

無線アクセスポイントリンク “WAPL” の提案と評価

加藤 佳之[†] 伊藤 将志[†] 渡邊 晃[†]

無線 LAN の通信インフラを容易に拡大するシステムとしてワイヤレスメッシュネットワーク (WMNs) が注目されている。WMNs は通信機器による自律的な拡張, 既存端末の容易な接続性, 高い耐障害性を実現する反面, 通信帯域の確保, 移動時の通信継続性の実現, 最適なルーティングプロトコルの選定等で課題が残されている。我々は WMNs の一方式として WAPL (Wireless Access Point Link) を提案している。WAPL は通信に必要なテーブルをオンデマンドに作成するため, 頻繁なフラッディングの発生を防ぐことができる。また, バックボーンのルーティングプロトコルが独立しており様々な用途に適用できる。さらに通信中に端末が移動してもシームレスな通信継続を保証できるという特徴がある。インターネットとの接続部にゲートウェイを設けることで外部と接続可能である。本稿では WAPL の方式を解説し, 他方式との比較を行う。また試作 AP の実装方法, および実験結果を示し, 本方式の実現妥当性を検証する。本方式の拡張によるゲートウェイ分散化の検討を行った。

Proposal of WAPL; Wireless Access Point Link and Its Evaluation

YOSHIYUKI KATO[†] MASASHI ITO[†] AKIRA WATANABE[†]

Wireless Mesh Networks (WMNs) have been noticed as a system which can expand wireless network infrastructure easily. Although, WMNs have good features such as self expand ability, easy connectivity, high availability, they have subjects such as securing bandwidth, seamless communication, selection of suitable routing protocols. We propose the WAPL (Wireless Access Point Link) as one of WMNs. WAPL prevent the frequent flooding, since WAPL makes the table for communication on-demand. And it is useful for various situations, because WAPL is independent from routing protocols used for backbone network. Moreover, it is featured that WAPL secures the communication continuity when terminal is moving during communication. WAPL enables internet connectivity by installing the gateway between WAPL and the Internet. In this paper we explain the WAPL system, and compare it with other systems. We consider the reasonability by showing the manner of making proto-type AP and evaluation results. We have also taken a look at decentralized approach of gateway in this method.

1. はじめに

無線 LAN は端末の配線が不要でかつ高速な通信が可能であることから携帯型端末を中心に急速に普及が進んでいる。これをうけて時間や場所にとらわれずに無線 LAN を使用したいという要求が高まっている。

このような要求を実現するためには通信基盤となるアクセスポイント (以下 AP) を整備する必要がある。しかし, AP の設置には多大な費用と時間を要する。これを解決するためにワイヤレスメッシュネットワーク (WMNs) [2]の研究開発[3][4][5]が進められている。WMNs は従来有線で結合していた AP 間の接続を無線で行うため, 容易に通信範囲の拡大が可能となる。

WMNs は IEEE802.11 Task Group S (IEEE802.11s) において標準化が進められている。しかし, 現行の仕

様草案では端末が移動した時の動作は詳細が未検討の状態である[6]。またインターネットゲートウェイの分散運用についても未検討である。WMNs を実現するには, 通信相手端末がどの AP 配下に存在するかというマッピング情報 (以下 AP 端末マッピング) を各 AP が保持している必要がある。IEEE802.11s を含む既存の多くの WMNs は MANET (Mobile Ad-hoc Network) のアドホックルーティングプロトコルに AP 端末マッピングを管理する機構を組み込んでいる。そのため制御メッセージの動作はルーティングプロトコルの性質に依存しており利用環境に応じて適切に切り替えることができないという課題がある。

我々は WMNs の実現方式の一つとして Wireless Access Point Link (WAPL ; ワップル) [7]の提案を行っている。本方式は端末の通信開始時に AP 端末マッピング情報をオンデマンドで生成し, 余分なトラフィックの発生を抑えている。また, AP 間のアドホックルーティングプロトコルと AP 端末マッピングの管理は完

[†]名城大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Meijo University

全に独立しており、ルーティングプロトコルを用途に応じて変更することが可能である。また各 AP が通信中の端末を常時把握することにより端末が移動してもパケットロスのないハンドオーバを実現できる。

本稿では WAPL の概要とその実装を述べ、性能評価の結果を示す。また、インターネット接続時のゲートウェイ選択方式案を示す。

以下、2 章で関連技術とその課題を明確にし、WMNs に要求される条件を整理する。3 章では WAPL のアーキテクチャの詳細およびインターネット接続の検討を述べる。4 章では実装と評価結果を示す。5 章でまとめる。

2. 関連技術

WMNs は米国において Tropos Networks[3], Mesh Networks[4], BelAir Networks[5]など多くのベンダが製品開発を行っており、大規模な導入事例もある[5]。しかし独自の方式で WMNs を実現しているため、他ベンダの製品とは相互運用できない。また、詳細な仕様を公開しているベンダは少ないため、実現方法の詳細は不明であり、評価データもほとんど開示されていない。そこで IEEE[1]では無線メッシュネットワークの標準規格として IEEE802.11s が検討されており、今後の普及が期待されている。また国内では M-WLAN[8]が検討されている。本稿では IEEE802.11s と M-WLAN を説明する。

2.1 IEEE802.11s

図 1 に IEEE802.11s ネットワーク概念図を示す。IEEE802.11s はメッシュネットワーク機能のみを実装した Mesh Point (MP), MP に無線 LAN アクセス機能を内蔵した Mesh Access Point (MAP), メッシュネットワークと他の外部ネットワークを接続するゲートウェイ機能を有する MP collocated with a mesh Portal (MPP), メッシュ機能を持たない一般端末 STA (STation) により構成される。この構成は他の WMNs でも名称の違いはあるものの同様である。MP, MAP, MPP といったメッシュ機器間のデータ転送には市販の AP において無線リピータ機能の実現に用いる WDS (Wireless Distribution System) フレームを用いる。WDS フレームには MAC アドレスフィールドが 4 つ定義されており、一般端末 STA のアドレス、STA を収容する MAP のアドレスを同時に格納することができる。端末から送信されたデータはメッシュ機器による L2 ルーティングにより転送される。このルーティングのために MANET のルーティングプロトコル AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) [9]を拡張した RM-AODV

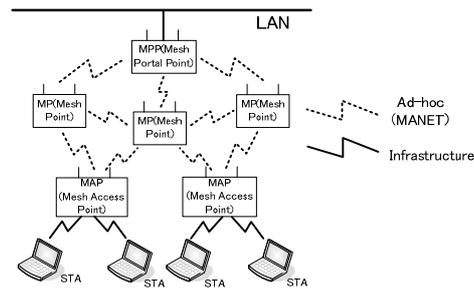


図 1 IEEE802.11s ネットワーク概念図

(Radio Metric-ADOV), または HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol) が用いられる。これらのルーティングプロトコルは MANET と動作アルゴリズムが同じであるが、IP アドレスではなく MAC アドレスを用いる点異なる。STA から見てメッシュ機器全体がブリッジ装置に見えるため、ネットワーク層ではすべての機器がフラットに存在することになる。そのため、STA から送信されたブロードキャストフレームはメッシュ内でフラッディングされる。このため、IEEE802.11s ではメッシュ機器の総数を 32 台に制限し、ネットワーク内の品質を維持している。通信中に端末が移動した場合の動作については IEEE802.11r[10]のようなハンドオーバをサポートするための規格との融合を検討している。しかしこれらの規格は一般端末にも追加機能の組み込みが要求されるため、従来の端末のままではシームレスなハンドオーバは実現できない。

2.2 M-WLAN

M-WLAN (Multi-hop Wireless LAN) は複数の方式が提案されているがここでは最新の検討である IP 中継方式を取り上げる。Mesh AP (MAP) は M-WLAN で用いるアクセスポイントの呼称である。すなわち IEEE802.11s での Mesh Access Point と同じ概念である。MAP の端末側のインタフェースはプロミスキャストにより端末が出すフレームをすべて受信する。フレーム受信後、フレームタイプを判断し、IP パケットならば MAP のアソシエーションセットに従って宛先端末の所属している MAP へ AP 間通信用インタフェースを用いて転送される。アソシエーションセットは AP 端末マッピングを管理するテーブルで M-WLAN に接続しているすべての端末の IP アドレスとその所属 MAP の IP アドレスが常時記録されている。アソシエーションセットの生成には AAD メッセージ (Associated Address Destination) が用いられる。AAD メッセージは MAP に所属している端末の IP アドレスのリストを記録したもので、OLSR (Optimized Link State Routing) [11]を改造することにより、TC メッセージと共にフラッ

ディングされる。AAD メッセージを MAP が受け取ると生成元 MAP アドレスとリストに記録された端末アドレスを元にアソシエーションセットの更新を行う。MAP は端末とのリンクを監視しており、端末がリンク切断や再接続を行う場合には直ちに AAD 広告をフラッディングし、アソシエーションセットの同期を行う。端末へのアドレス配布には DHCP[12]を用いる。DHCP パケットは MAP でキャプチャし、そこから端末の物理アドレスと IP アドレスのペアを取得する。その後これを AAD メッセージに載せて適切な周期で MAP 全体にフラッディングする。これにより全 MAP に全ての端末の MAC アドレスと IP アドレスの対応表が生成される。端末が ARP を送信した場合、MAP が代理で端末の出す ARP Reply メッセージと同じ内容のパケットを返す。

M-WLAN は AAD メッセージ送信のために OLSR を改造しており、他のルーティングプロトコルへの変更はできない。また AAD メッセージは定期的送信されるため端末数が多いとトラフィックへの影響が懸念される。AAD の送信インターバルの設定を長くするとトラフィックへの影響を小さくできるが、経路の更新が適切に行われず経路不整合の問題を生じることがある。

3. WAPL

3.1 特徴

WAPL では無線化した AP を Wireless Access Point (WAP) と呼称する。WAPL モジュールは MANET のルーティングプロトコルと独立して実装可能であり、ルーティングプロトコルを自由に選択できる。AP 端末マッピングの管理テーブルは通信開始時のみ生成するため、制御パケットがトラフィックを圧迫することはない。また、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。また複数のゲートウェイを設置した際に端末が送信したインターネット向けのパケットを WAP が自動的に最適なゲートウェイを選択して転送する機能を備えている。

3.2 通信方式

WAP の端末側インタフェースはプロミスキャスモードで配下端末の送信するフレームを全て受信する。受信フレームから IP パケットを取り出しカプセル化を行う。カプセル化の際に WAP はリンクテーブル (以下 LT) と呼称する独自に定義したテーブルを参照する。LT は端末マッピングに使用するテーブルで相手端末の IP アドレスおよび MAC アドレスとその端末が接続している WAP の MANET 側の IP アドレスの対応関係

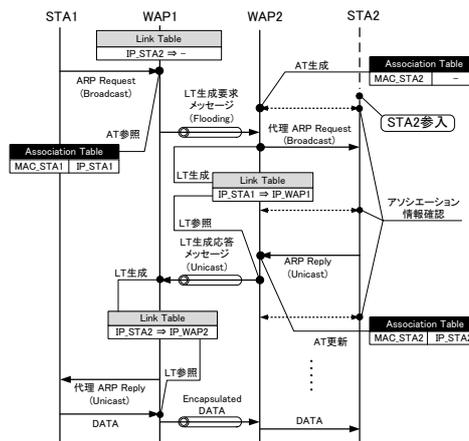


図2 LTの生成方法

を示したものである。LT 生成のトリガには IP パケットおよび ARP Request が用いられる。図2をもとに LT の生成方法を示す。端末 STA1 からの ARP Request を受け取った WAP1 はアソシエーションテーブル (AT) を確認する。AT は配下端末の存在把握およびネットワーク中へ送信される ARP メッセージの削減のために使用するテーブルで WAP にアソシエートしている端末の MAC アドレスと IP アドレスの情報を登録している。AT の MAC アドレス部は端末がアソシエートすると直ちに作成されるが IP アドレス部の無い不完全なエントリとなっている。端末から ARP Request を受信した時点で IP アドレス部に ARP Request から得た端末の IP アドレスが登録されエントリが完成する。WAP1 は LT を参照し、宛先端末 STA2 に関する対応情報があるかどうかを調べる。対応情報がない場合、LT 生成要求メッセージを送信する。LT 要求メッセージは LT フラッディングされて全 WAP に送信される。LT フラッディングとはアプリケーションレベルで実現するフラッディングでアドホックルーティングプロトコルとは独立している。WAPL はメッシュ機能のみを担っており、アドホックルーティングプロトコルとは階層化されているためである。これを受け取った他の WAP は WAP1 と STA1 の AP 端末マッピングを自身の LT に記録した後、配下に STA2 が存在するかどうかを AT により確認する。STA2 の IP アドレスをキーに AT を検索した結果、STA2 のエントリが存在しない場合は WAP が代理で ARP Request を送信する。これにより、STA2 は ARP Reply を WAP2 に送信し、STA2 に関わる AT が完成する。AT エントリが完成した端末については以後の代理 ARP Request の動作が不要となる。WAP2 はその後 LT 生成応答メッセージの送信に移る。LT 生成応答メッセージは WAP1 へユニキャストで返

