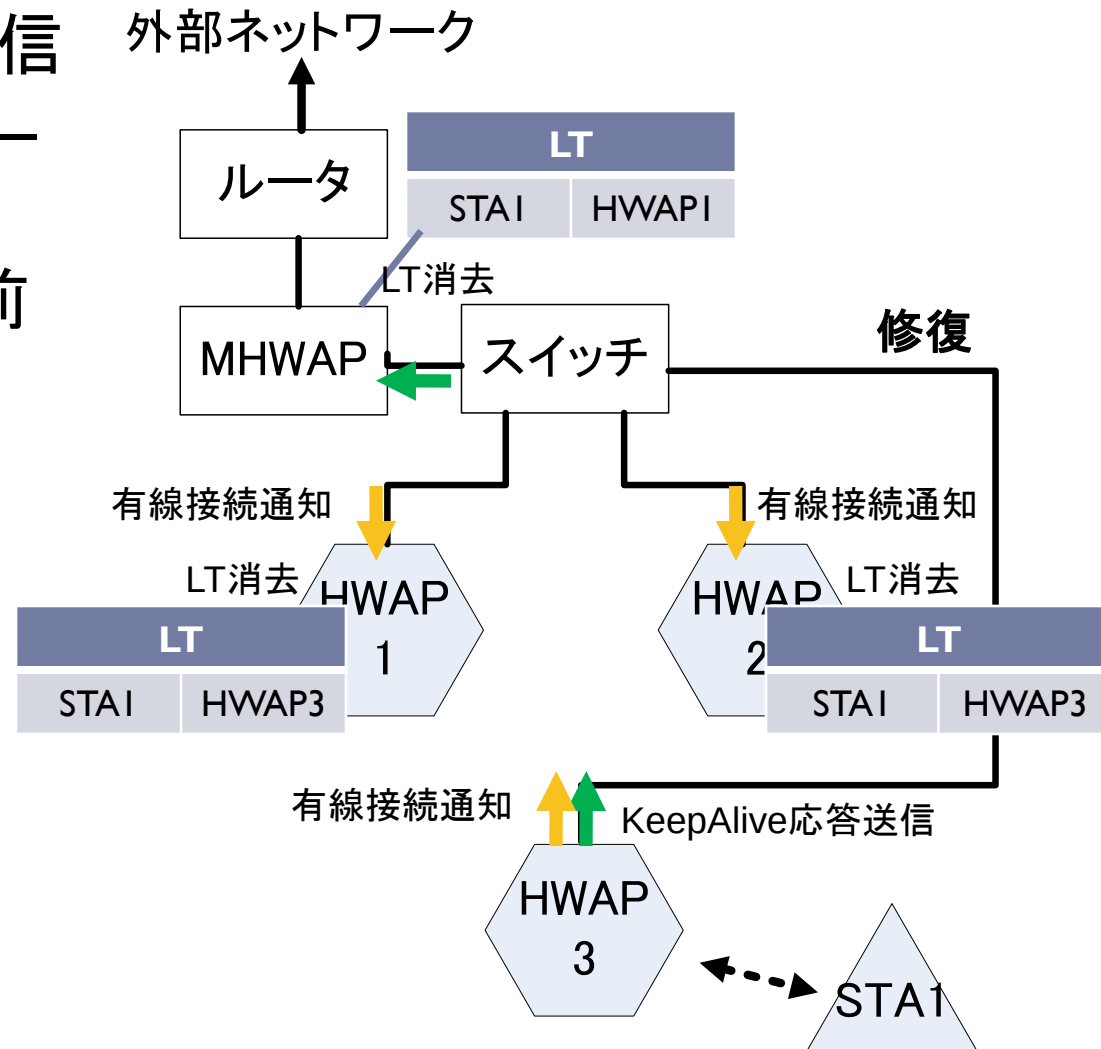
有線経路の修復

- ▶ 断線を修復したら
- ▶ KeepAliveパケット受信でApmodeへ移行



有線経路の修復

- ▶ KeepAliveの応答を送信
- ▶ 有線接続通知をブロードキャスト
- ▶ LTが消去され、断線前の状態に経路を修復



むすび

提案

- ▶ 公衆無線LANと無線メッシュネットワークを組み合わせた断線を自動補修するネットワークの検討

今後

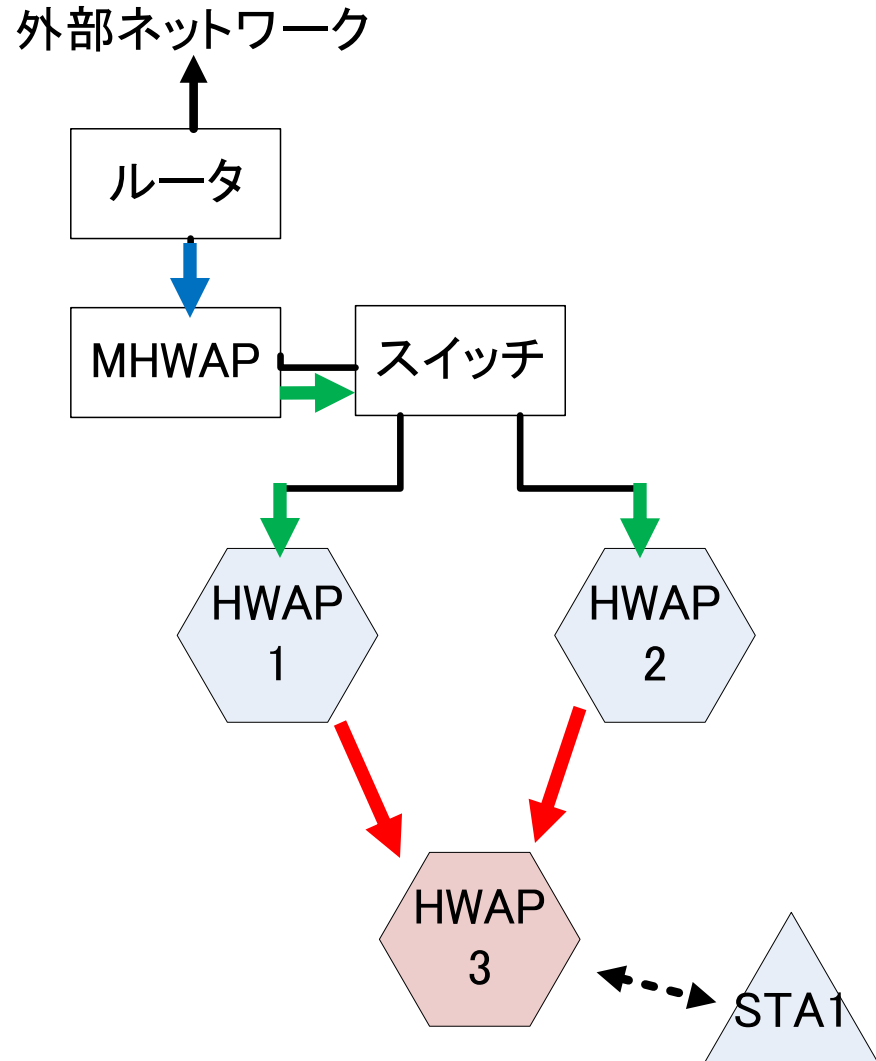
- ▶ 実装と検討

補足

シーケンス番号	dst WAP IP	src WAP IP	dst STA IP	src STA IP
			dst STA IP	src STA IP

最適経路の生成(外部→内部)

