

メッシュネットワークにおけるゲートウェイ 選択方式の提案

永井順也† 伊藤将志†† 渡邊晃†

WMN(無線メッシュネットワーク)の実用化のためには、WMNと外部ネットワークとの接続方法の検討が重要である。しかし、GW(ゲートウェイ)が1台のみの場合、外部へのトラフィックがそのGWに集中することや障害に弱いなどの課題がある。この課題を解決するために、GWを多重化する必要がある。これまで、GW多重化の検討はトラフィック分散にかかわるものが多かった。そこで本稿では外部ネットワークとの接続点を多重化し、トラフィック分散と障害対策の両者に有効な方式を提案する。

Proposal of a Gateway Selection Method in Mesh Network

JUNYA NAGAI† MASASHI ITO††
AKIRA WATANABE†

For the practical use of WMNs, it is important to connect WMNs to the public network. However, a gateway may become a traffic neck and also a defect point. In conventional studies, how to solve a traffic neck of GWs has been the mainstream. In this paper we propose the decentralized GW systems that can solve both problems of a traffic neck and a defect point.

†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

1. はじめに

無線 LAN は配線が不要で端末が自由に移動できることから、今後も普及していくことが予想される。無線 LAN には AP(Access Point)を経由して通信するインフラストラクチャモードと、AP を必要としないアドホックモードがある。一般にはインフラストラクチャモードが使用されるが、AP 同士は有線で接続されており、配線工事などが必要である。一方アドホックモードでは端末にアドホックルーティングプロトコルを搭載することにより無線アドホックネットワークを実現できる。アドホックネットワークでは、AP の存在しない場所でも無線端末のみによるネットワークを構築することができる。しかし、アドホックネットワークは他端末のリソースを、そのユーザーの意図に反して使用するため、無線端末が電池で動いている場合などには無視できない課題となる。また、無線端末の移動を想定する場合には経路が変動し、通信が不安定になるなどの課題があり、実用には至っていない。

そこで、近年では無線アドホックネットワークを応用した無線メッシュネットワーク(Wireless Mesh Network: 以下 WMN)の研究が注目されている[1]-[9]。WMN は有線で接続されていた AP 間の通信に、アドホックネットワークの技術を適用して、AP 間の通信も無線化するものである。そのため AP 設置の自由度が向上し、容易に無線ネットワークの範囲を拡大することが可能となる。WMN は他端末のリソースを消費するということではなく、中継装置となる AP は移動をしないことを前提としているので、経路も比較的安定する。利用用途としては災害時の臨時ネットワークや山間部などの有線を引くことが困難な地域に導入し、インフラを提供することなどが期待されている。

WMN が実用化されるには、WMN と外部ネットワークとの接続方法の検討が重要である。WMN 内の 1 台の AP が GW(ゲートウェイ)となる方法が考えられるが、外部へのトラフィックがその GW に集中するため、トラフィックネックとなる可能性がある。また、GW が故障すると外部との通信が全てできなくなるという懸念がある。

この課題を解決するために、WMN の GW を多重化する必要がある。WMN において複数 GW をサポートする場合、最適 GW 選択手法や、経路確立手段などについて検討が必要である。トラフィックネックの解消を目的とした WMN の研究には MGA(Multi Gateway Association)[9]や WAPL(Wireless Access Point Link)[1]がある。これらのシステムでは WMN 上で GW を多重化し、GW 間には有線で接続される。外部ネットワークとは MGW(Master GW)を介して通信する。GW ごとにトラフィックが分散されるので WMN での GW 近傍のトラフィックネックが解消される。有線部分は無線に比べて高速で安定しているため、MGW はトラフィックネックにはならない。しかし、MGW が故障すると通信が不可能になってしまうという課題は解消されていない。また、ネットワークが大規模になると MGW もトラフィックネックになる可能性は否めない。