信する。この際、WAP2は生成済みのLTを参照してWAP1のアドレスを求める。LT生成応答メッセージを受け取ったWAP1は自身のLTを更新する。同時にWAP1はARP Replyを接続先端末の代理として返信する。この際の応答のMACアドレスはWAP1とする。端末は以後、WAP1のMACアドレスを宛先MACアドレスとしてIPパケットを送信する。以降の通信はLTを参照してWAP間でIPカプセル化することにより可能となる。通信が無くなれば一定時間経過後にLTの内容は削除される。

3.3 端末のIPアドレス配布

端末のIPアドレスはDHCPサーバにより配布する。図3にWAPLにおけるDHCPの動作を示す。DHCPサーバが配下に存在するWAP-Dのアドレスはあらかじめ全てのWAPのLTに登録しておく。端末は電源を立ち上げるとDHCP DISCOVERをブロードキャストする。これを受信したWAPはWAP-DのIPアドレスでカプセル化し、ユニキャストでWAP-Dに送信する。このときWAP1はDHCP DISCOVER内のトランザクションIDとMACアドレスの対応関係をトランザクションテーブルに登録しておく。これはDHCPシーケンスでは端末のIPアドレスは未定であるためLTによるマッピングが使えないためである。WAP-DはDHCP DISCOVERをデカプセルした後、配下にブロードキャストする。DHCPサーバはこれを受信するとDHCP OFFERを送信する。WAP-Dはこれを受け取ると、トランザクションテーブルを参照しカプセル化パケットの宛先WAPを決定する。DHCP OFFERはDHCPの実装により宛先IPアドレスがブロードキャストアドレスになっている場合と配布予定のIPアドレスになっている場合がある。OFFERパケットを受け取ったWAP1はIPヘッダをチェックし、ブロードキャストアドレスならばブロードキャストフレームとして配下端末に送信する。配布予定のIPアドレスがセットされている場合はトランザクションIDをチェックし、該当するMACアドレスをMACヘッダにセットして送信する。以降、DHCP REQUEST、DHCP ACKを同様に処理し、端末にIPアドレスが配布される。

3.4 通信中の端末移動の対処

端末が通信をしながら移動をするとWAP間の、ハンドオーバーが発生する。この問題に対処するためWAPはMANET側をプロミスキューモードで常時モニタし、自分宛以外のパケットのIPヘッダから宛先WAP、送信元WAP、宛先端末、送信元端末のIPアドレスを取得し、近隣通信テーブルに登録する。これによりWAPは近隣の通信状態とその経路を知ることができる。端

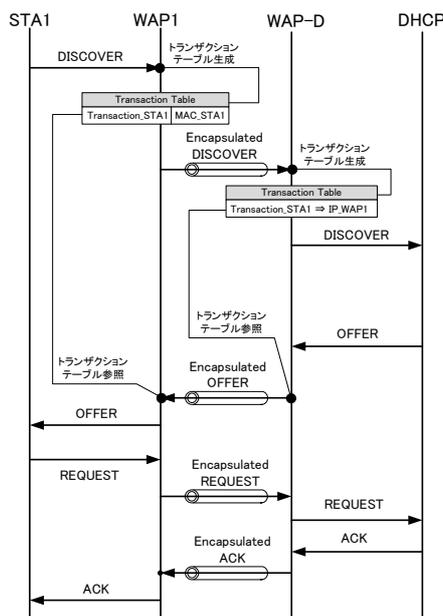


図3 WAPLにおけるDHCPの動作

末が移動して旧WAPから離脱し、新WAPに参入すると旧WAPはパケットのバッファリングを開始する。新WAPは旧WAPにバッファリング開放メッセージを送信し、送信元WAPには経路変更メッセージを送信する。これらのメッセージはユニキャストで送信することができるため、確実性の高い通知となる。この効果は文献[13]で示されている。

3.5 インターネット接続

(1) インターネット接続の原理

DHCPサーバの場合と同様にあらかじめデフォルトゲートウェイのLT情報は登録しておく。このため、端末からのデフォルトゲートウェイのアドレス解決ARP RequestはWAPが直ちに代理ARP Replyで返信することができる。端末から外部向けのIPパケットを受け取ったWAPは宛先IPアドレスがWAPL外であるかどうかをチェックする。WAPL外のパケットであれば、デフォルトゲートウェイの所属しているWAP宛にユニキャストする。デフォルトゲートウェイが接続しているWAPはこのパケットを受け取ると、デカプセル化後、デフォルトゲートウェイへ転送する。以降は通常のLANと同様に外部ネットワークへと転送される。

(2) デフォルトゲートウェイの分散化

WMNsは無線のみで構成されるネットワークであり、帯域幅を有効活用することが求められる。とくにゲートウェイ近傍のWAPは外部向けのトラフィックが集中するため、配下端末のスループットが低下するこ

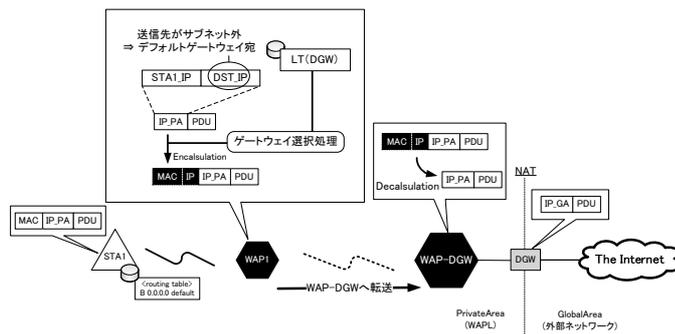


図4 ゲートウェイの選択

とが懸念される。また、デフォルトゲートウェイの障害、およびリンク切断が発生するとインターネット接続ができない。このため、デフォルトゲートウェイの冗長化が必要である。しかし、LANにおけるデフォルトゲートウェイは通常1つであり、複数のデフォルトゲートウェイを設置し、負荷分散を行いたい場合は端末ごとに異なるデフォルトゲートウェイのアドレスを指定することになる。WMNsは電波状況に応じてAPのトポロジが変化し、デフォルトゲートウェイへのホップ数や帯域幅が変動する。このようなネットワークにおいてはより柔軟なゲートウェイの選択方法が必要となる。WAPLでは端末からのパケットをWAPの判断で任意のWAPへと転送することが可能である。そこで、あらかじめWAP-DGWのIPアドレスを各WAPに事前に複数登録しておき、最適なゲートウェイをWAP自身が選択することができる。端末にはWAPL内のいずれかのデフォルトゲートウェイのIPアドレスが配布されるが、WAPへ転送された後の経路はWAPが決定する。この方式により参加端末はデフォルトゲートウェイが分散化されていることを意識することなくインターネット接続が可能となる。

(3) 分散化手法の検討

WAPにおける最適なゲートウェイの選択手法として以下のような方式がある。

➤ ホップベース方式

WAP-DGWへのホップ数を基準に選択する。端末から送信されたパケットを受け取るとWAPはWAP-DGWごとにホップ数を算出し、より少ないホップ数のWAP-DGWを選択する。WAP-DGWまでのホップ数はWAP-DGWからのLT生成要求メッセージから取得できる。

➤ フロー監視方式

WAP-DGWを通過する通信量を基準にゲートウェイを選択する。WAP-DGWは単位時間ごとのフローを監視し、その情報をWAP-DGWメッセージとして定期的にフラッディングする。これを受け取ったWAPは

現時点で通信量の低いWAP-DGWを選択する。この選択はコネクション単位とする。

4. 実装と評価

4.1 実装

WAPを市販APとPCを組み合わせることにより試作した。図6に試作WAPの実装を示す。WAPは端末側のモジュールAPF (Access Point Function) と主としてカプセル化/デカプセル化処理を行うCAPF

(Capsulation Function)で構成できる。APFを市販AP、CAPFをPCにより実装し、両者をEthernetで接続した。APFは無線フレームをEthernetフレームに変換する役割を担う。CAPFはEthernetフレームをプロミスキャスモードで受信しWAPL機能実現のための一連の動作を担う。CAPFはカプセル化モジュール、LTモジュール、ATモジュール、トランザクションモジュール、ハンドオーバーモジュールにより構成される。カプセル化モジュールはRaw Socketにより取り出されたIPパケットをMANET側のIPパケットでカプセル化する。LTモジュールはLTの生成と検索を行う。他のモジュールからは端末のIPアドレス、WAPのIPアドレスのいずれかをキーにして相互に検索することが可能である。トランザクションモジュールはDHCPトランザクションIDと端末MACアドレス、WAPのIPアドレスを格納するトランザクションテーブルを管理する。ハンドオーバーモジュールはMAC-IPテーブルと近隣通信テーブルの管理を行う。また端末移動後のバッファリング動作とハンドオーバー関連メッセージの制御も行う。ATモジュールはAPの持つアソシエーション情報から得た情報を加工することによりアソシエーションテーブルを生成する。CAPFにはEPSON Endeavor NA 101 (Intel Core Solo U1400, Memory 512MB)を使用し、OSとしてFedora Core 6 (kernel2.6.20-1.2948.fc6)を使用した。MANET側のインタフェースにIntel Pro Wireless 3945ABG、無線ドライバとしてipw3945を使用した。APFとしてPlanex Communications

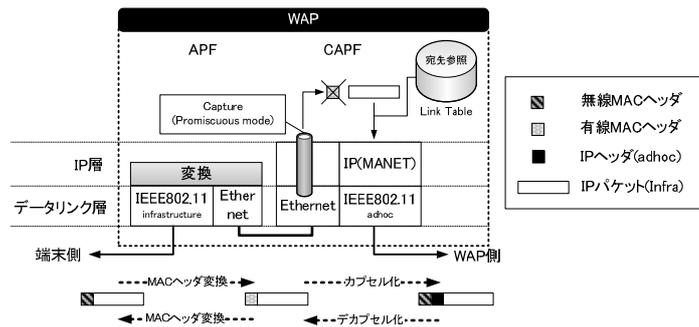


図5 WAPの実装

AP-GW54SGXを使用した。上記APはtelnet接続が可能で、APが持つtelnetのコマンドにより接続端末の Assoc-Info 情報として接続している端末の MAC アドレスを取得できる。

4.2 性能評価

試作した WAP によりネットワークを構築し、性能評価を行った。試作 WAP を用いた実験環境を図 6 に示す。WAP の MANET 側は ESS-ID を "WAPL" としネットワークセグメントは 192.168.100.0/24 とした。端末側はそれぞれの ESS-ID を "WAPL_API1", "WAPL_API2" とし 192.168.50.0/24 のネットワークセグメントを割り当てた。"WAPL_API1", "WAPL", "WAPL_API2" の無線チャンネルはそれぞれ 1ch, 6ch, 11ch を割り当てた。通信モードは MANET 側、端末側ともに IEEE802.11g とし、リンク速度は 54Mbps とした。MANET 側のアドホックルーティングプロトコルは OLSR を使用した。iptables[14]により隣接 WAP とのリンクを切断することで机上での隣接した WAP 間のマルチホップ通信を実現している。この条件下で通信を行う端末が接続している WAP 間のホップ数を 1hop, 2hop, 3hop として ICMP の RTT と Netperf[15]による TCP/UDP スループットを計測した。なお、スループットの計測ではバックボーンとなる WAP 間の MANET 上でのスループットも計測した。

図 7 に ICMP による RTT の計測結果を示す。ICMP の計測値は 1000 回の ping を行った後の平均 RTT 値である。1 ホップでのエンド端末間の RTT はデータ部 32bytes の場合 5.4ms, 1500bytes の場合 10.9ms となった。3hop でのエンド端末間の RTT は 32bytes の場合 18.7ms, 1500bytes の場合 36.4ms となり、大きな遅延となった。これはバックボーンとなる MANET 側は同一のチャンネルで動作し、かつホップ数の増加したことによる送信機会の低下によるものと考えられる。

図 8 に TCP および UDP のスループットを示す。この計測はそれぞれ 20 回ずつ行った平均値を算出して

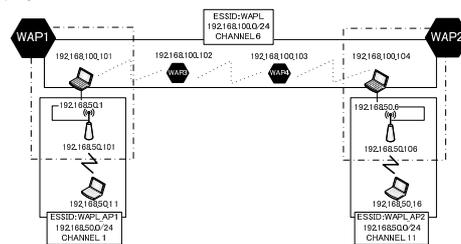


図6 評価システム構成

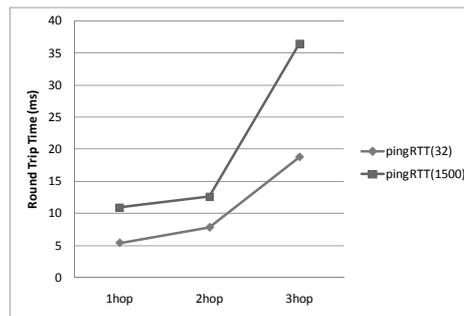


図7 ICMPのRTT

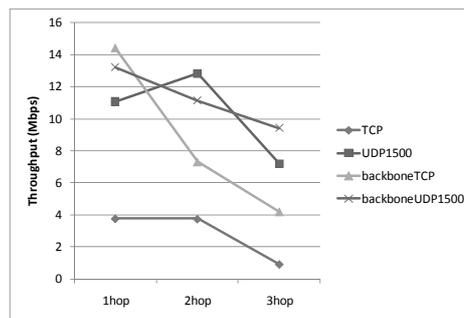


図8 TCP/UDPのスループット

いる。TCPのスループットはバックボーンである MANET が 14.4Mbps という高い性能を示しているにもかかわらず 3.8Mbps で頭打ちになっている。これはフレームごとのプロミスキャスによるキャプチャ、IPパケットの判定、カプセル化などのオーバーヘッドが影響している