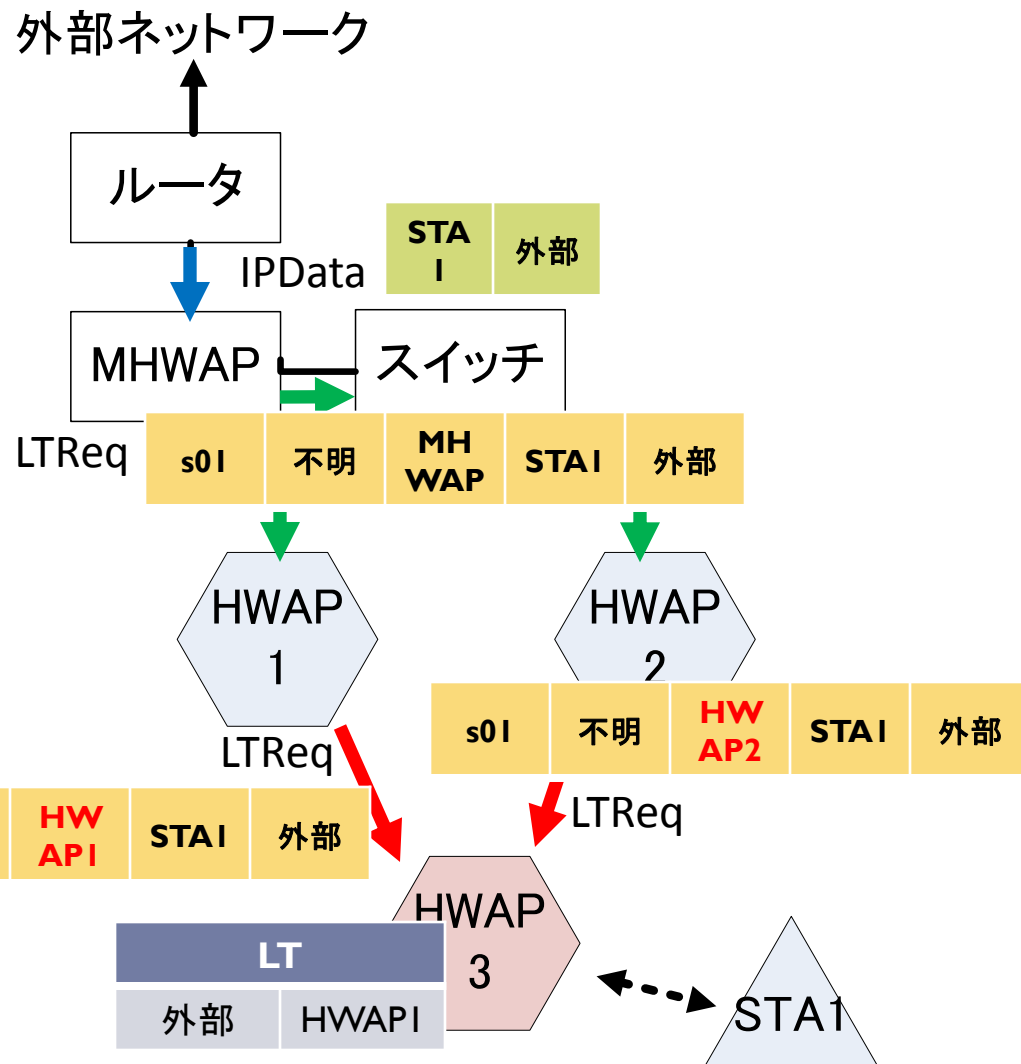
- ▶ 同様にして、外部からのパケット転送にも複数の経路が考えられる



シーケンス番号	dst WAP IP	src WAP IP	dst STA IP	src STA IP
			dst STA IP	src STA IP

最適経路の生成(外部→内部)

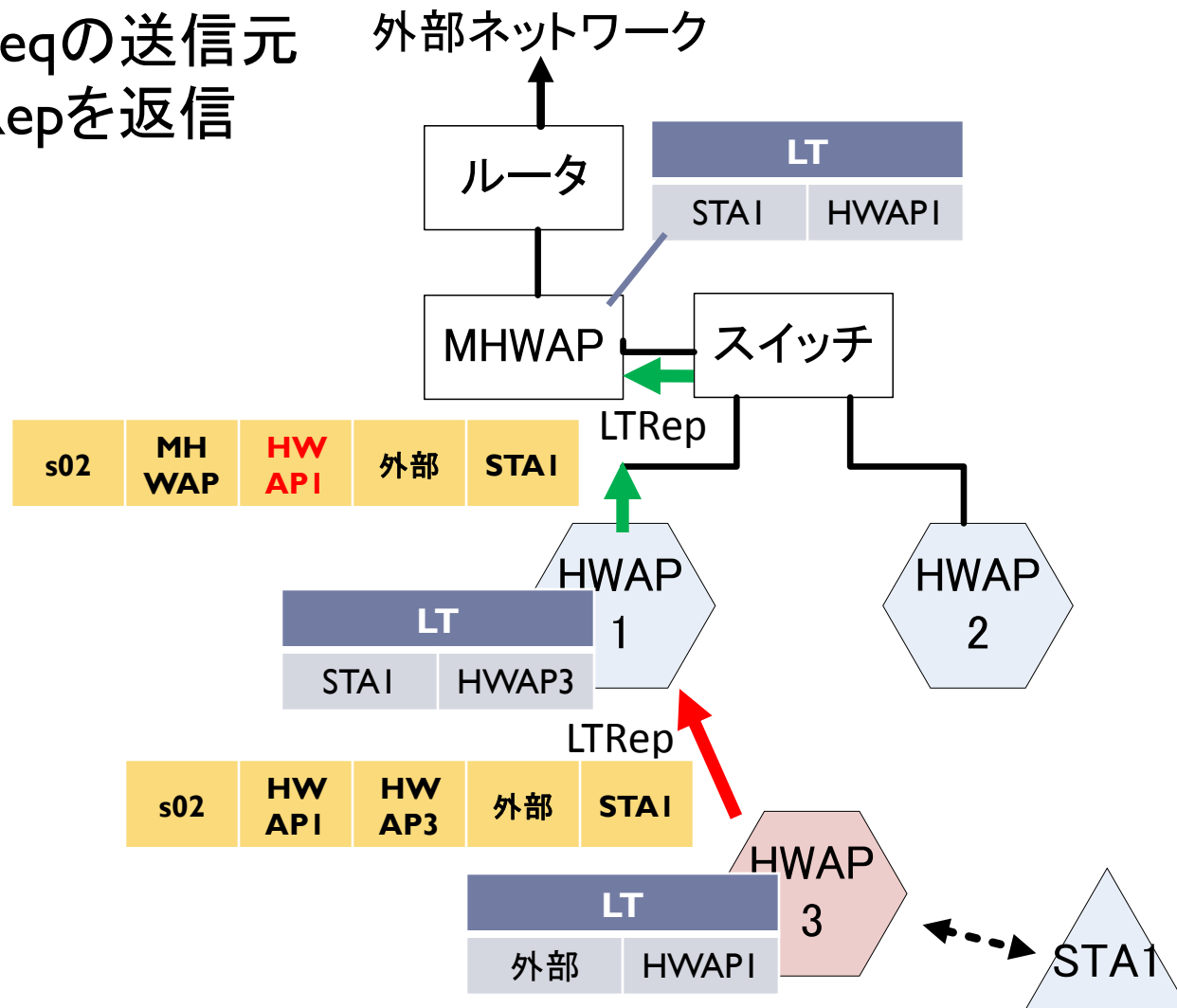
- ▶ 外部からのパケットは先ずMHWAPに届く
- ▶ MHWAPは全てのHWAPに対してLTReqをブロードキャスト
- ▶ LTReqは同じシーケンス番号を保持する(s0I)
- ▶ HWAPは同じシーケンス番号のパケットの中から最も早く届いたLTReqを採用する