と考えられる。

5. まとめ

WAPL は制御メッセージがトラヒックに及ぼす影響を削減し、アドホックルーティングプロトコルと独立し階層化が可能な WMNs である。また、ハンドオーバー通知の確実性を向上させることによるパケットロスレスハンドオーバーやデフォルトゲートウェイの分散配置によるトラヒックの分散が可能である。本稿では

WAPL を実現するための通信方式、IP アドレス配布方法、端末移動時の対処を示し、インターネット接続方式の検討を行った。WAPL は端末やサーバは一切変更を加えずに既存の LAN と同等の接続性を実現できることを示した。そして、WAPL を実装する上で必要となる各種テーブルの目的、格納内容、動作原理を示した。これをふまえて市販の AP と PC による試作 WAP を実装し、その性能評価を行った。試作 AP の動作検証により WAP は既存の AP と同様の接続性が実現できることを示した。今後は残るサブモジュールの実装やインターネット接続方式の具体的な実現方法を中心に検討を行い、本稿で明らかにできなかったモジュールのオーバーヘッドをはじめとした性能評価を行っていく。

参考文献

- [1] <http://www.ieee.org/portal/site>
- [2] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang and Weilin Wang.: Wireless mesh networks: a survey, Computer Networks, Volume 47, Issue 4, pp.489-501 (15 March 2005)
- [3] TropoNetworks (<http://www.tropoNetworks.com>)
- [4] MeshNetworks (<http://www.motolara.com>)
- [5] BelAir Networks (<http://www.belairnetworks.com>)
- [6] 阪田 史郎, 青木 秀憲, 間瀬 憲一: アドホックネットワークと無線 LAN メッシュネットワーク, 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J89-B No.6 pp.811-823
- [7] 加藤 佳之, 大石 泰大, 小島 崇広, 伊藤 将志, 渡邊 晃:無線アクセスポイントリンク WAPL の方式とインターネット接続, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2006) シンポジウム pp.681-684, Jul, 2006
- [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.2902-2102
- [9] C. Perkins and E. Belding-Royer and S. Das: Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, 2003, RFC3561

- [10] <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- [11] T. Clausen and P. Jacquet: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), 2003, RFC3626
- [12] R. Droms: Dynamic Host Configuration Protocol, 1993, RFC1541
- [13] 伊藤 将志, 鹿間 敏弘, 渡邊 晃:シームレスハンドオーバーを実現する無線メッシュネットワークの提案とシミュレーション評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2007) シンポジウム, Jul, 2007
- [14] <http://www.netfilter.org/projects/iptables/index.html>
- [15] Netperf.ORG <http://www.netperf.org>



無線アクセスポイントリンク ”WAPL”の提案と実装

名城大学大学院 理工学研究科

加藤 佳之 伊藤 将志 渡邊 晃

背景

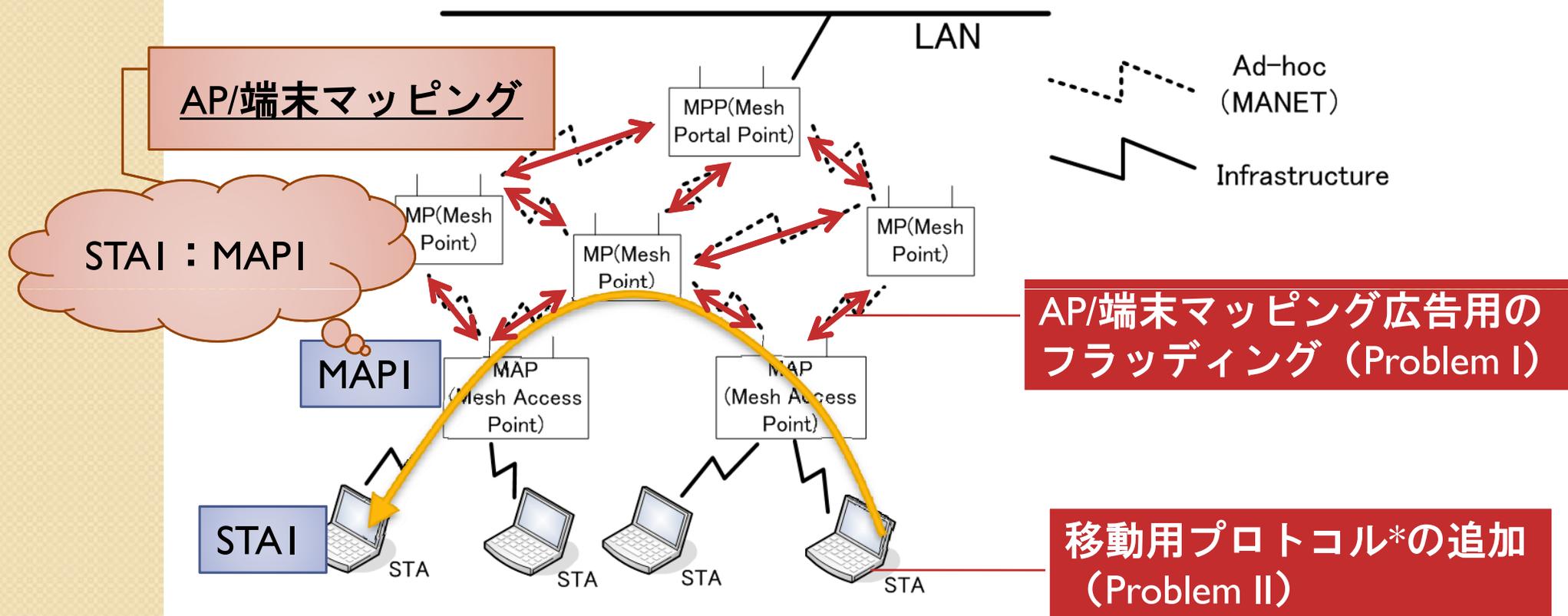
- **無線メッシュネットワーク**
(Wireless Mesh Network ; WMN)
 - **いつでもどこでも設置できるネットワーク**
(災害, イベント, コミュニティ, etc...)
 - **特徴**
“自律性” “接続性” “耐障害性”
 - **課題**
“通信帯域の有効活用” “端末の通信継続性”
“ルーティングプロトコルの選定”

既存のWMNs

- IEEE802.11s (策定中)

Problem I : フラッディングの増加 (通信帯域)

Problem II : 端末通信時の移動の対処 (通信継続性)



*IEEE802.21, IEEE802.11rなど

WAPL (Wireless Access Point Link)

- **特徴**

- フラッディング発生の低減
- MANETのルーティングプロトコルと独立
- シームレスハンドオーバーの実現
- ゲートウェイの分散化

本発表の目的

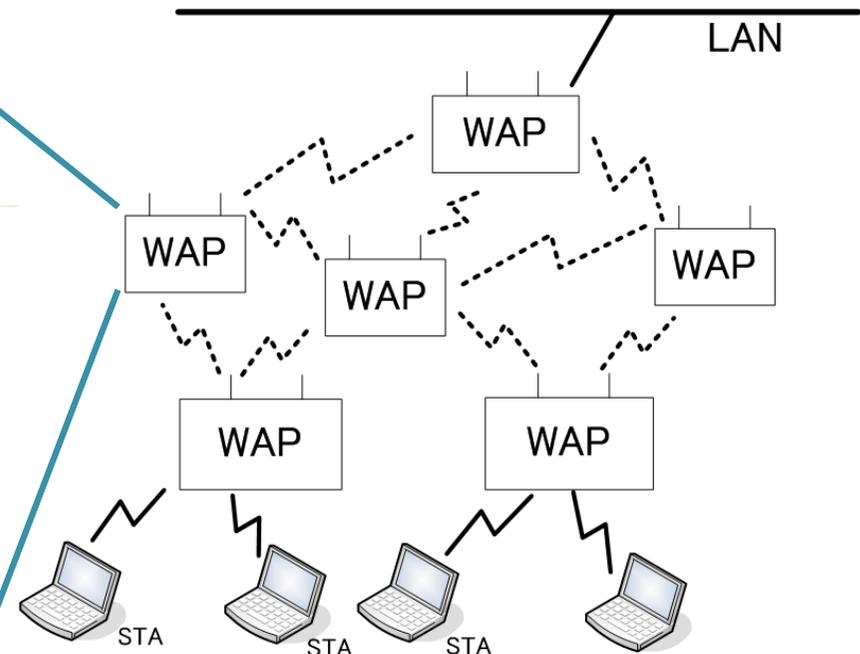
- 前の発表にてシミュレーションによるWAPLの特徴を明らかにした
- 本発表ではWAPLの機能を実現する手法を示し，実装・評価を行う

WAPL -概要-

MANETとの独立のため

WAP
(Wireless Access Point)

- アドホック (WAP間) ⇔ インフラ (WAP-端末間) **カプセル/デカプセル化**
- 各種管理用テーブル
 - ✓ Link Table (LT)
 - ✓ Association Table (AT)
 - ✓ Neighbor Communication Table (NCT)
 - ✓ Transaction Table (TT)



- P.7 {
 - Link Table : AP/端末マッピング情報を格納
 - Association Table : WAPに接続する端末を記録するローカル情報
- P.8 {
 - Transaction Table : DHCPシーケンス時に使用するテーブル
- P.9 {
 - Neighbor Communication Table : 近隣通信WAP/端末情報を格納するテーブル

WAPL -通信方式-

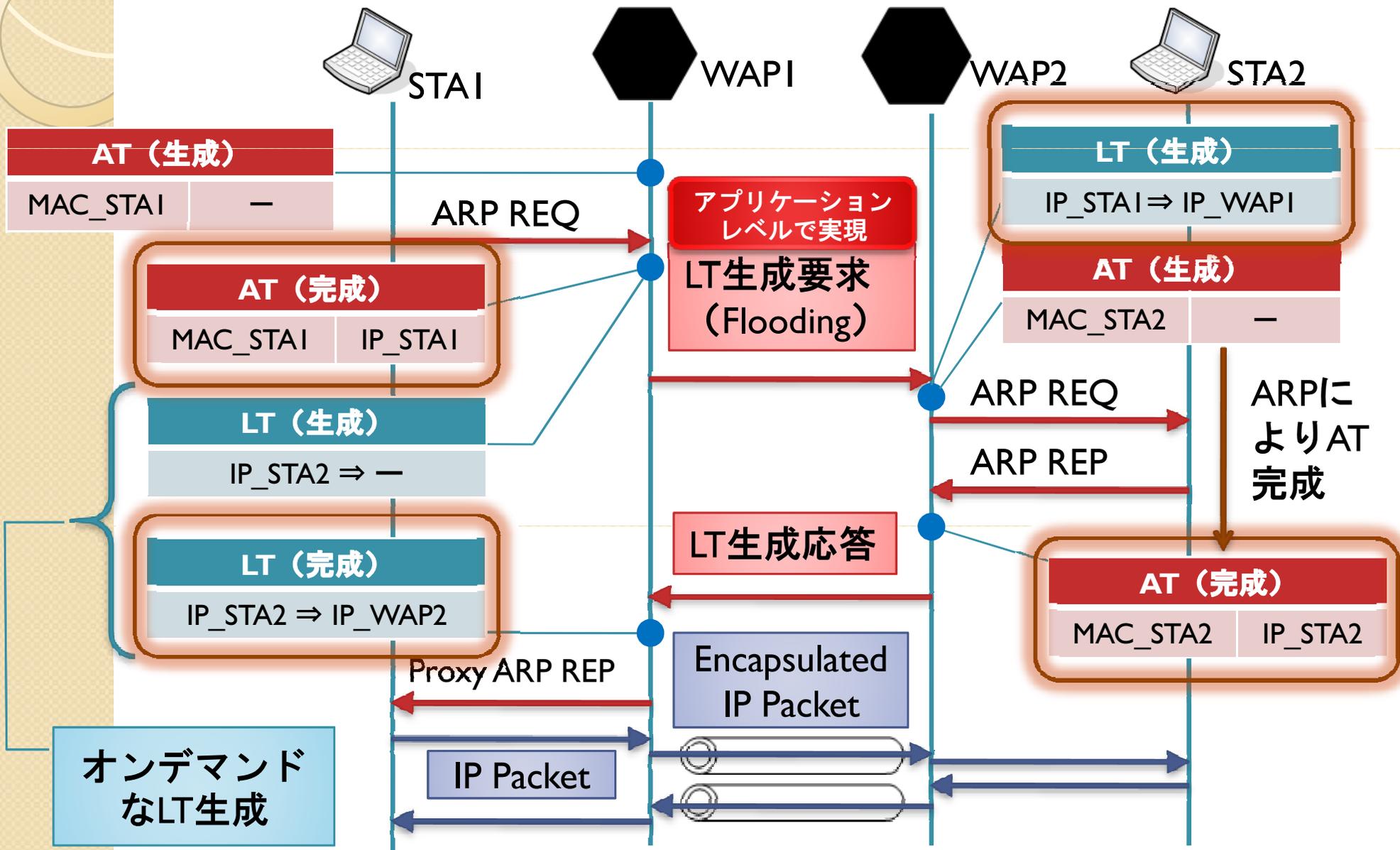
LT

端末IPアドレス⇒WAP IPアドレス

AT

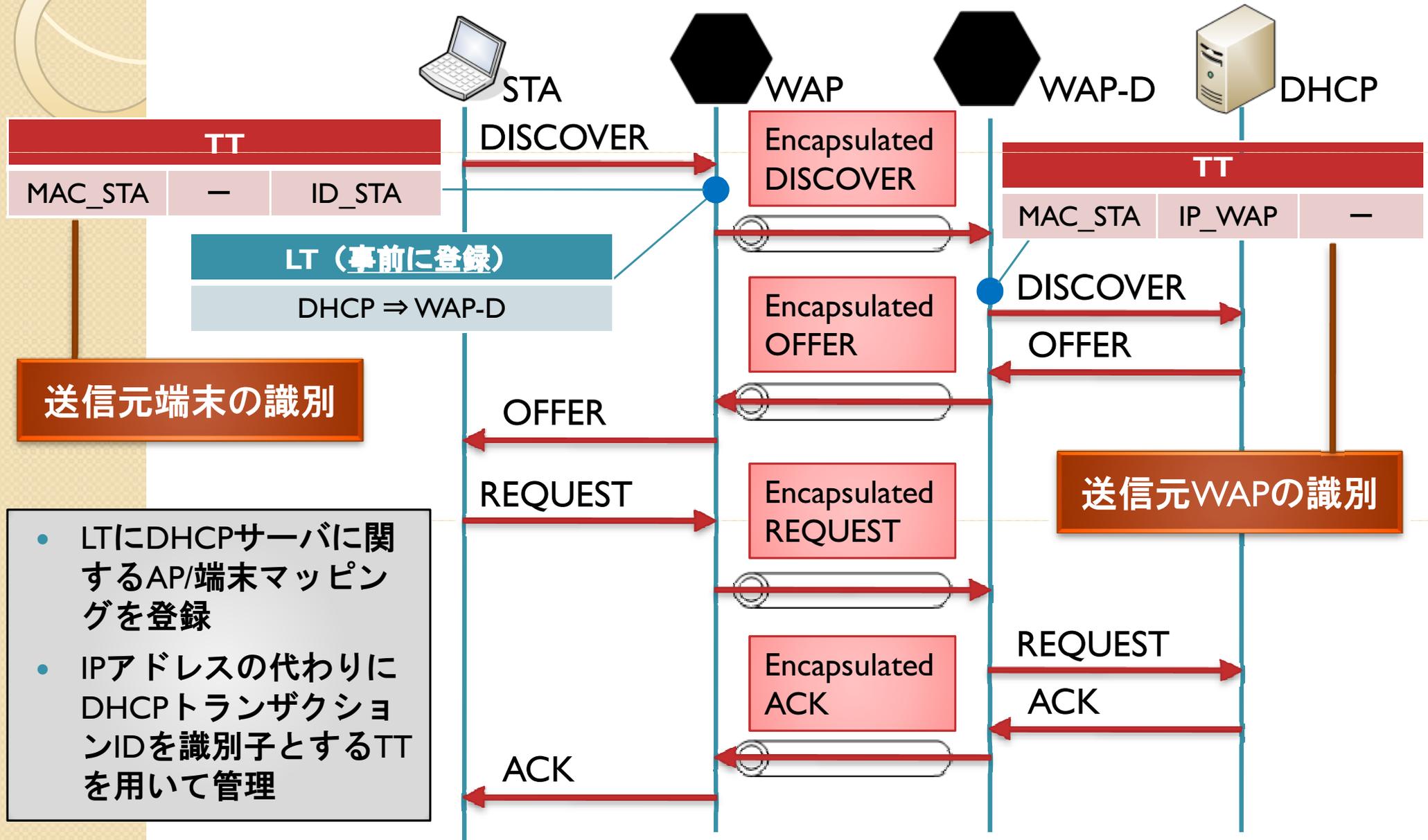
端末MACアドレス

端末IPアドレス



WAPL-立ち上げ

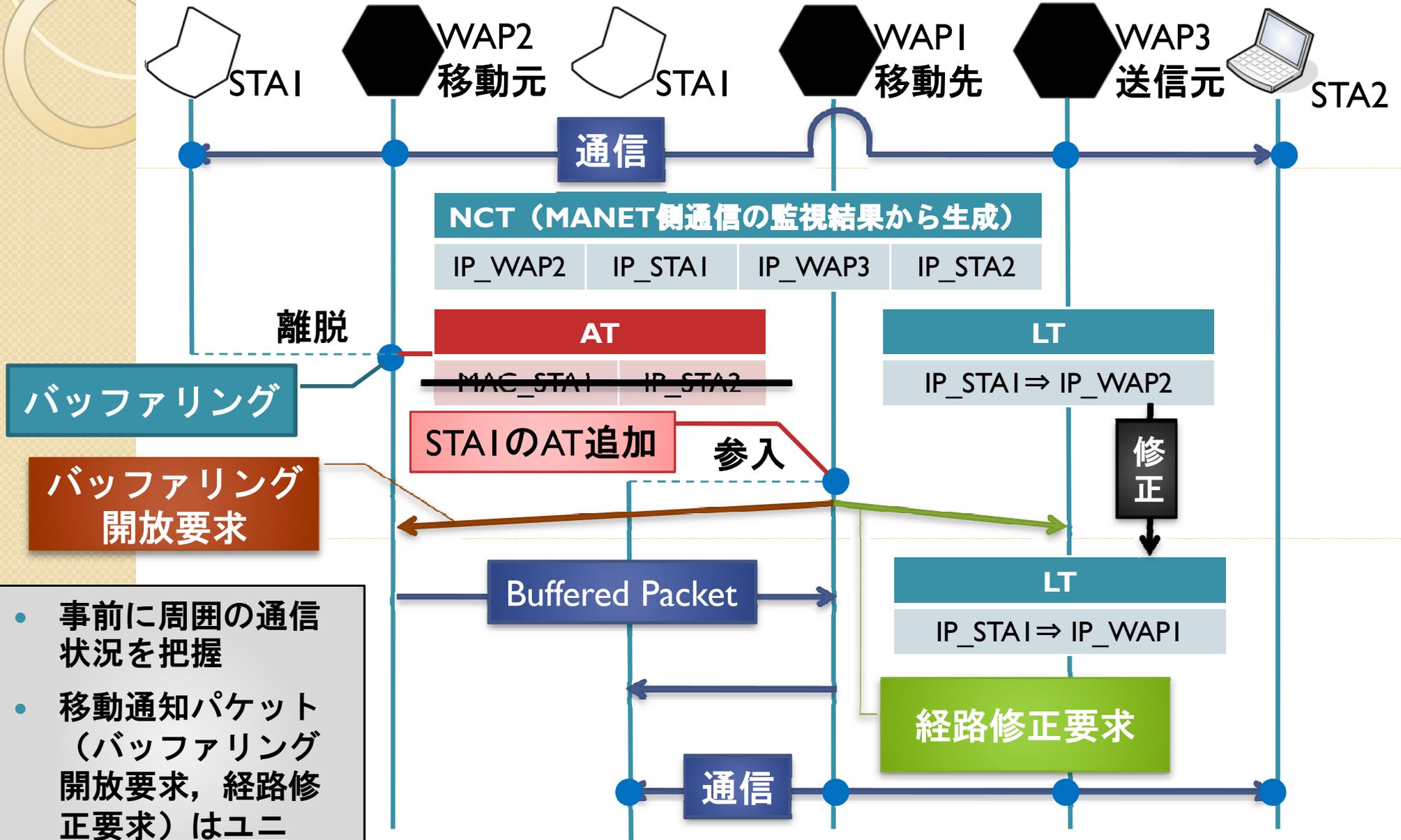
TT		
端末MAC アドレス	WAP IPア ドレス	DHCPランザ クションID



- LTにDHCPサーバに関するAP/端末マッピングを登録
- IPアドレスの代わりにDHCPランザクションIDを識別子とするTTを用いて管理

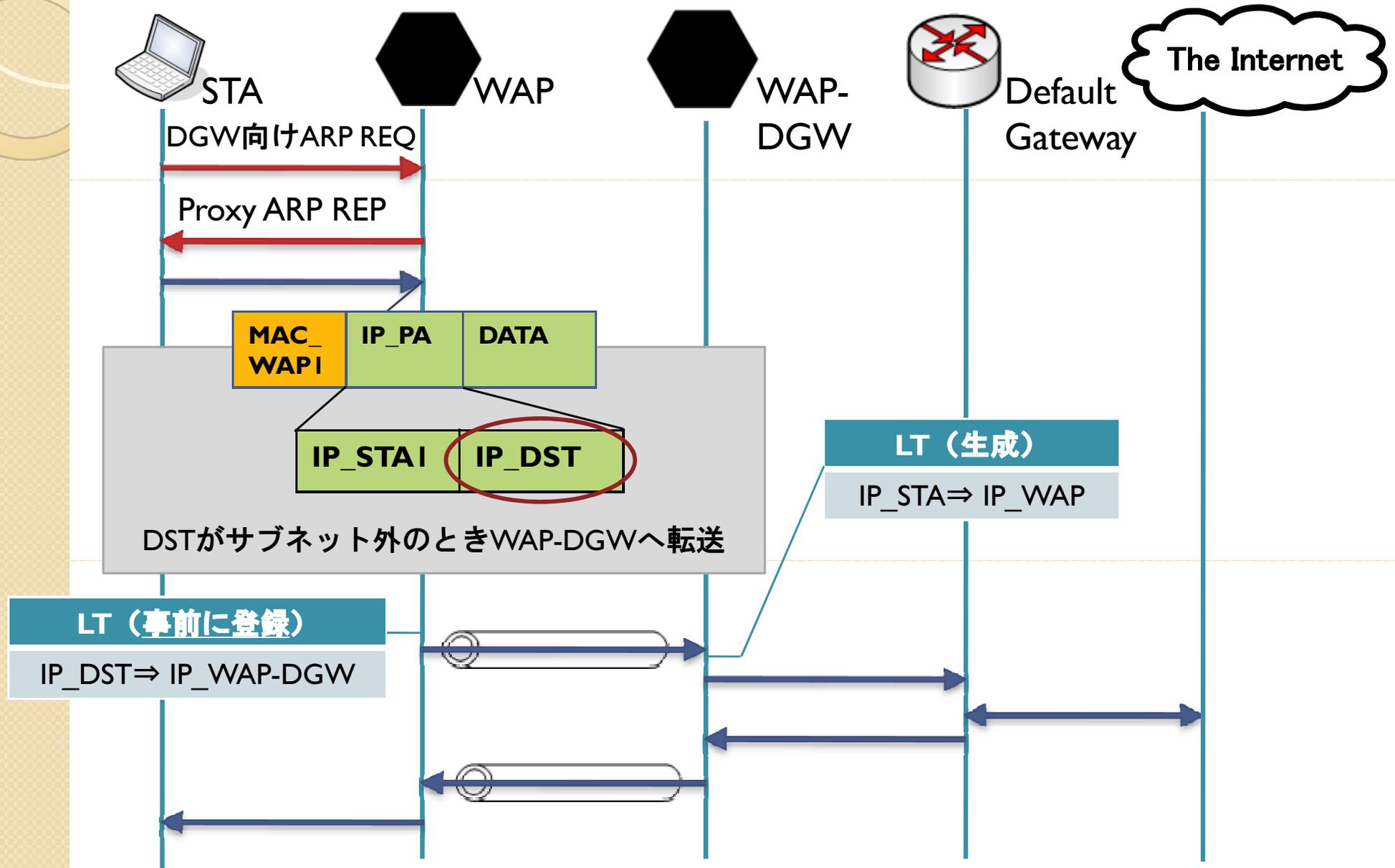
移動端末の対処

NCT			
WAPのIP アドレス	STAのIPア ドレス	WAPのIP アドレス	STAのIPア ドレス



- 事前に周囲の通信状況を把握
- 移動通知パケット (バッファリング開放要求, 経路修正要求) はユニキャストで通知

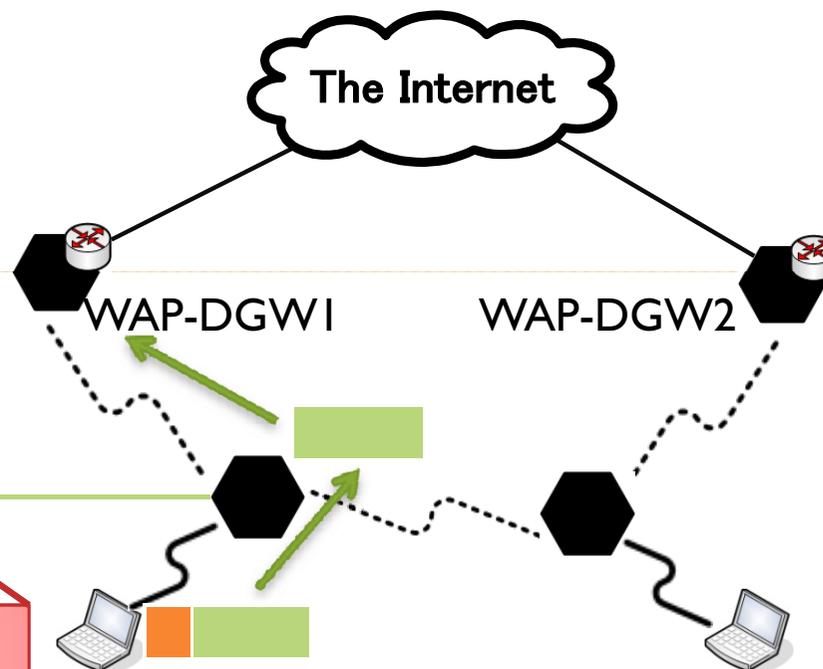
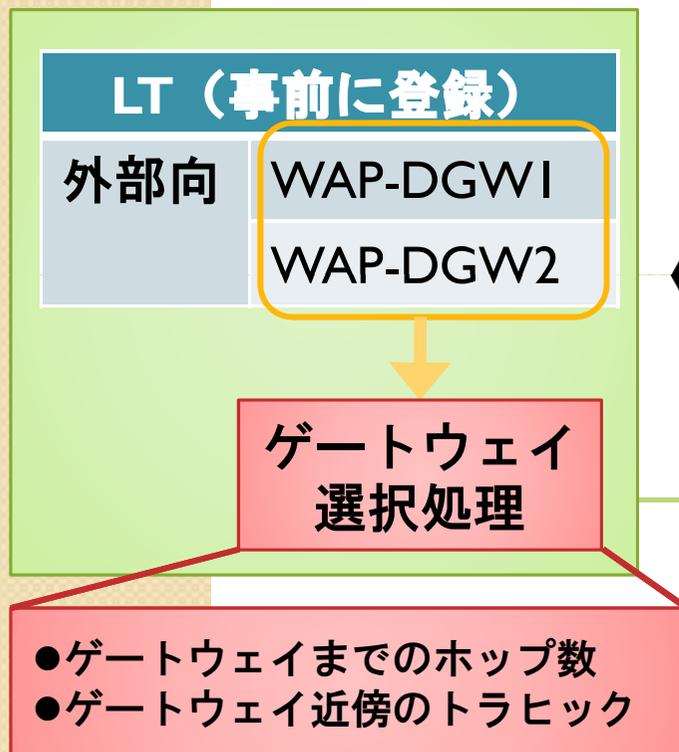
インターネット接続