シーケンス番号	dst WAP IP	src WAP IP	dst STA IP	src STA IP
			dst STA IP	src STA IP

最適経路の生成(外部→内部)

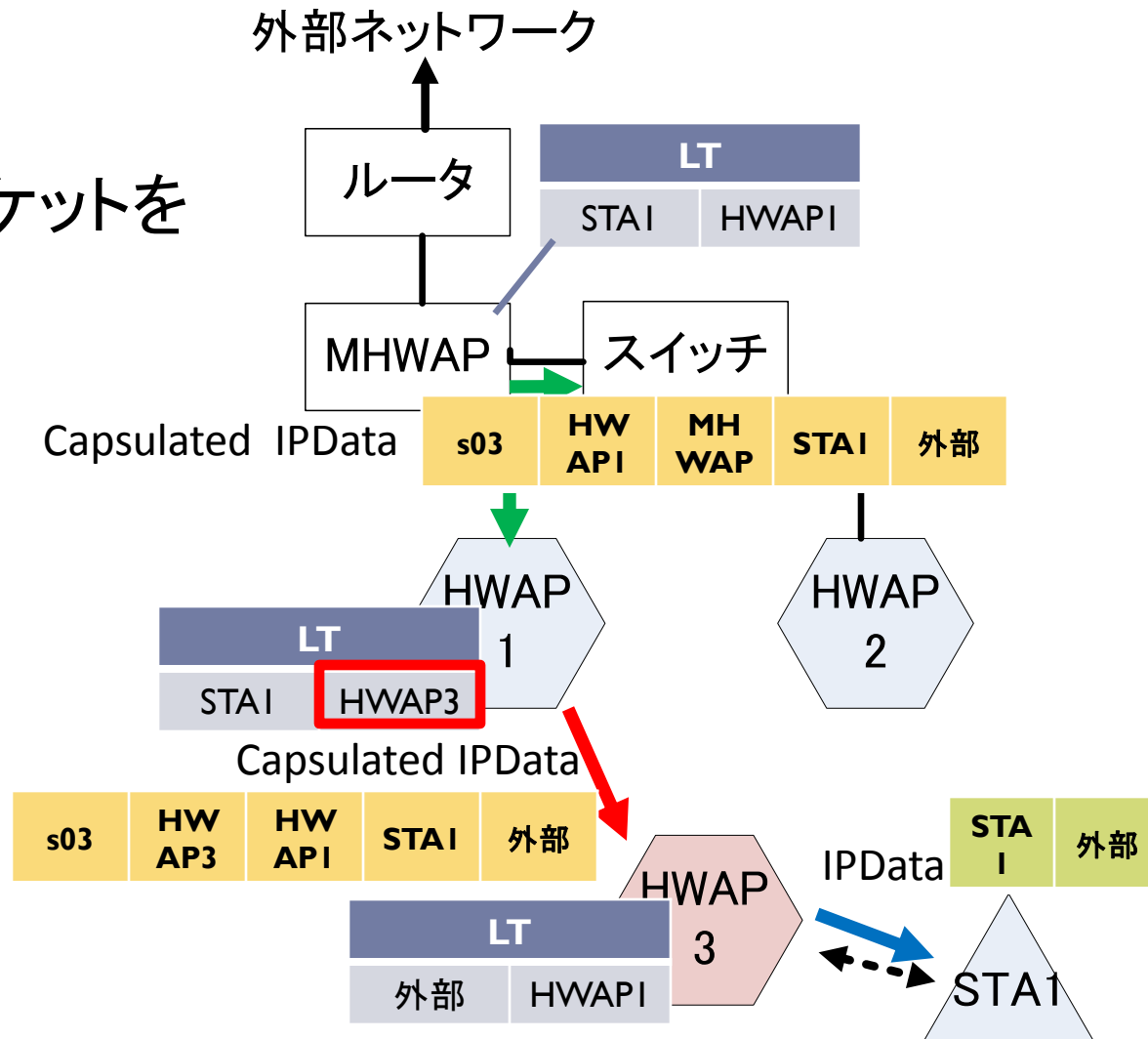
- 採用したLTReqの送信元 HWAPにLTRepを返信



シーケンス番号	dst WAP IP	src WAP IP	dst STA IP	src STA IP