ゲートウェイの分散化

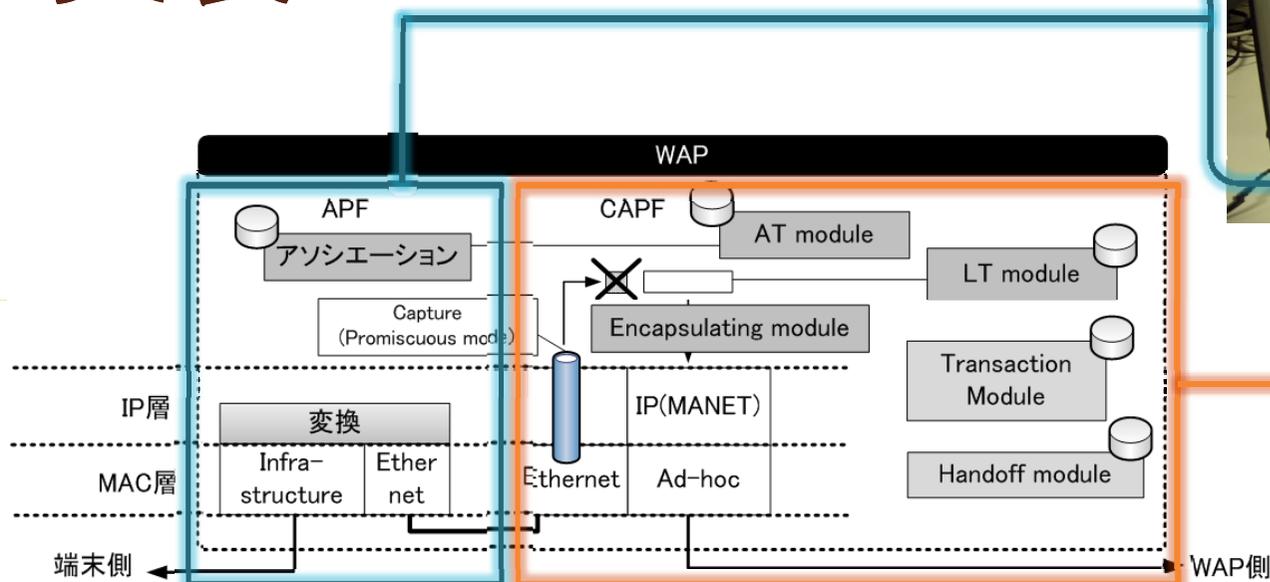
- WMN
→無線資源の有効活用が求められる
- デフォルトゲートウェイ
→インターネットとの接続点となりトラフィックが集中

➡ デフォルトゲートウェイの分散化



- 端末に登録できるゲートウェイは1つ
- WAPはゲートウェイが所属する任意のWAPを選択する

実装

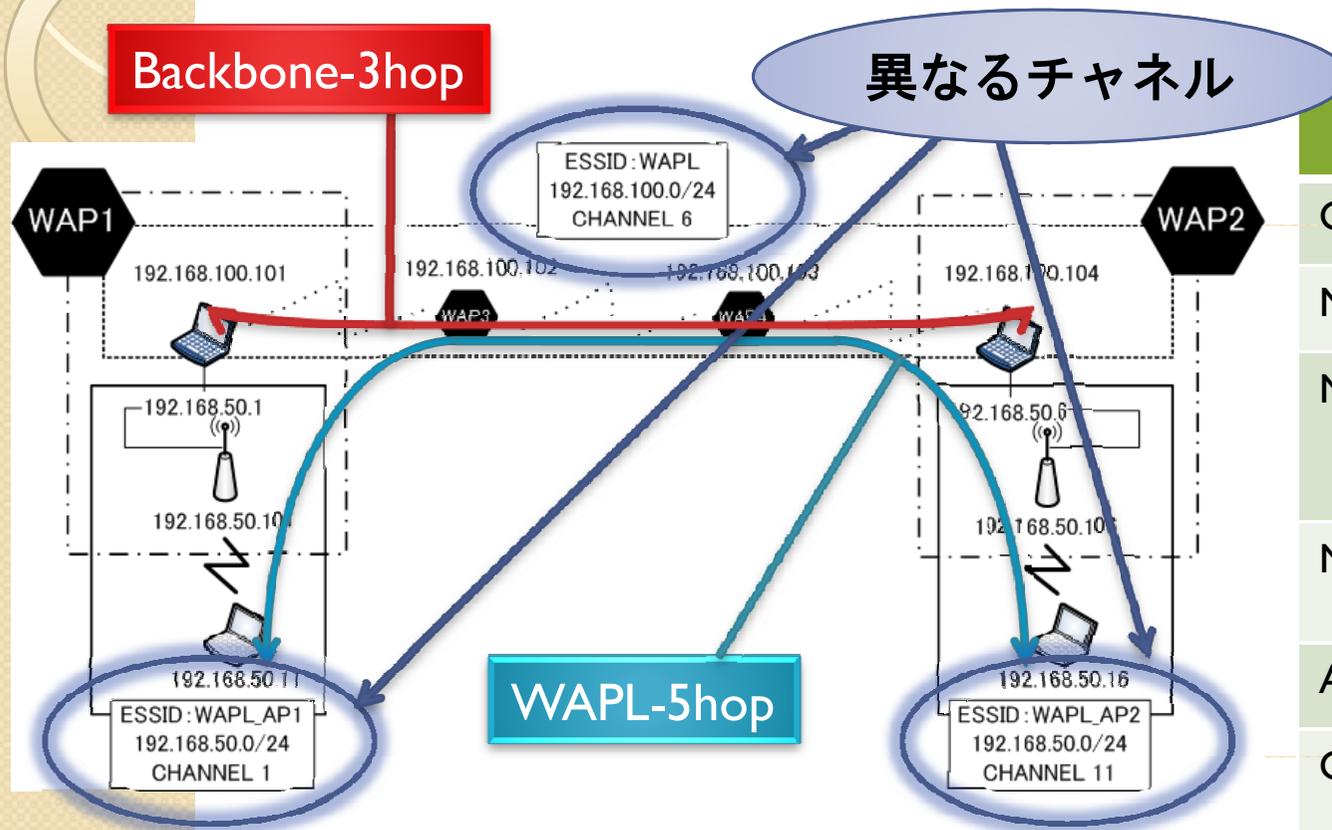


- APF→市販のAP, CAPF→PC により試作WAPを作成
- AP側インターフェースをプロミスキヤスモードに設定し端末からのパケットを取得
- Raw Socketによるパケットの加工
- APのアソシエーション情報をtelnetでアクセスしてAT作成
- MANETルーティングプロトコルとしてOLSR_[1]/AODV_[2]適用した状態で動作確認

[1]olsrd-0.4.9 (<http://www.olsr.org>)

[2]aodv-uu-0.9.3 (<http://core.it.uu.se/core/index.php/AODV-UU>)

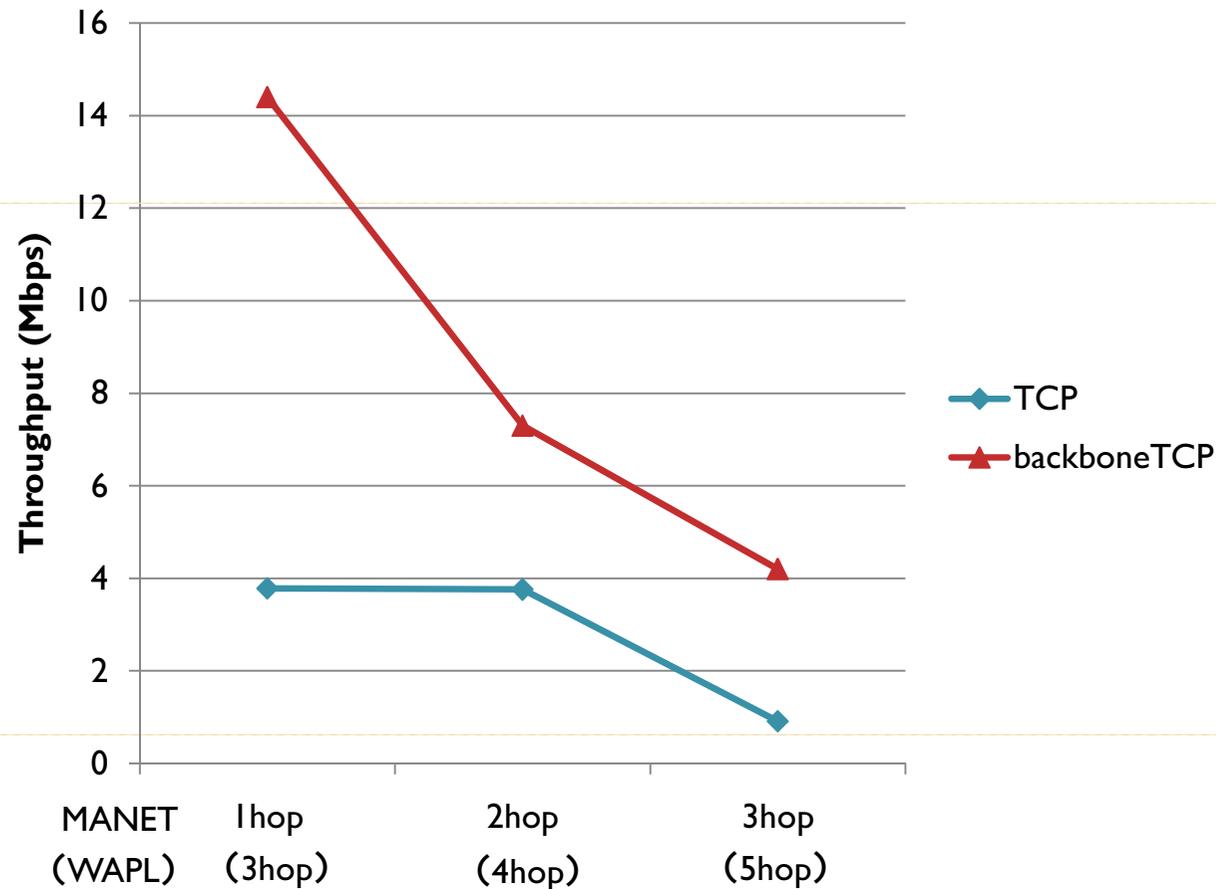
性能評価～評価環境～



WAP諸元	
CPU	Intel Core Solo UI400
Memory	512MB
NIC (Ad-hoc)	Intel Pro Wireless 3945ABG (IEEE802.11g/54Mbps)
NIC (Infra)	Marvell Technology 88E8038 (100Base-TX)
AP	AP-GW54SGX
OS	Fedora Core 4 (kernel-2.6.20-1.2947.fc4)

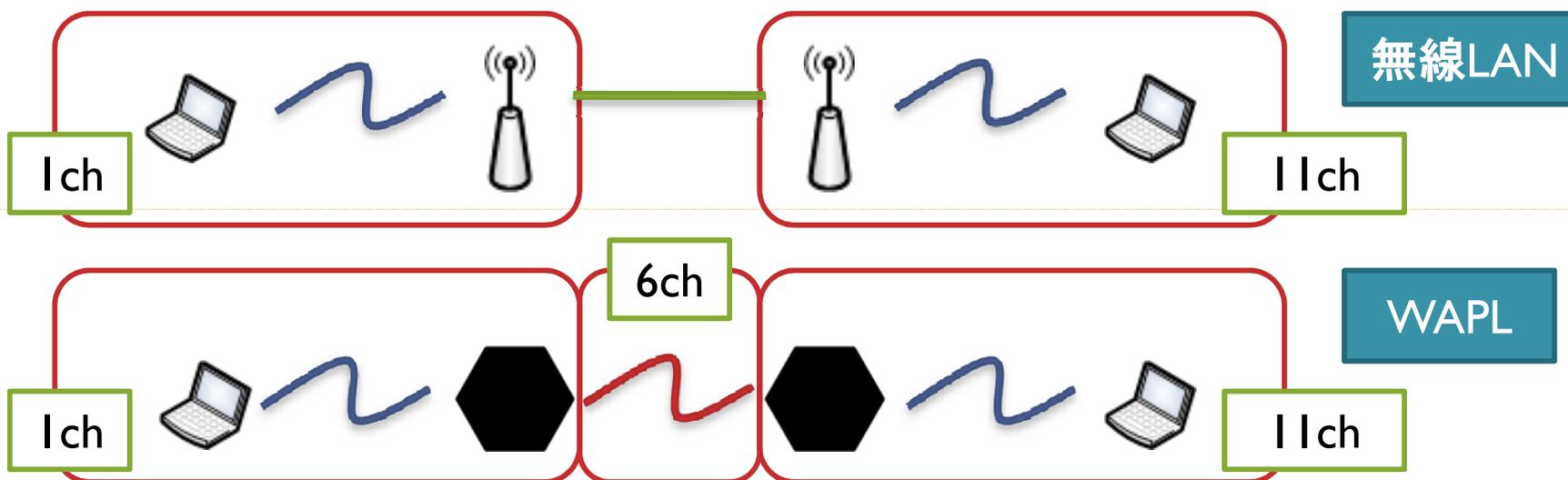
- NetperfによるTCPスループット
- アドホックルーティングプロトコルにOLSRを使用

性能評価～結果～



MANET 3hopを利用した端末間5hopのWAPLによる端末間通信を検証

性能評価～無線LANとの比較～



NetperfによるTCPスループット10回測定平均値, Ping RTT1000回測定平均値

- WAP間1hopの結果は無線LANとほぼ同じ通信性能



WAPLモジュールの処理
オーバーヘッドは小さい

測定対象/測定項目	TCP (Mbps)	Ping RTT (ms)
無線LAN	6.593	3.697
WAPL	6.326	8.639(6.65[1])

[1]大きなRTTゆらぎ値(1秒以上)を除いた値

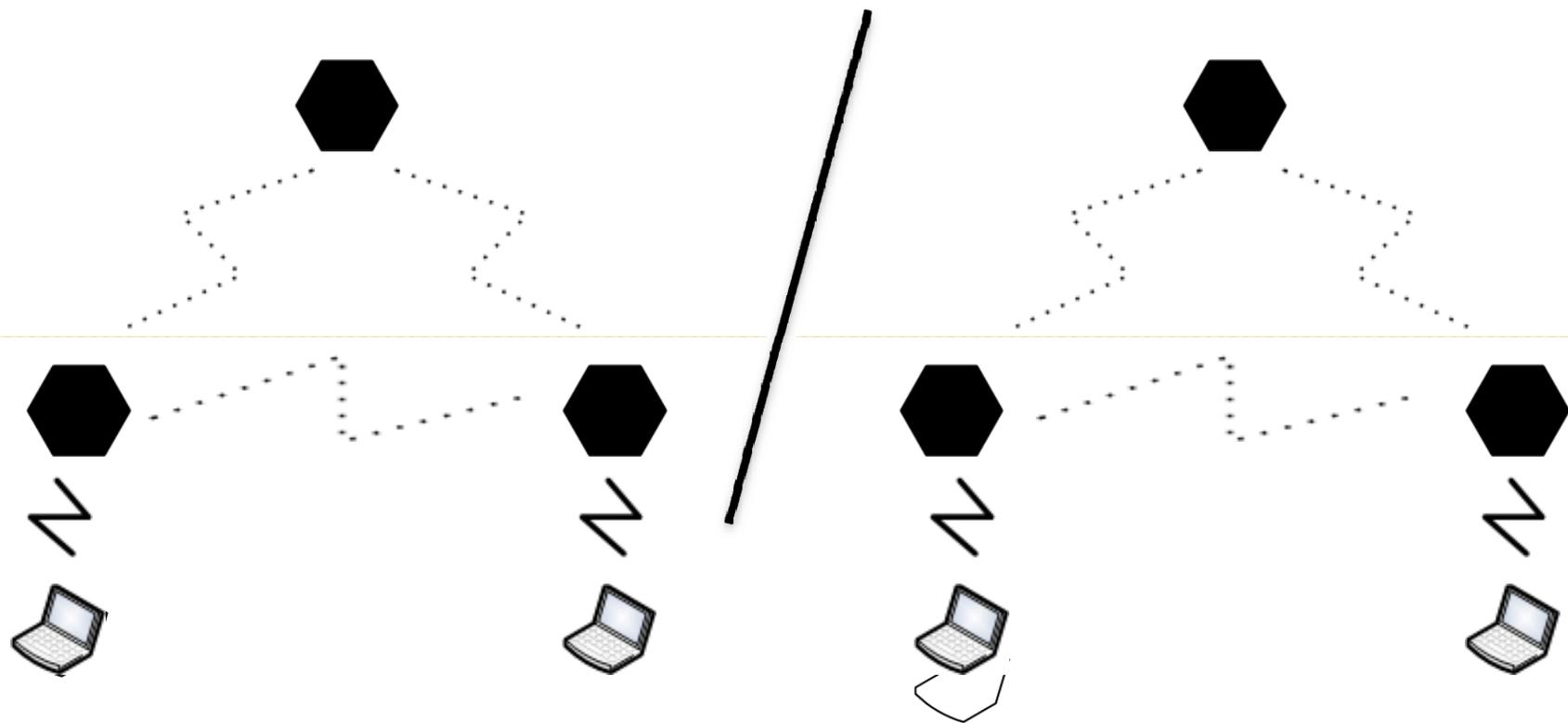
まとめ

- WAPLの利点
 - フラッディングの低減を実現
 - 既存の端末，サーバでもWMN上でシームレスなハンドオーバ，分散化ゲートウェイを利用できる
 - MANETのルーティングプロトコルはすべて変更無く利用可能
- 実装評価
 - 端末間で最大5ホップまでの通信に成功し，既存のAPと同様の接続性を有することを確認
- 今後の予定
 - 未実装部分の作成
 - 分散化ゲートウェイの評価

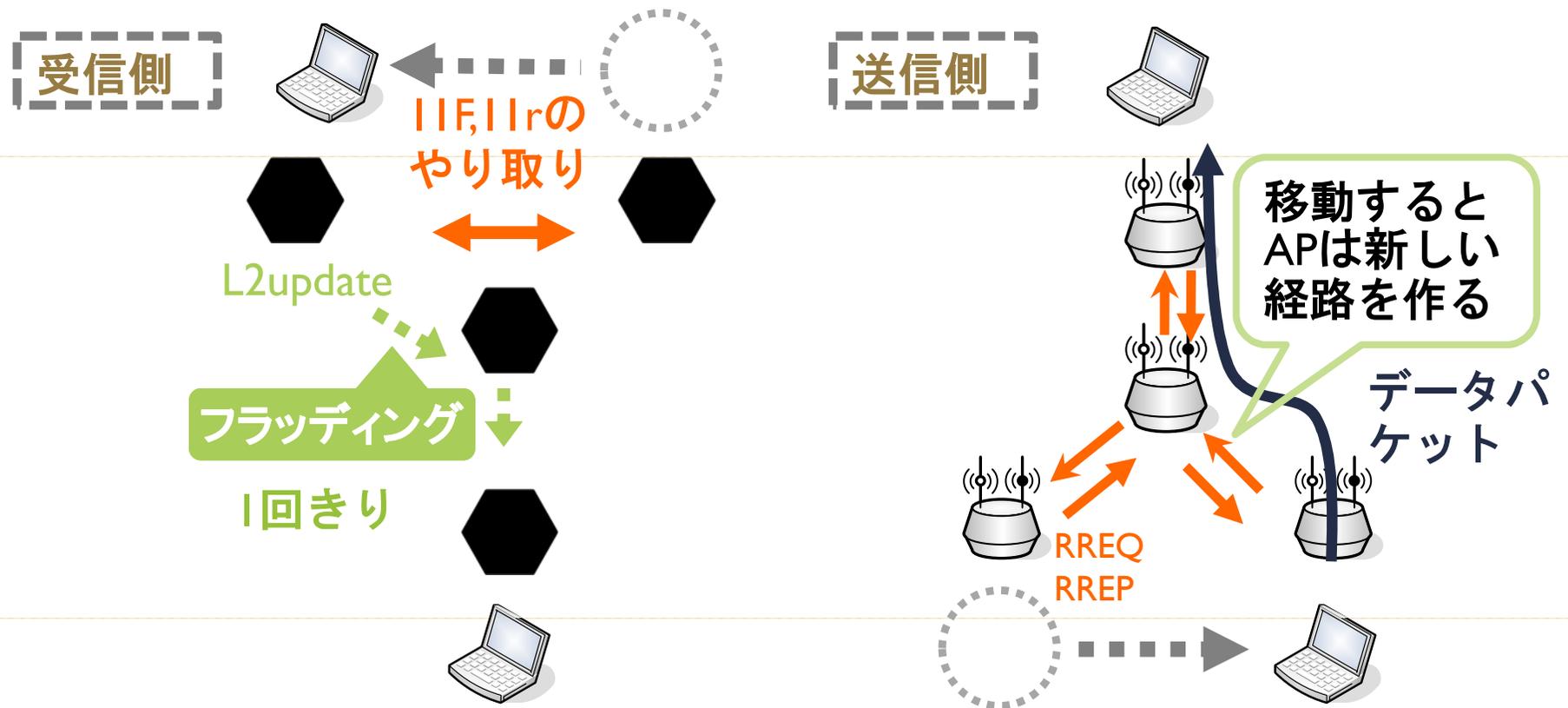


フラッディングによるトラフィック低減

- フラッディングの低減
 - 移動後の端末に関してフラッディングが発生しない



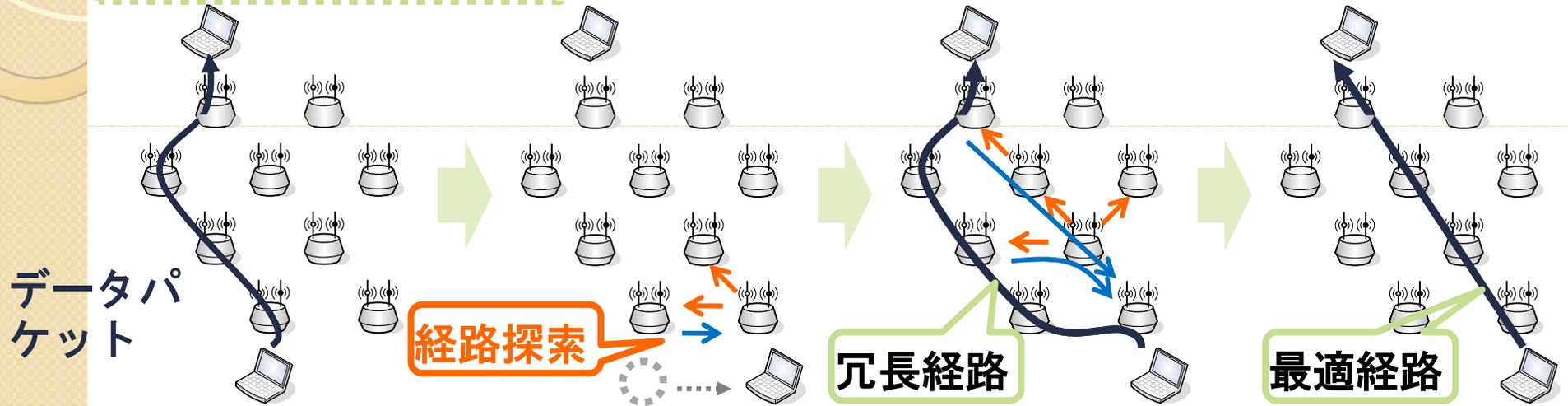
IEEE802.11sの概要と課題



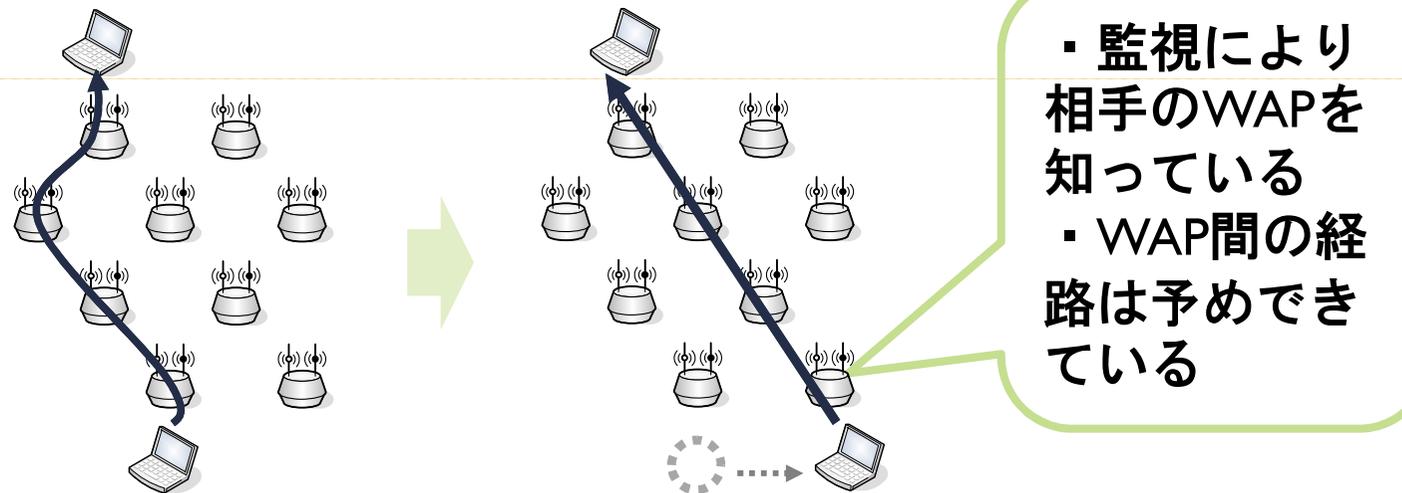
- iMesh同様、フラッディングが失敗する危険がある
- 送信側では移動時に遅延が発生する
- 独自に企画したルーティングプロトコルしか使えない