			dst STA IP	src STA IP

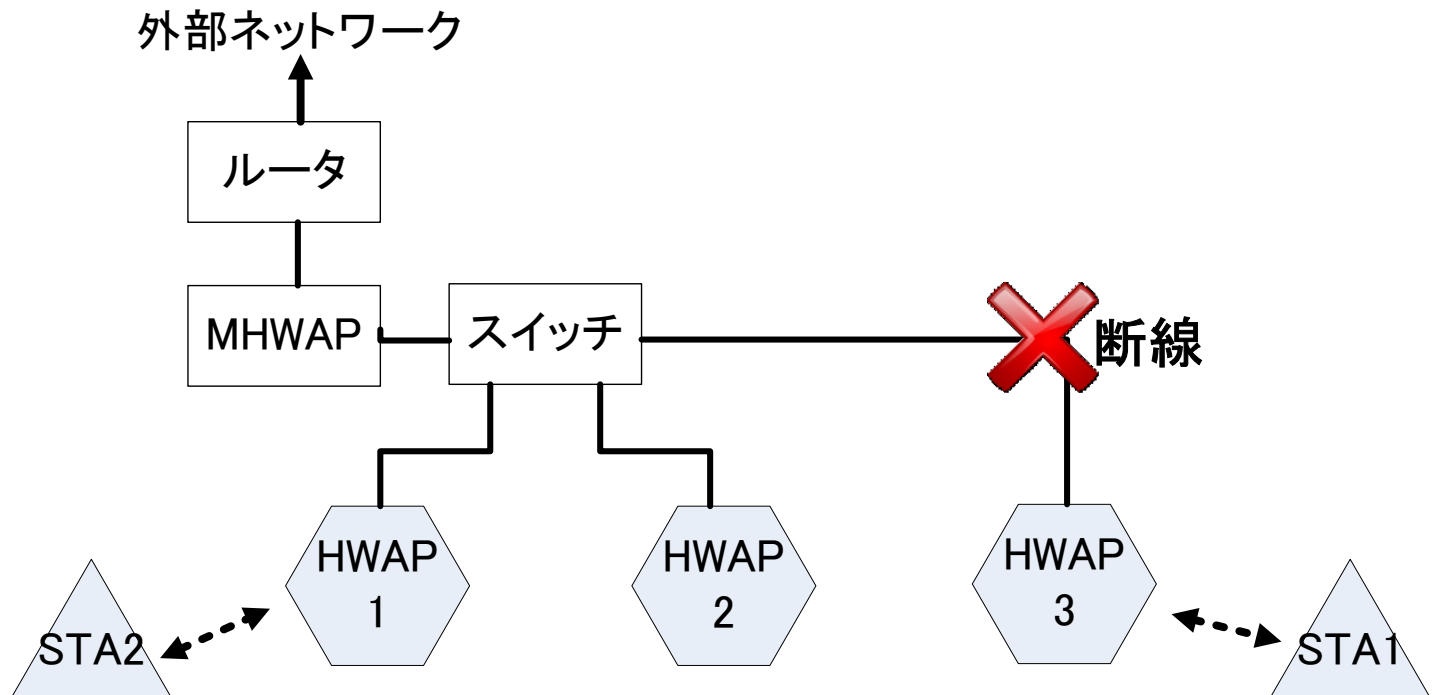
最適経路の生成(外部→内部)

- ▶ LTを利用してパケットを転送



シーケンス番号	dst WAP IP	src WAP IP	dst STA IP	src STA IP
			dst STA IP	src STA IP

最適経路の選択(内部同士の通信)



最適経路の選択(内部同士通信)