RM-AODV と WAPL over OLSR

RM-AODV (802.11s)



WAPL over OLSR



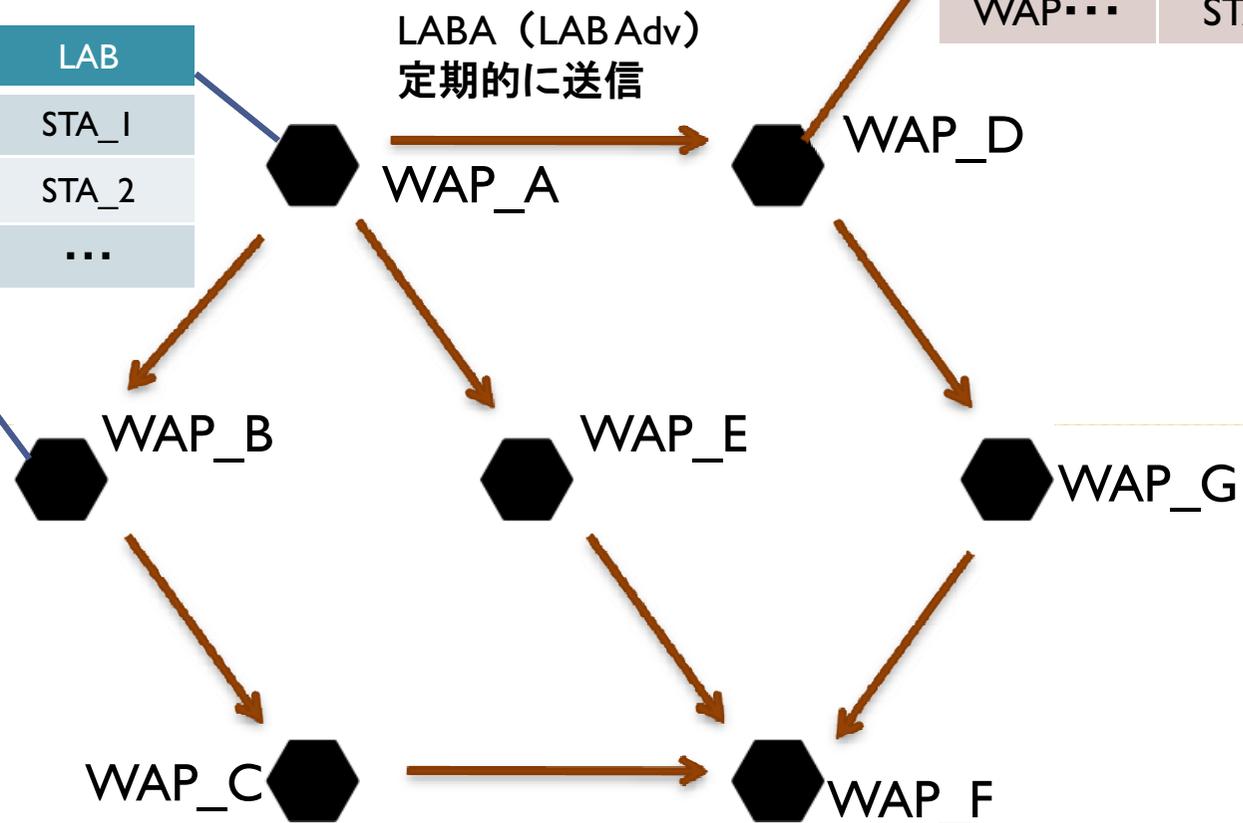
IEEE802.11s ~GAB~

- Local Association Base
 - 配下端末情報を記録したテーブル
- Global Association Base
 - LABAを基に生成した端末管理用ルーティングテーブル

GAB	
WAP_A	STA_1
	STA_2
	...
WAP_B	STA_3
	STA_4
	...
WAP...	STA...

LAB
STA_3
STA_4
...

LAB
STA_1
STA_2
...



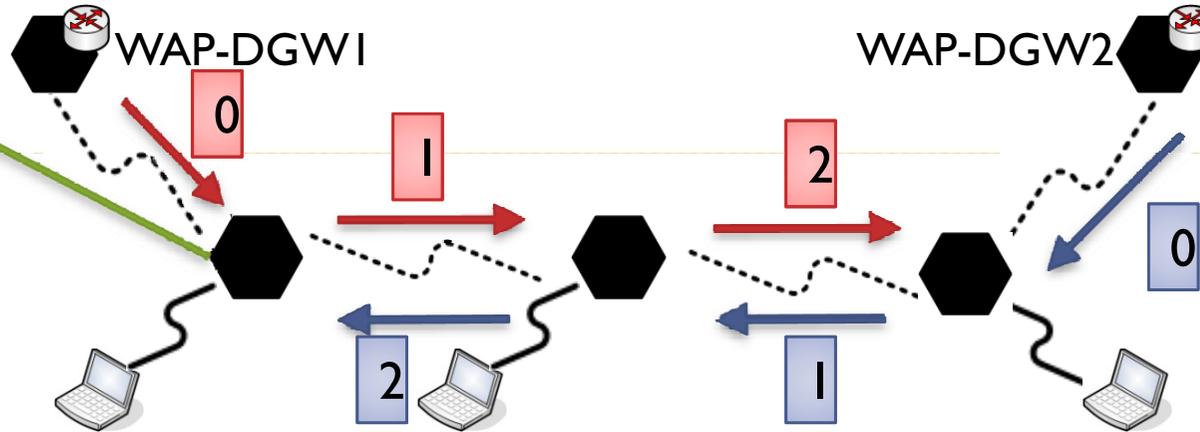
> Full diffusion mode
 通常のLABAをそのまま送信するモード
 > Checksum diffusion mode
 受信したチェックサムを確認してミスマッチがある場合Association Base Block Request(ABBR)を送信し、LABAの再広告を要求

ゲートウェイ選択処理

- ホップベース方式

- WAPとWAP-DGWのホップ数をカウントし、最も短いWAP-DGWに転送する方式

WAP-DGW	ホップ数
WAP-DGW1	1
WAP-DGW2	3

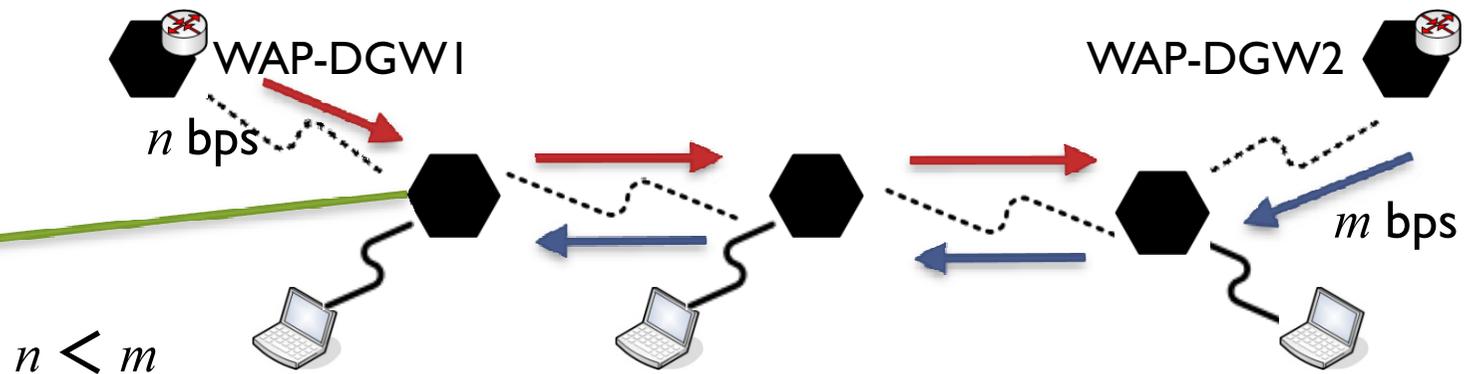


LT生成要求パケットを定期的的に送信し、ホップフィールドを確認

- フロー監視方式

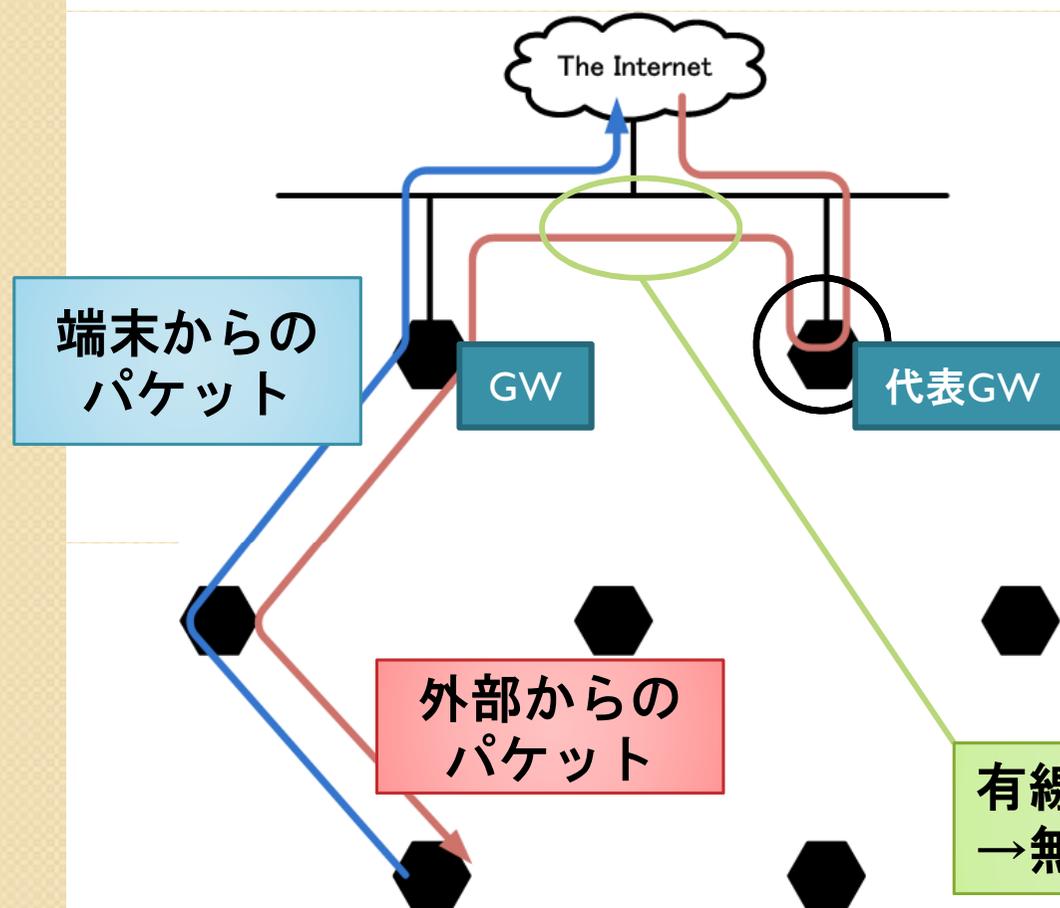
- 一定時間毎のDGWのフローを監視し、WAPに通知
- 受け取ったWAPはフロー情報をもとにトラヒックの低いWAP-DGWへ転送