シーケンス番号

dst WAP IP

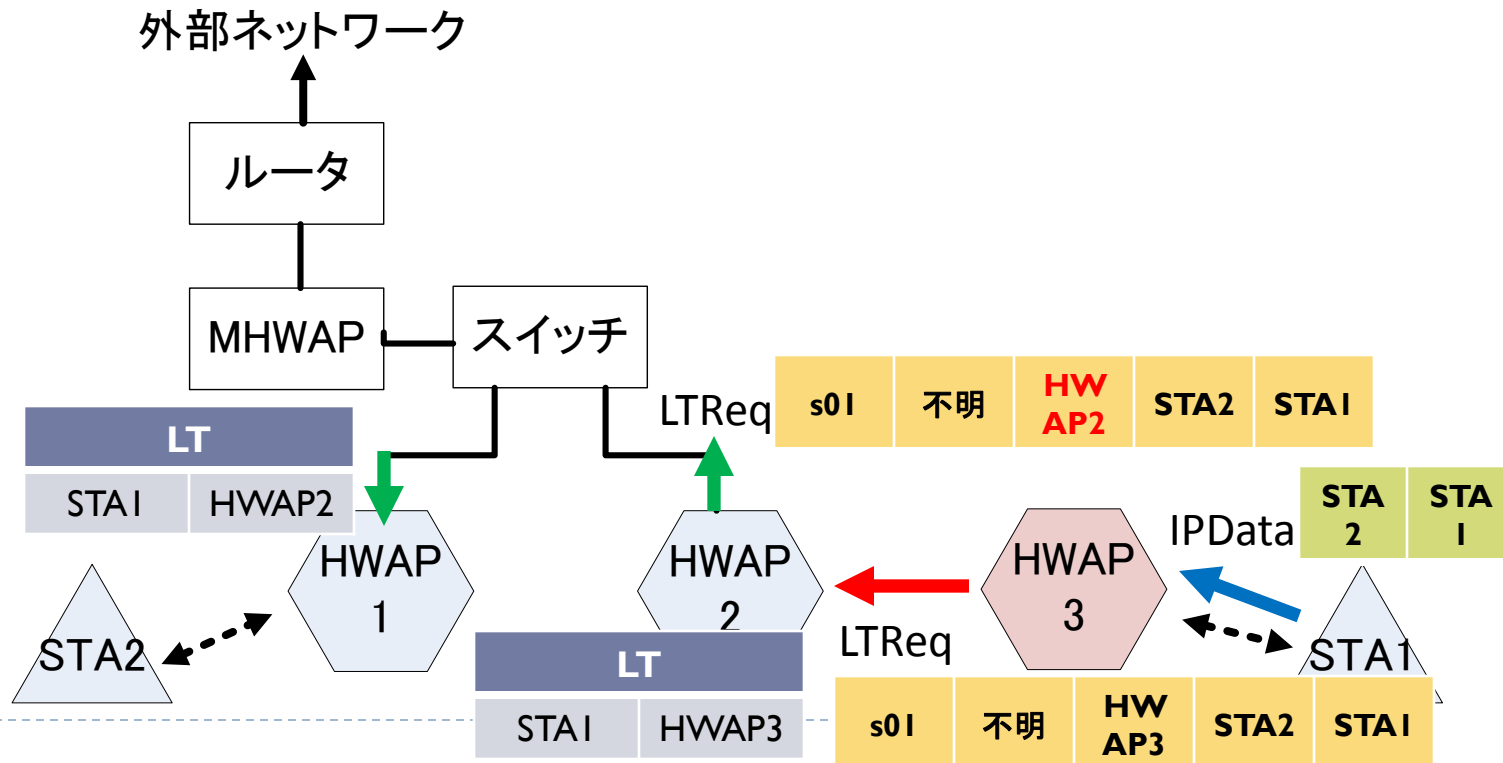
src WAP IP

dst STA IP

src STA IP

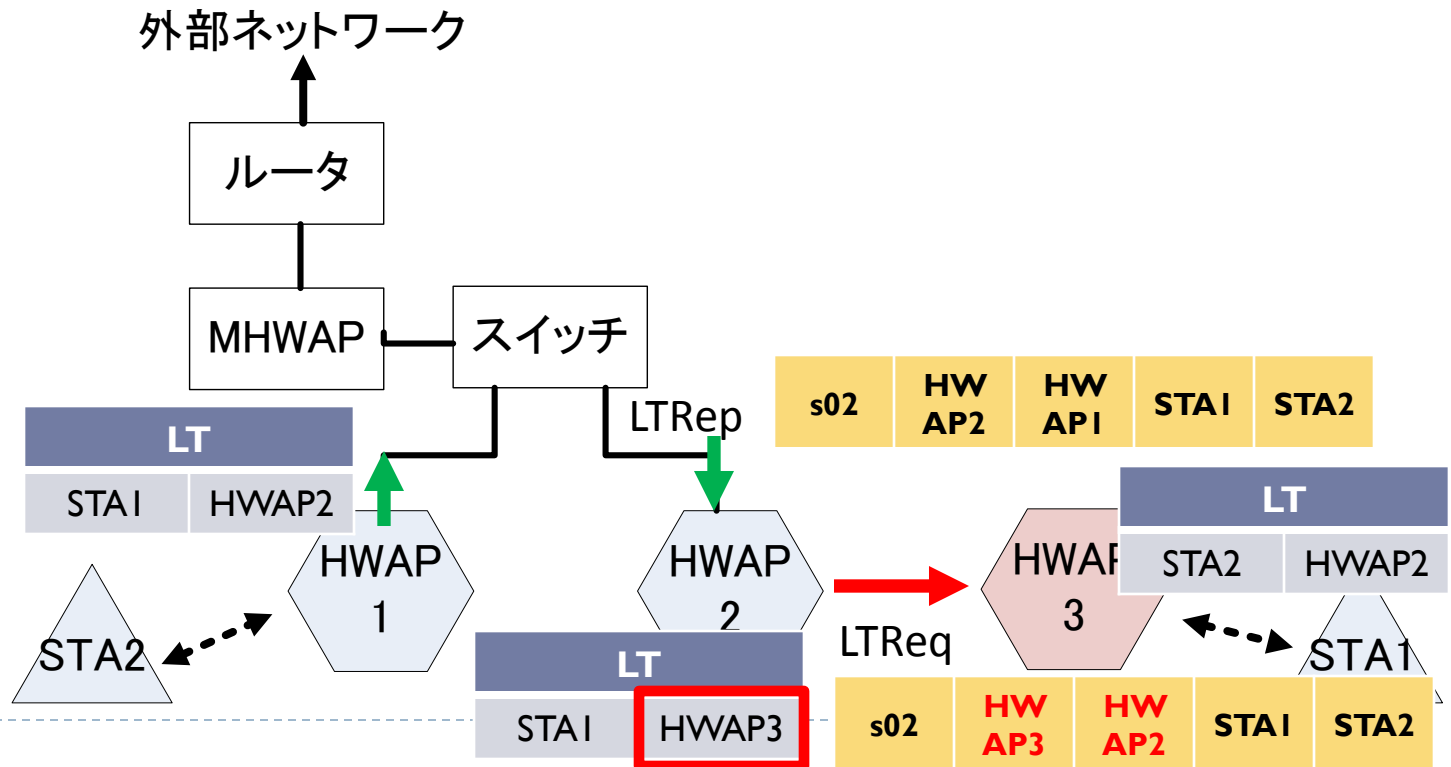
dst STA IP

src STA IP

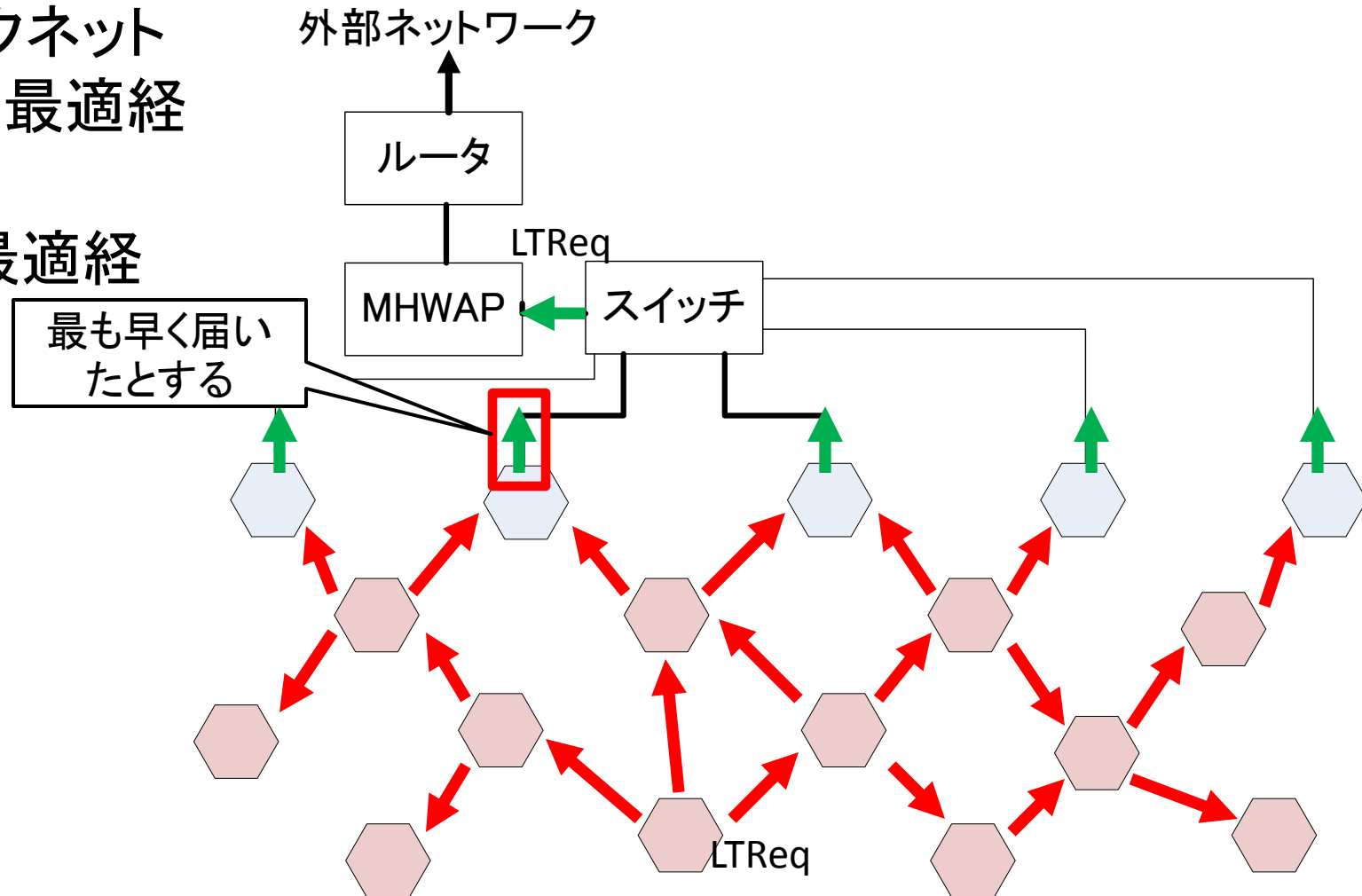


最適経路の選択(内部同士での通信)