WAP-DGW	通信量
WAP-DGW1	n
WAP-DGW2	m



ゲートウェイ分散方式詳細

- Motivation -有線部に負荷を転嫁させる-



端末送信時

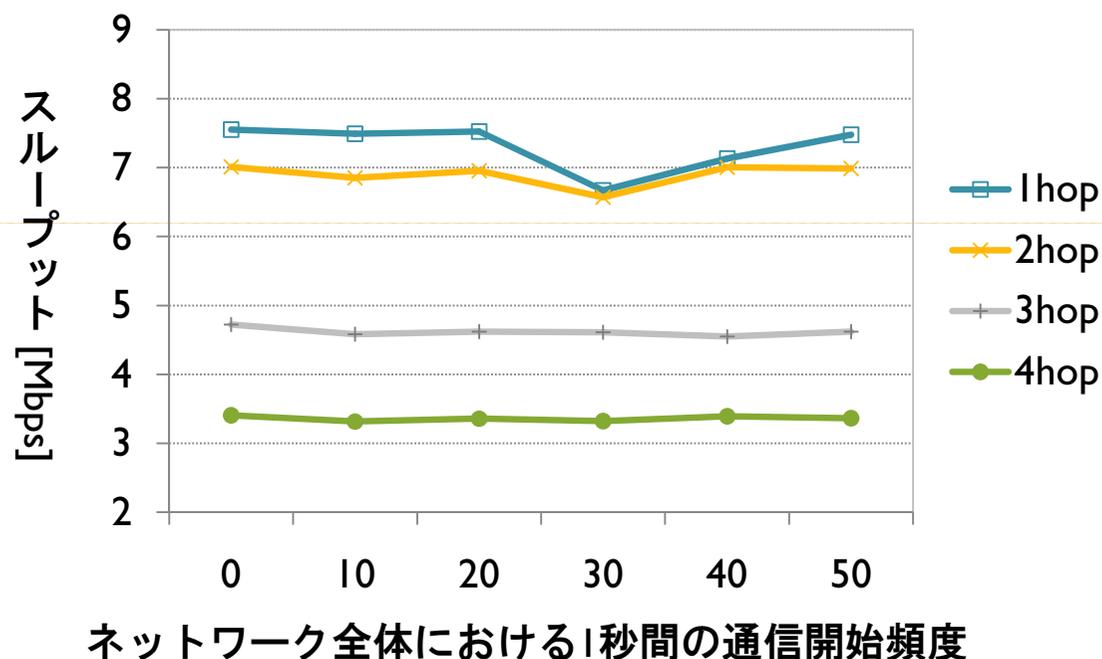
WAPが最適GWを選択，外部宛に送信を行う

外部からのパケット到達時

代表GWがパケット受信，端末所属WAPを探索し，そのWAPが選択している最適GWへパケットを転送

有線部を使ってパケット転送
→無線部にトラヒックが発生しない

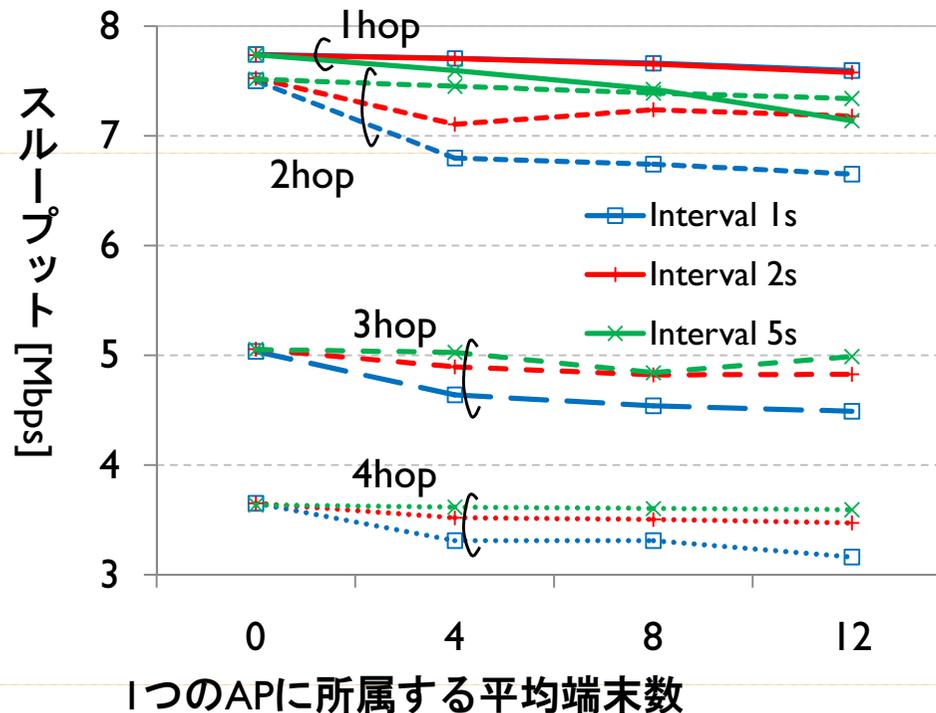
WAPLの通信開始メッセージがトラヒックに与える負荷



- 通信開始頻度0回するときから50回するときまでほとんどスループットが低下していない
- ネットワーク全体で1秒に50回の通信開始頻度は十分な付加

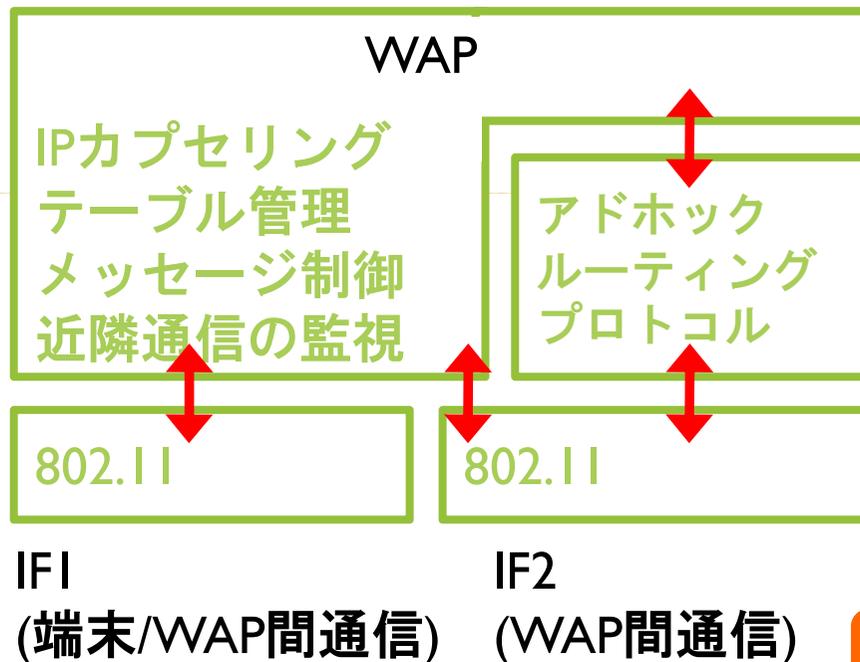
➡ WAPLの通信開始制御による負担は小さいと言える

iMeshの定期的な広告がトラフィックに与える負荷



- 広告の間隔が狭く， AP台数が多くなればスループットの劣化が強くなる
- ➡ iMeshではネットワークの規模， 接続する端末の数を制限する必要がある

WAPLのアーキテクチャ



- アドホックルーティングと完全に独立した構造

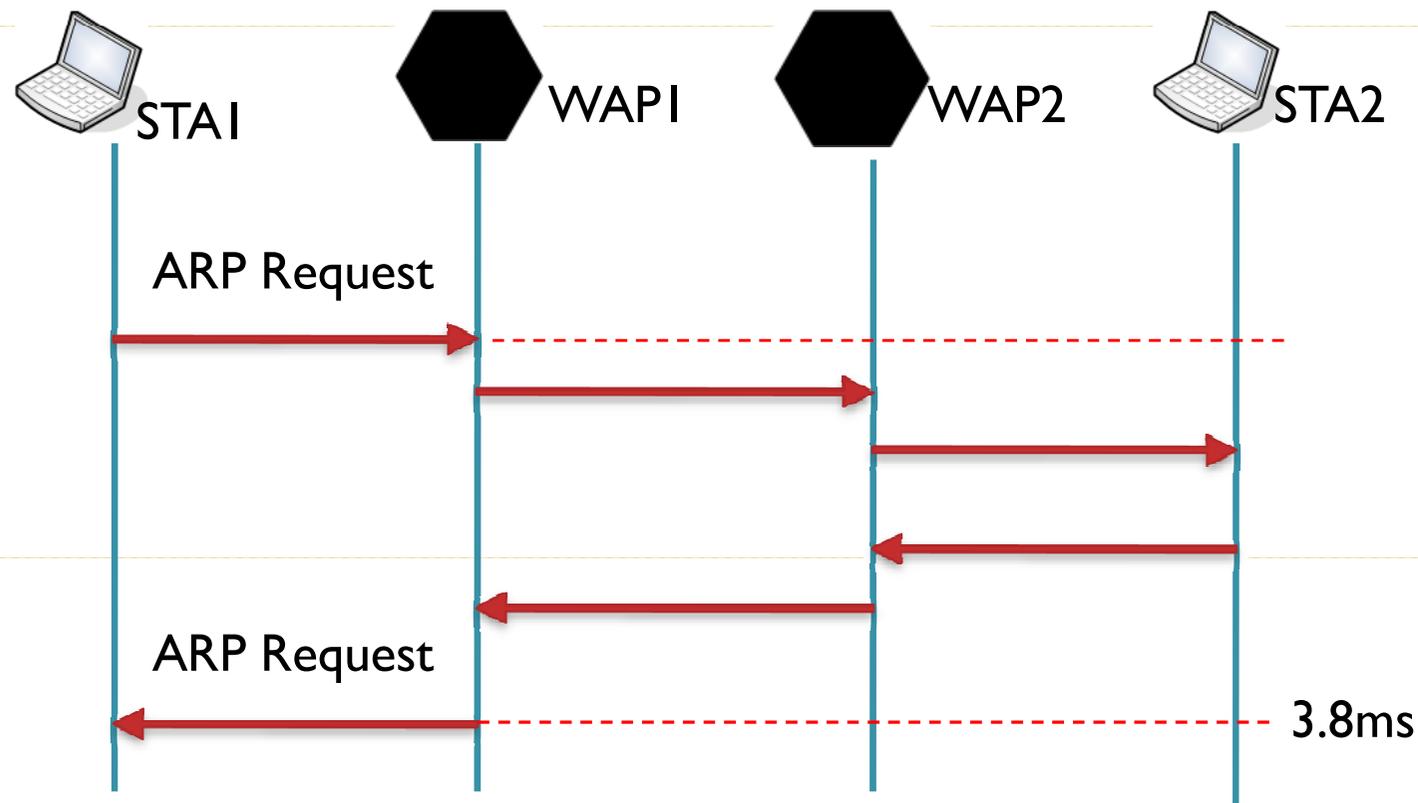
- ➡ MANETのプロトコルが自由に選択可能
- ➡ 端末/APとAP間の接続状態の性質を分けてメッシュを構築できる

IEEE802.11sと異なる

- 端末/APマッピング部
多数の端末がネットワークに参加 ⇒ オンデマンドな制御
- アドホックルーティング部 (AP間)
一時的通信網 (電源なし, 移動性あり) ⇒ リアクティブ型
公共通信網 (電源あり, 移動性なし) ⇒ プロアクティブ型

通信開始遅延の計測

- 通信開始の平均時間を計測



オンデマンドなAP/端末マッピング生成による
通信開始の遅延は十分無視できるレベル

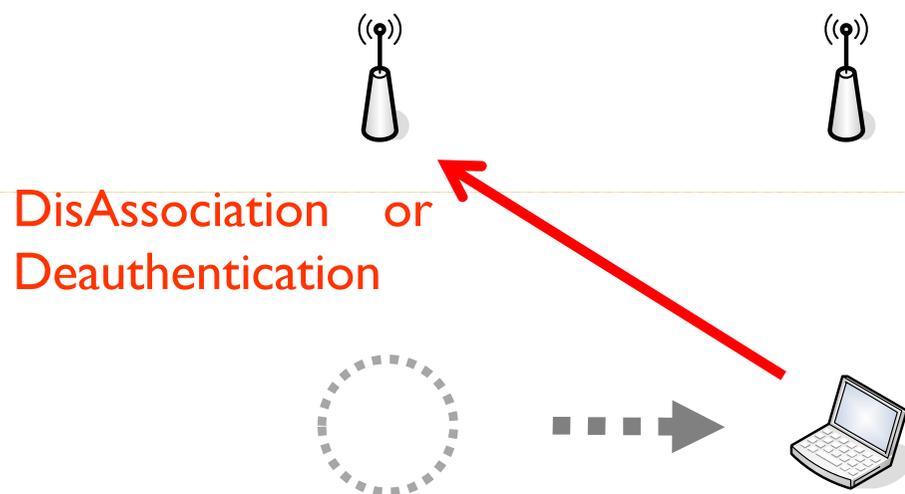
アソシエーションテーブル生成詳細

- PLANEX製APは内部にアソシエーションデータベースを持っている
- アソシエーション情報は端末からのdisassociation/de-authenticationメッセージにより即座に消去される
- APはtelnetアクセスを許可しており、telnetコマンド”get association”により接続端末のMACアドレス一覧を取得できる
- WAPLのATモジュールは上記コマンドをポーリングし、アソシエーション情報に変化がある場合はATを更新する
- ATのIPアドレス部は端末からのARP REQUESTにより完成する
- LT生成要求メッセージを受けた際は
 1. 要求IPアドレスがAT内に存在するかをチェック→あればそのままLT生成応答
 2. 要求IPアドレスがAT内に存在しない場合は要求IPアドレスを解決アドレスとしたARP REQUESTを配下に送信する
 3. ARP REPLYを受け取ると該当するMACフィールドと対の情報として補完し、AT完成

DHCP OFFER フレーム詳細

- DHCPフレームにはBroadcast flagフィールドが存在する
- DISCOVERのBroadcast flag=1の場合、OFFERはブロードキャストされる
- DISCOVERのBroadcast flag=0の場合、OFFERはTTをもとにユニキャストされる

離脱処理について



	ESSIDが異なる場合	ESSIDが同じ場合
WindowsXP	Deauthentication	未検証
Linux(ipw2945)	Disassociation	Disassociation
Linux(ipw3945)	なし	なし
ICOM無線携帯電話	Deauthentication	Deauthentication