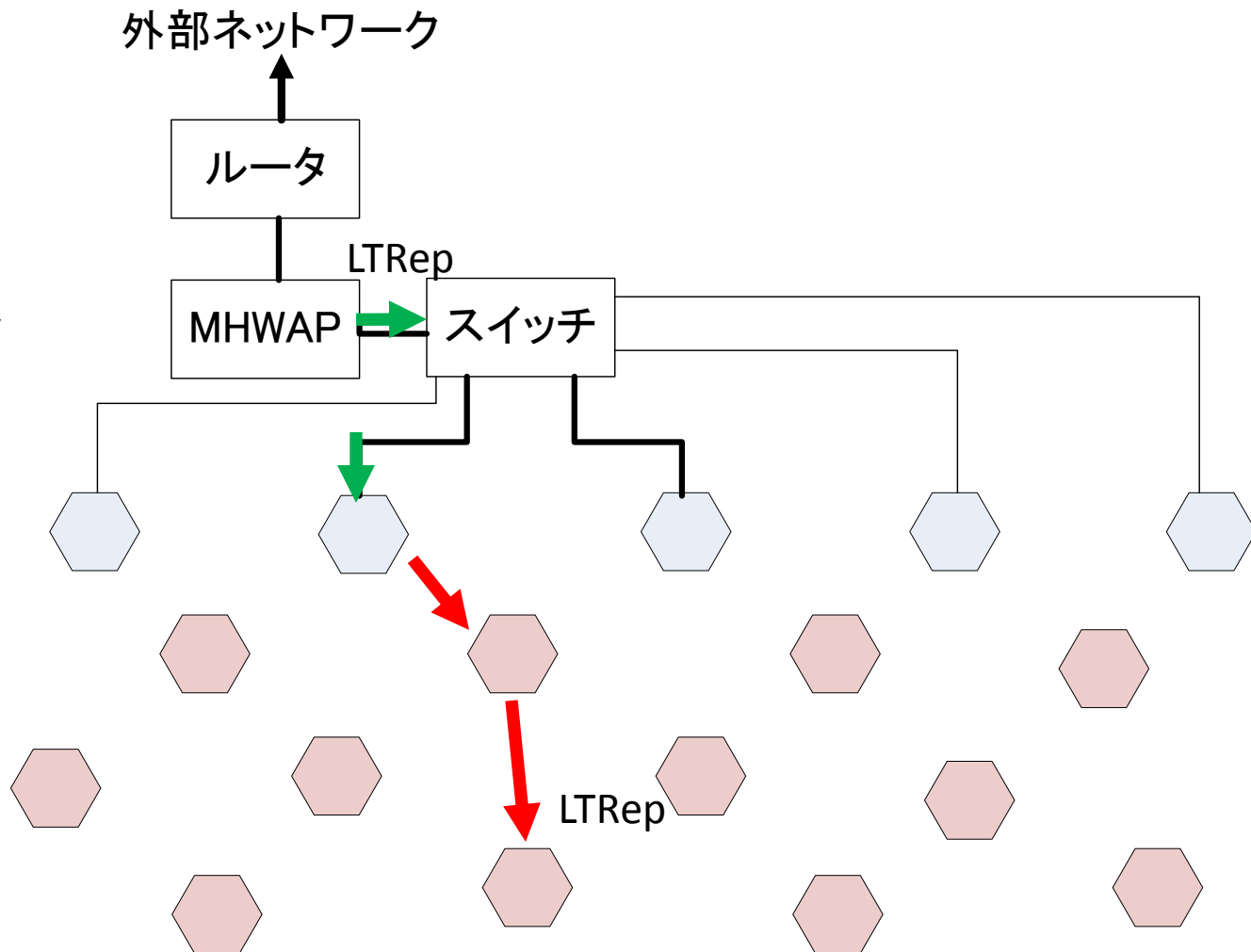
シーケンス番号	dst WAP IP	src WAP IP	dst STA IP	src STA IP
			dst STA IP	src STA IP



- ▶ アドホックネットワークの最適経路探索
- ▶ 有線の最適経路探索



- ▶ 有線の最適経路決定
- ▶ アドホックネットワークの最適経路決定



評価

- ▶ 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
- ▶ コストは3方式で機材の価格が同じと仮定

	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	◎	△	○

- ▶ 提案は、バランスがとれたシステムとなっている

- ▶ 有線の最適経路決定
- ▶ アドホックネットワークの最適経路決定