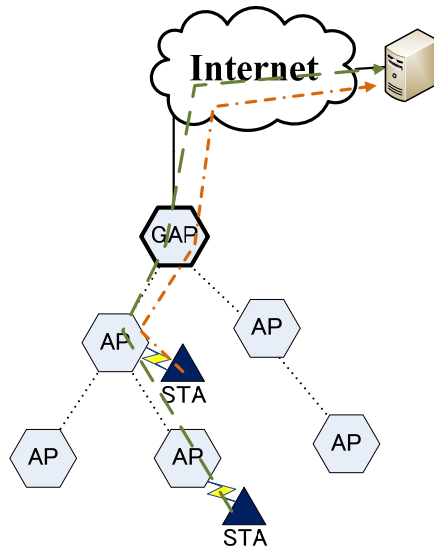


図1 外部ネットワークとの接続方法

GWの2重化の方法としてはVirtual Router Redundancy Protocol (以下VRRP)[10]と呼ぶ技術がある。VRRPは稼働中GWとスタンバイGWが同一のIP/MACアドレスを持ち、一方が待機する方式である。スタンバイGWは通常使われないので、障害対策には有効なもの、GWのトラヒックの分散にはならない。

そこで本稿では外部ネットワークとの接続点そのものを多重化する方式を検討した。端末からの外部ネットワーク宛パケットを受信すると、WMNは端末とは独立して適切な接続点を探し経路を確立する。この方法によれば、GW近傍の無線トラヒックのネックを解消できるだけでなく、GW故障時にも即座に代替えGWに切り替えることが可能である。

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章では提案システムについて述べる。4章では提案システムの実装方法について説明し、最後に5章でまとめる。

2. 既存システムとその課題

本章では既存技術の概要とその課題を示す。

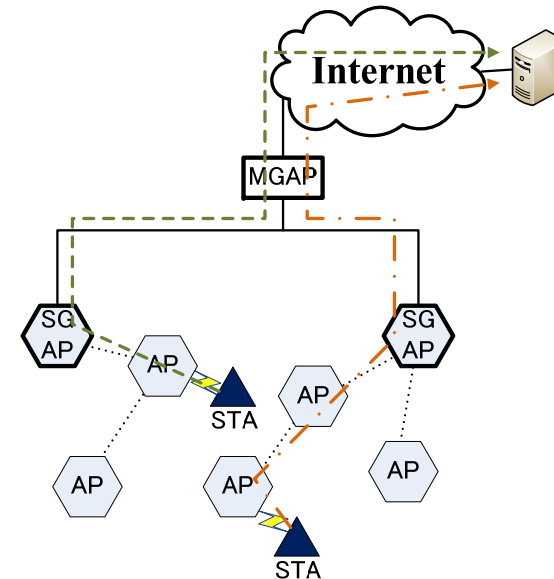


図2 GWの二重化

2.1 外部ネットワークとの接続

図1にGWを1台用いて外部ネットワークと接続する場合のWMNの例を示す。図中、STAはエンドノード、APはメッシュネットワーク機能を有するアクセスポイント、GAPはゲートウェイ用APである。WMNでは、無線端末とAP間の通信はインフラストラクチャモードのため、一般の無線端末をそのまま利用できる。AP間はアドホックネットワークで統合されており経路を自動生成することができる。WMNの実現方法の考え方には様々な方式があるが、ここではWMN全体があたかも1つのLANに見える方式を前提として考える。即ち、WMNの中をエンドエンドのMACアドレスを含むフレームがそのまま中継される。IEEE802.11sやWAPL[1]ではこの方式を採用している。この方式の利点としては、既存のLANと互換性があり、DHCPの仕組み、MACアドレスの取得方法などの考え方をそのまま適用できる点が上げられる。さらにWAPLでは通信中のエンドノードのMACアドレスを常時監視して、APを迅速に切り替えることにより、シームレスハンドオーバーの実現を可能としている。無線端末から見るとWMNはインフラストラクチャモードの無線LAN環境として見える。端末に設定されるデフォルトゲートウェイ(以下DGW)はGAPのIPアドレスと

なる。通信開始時に宛先が外部ネットワーク宛であれば、端末は ARP により GAP の MAC アドレスを取得する。以後、外部ネットワーク宛パケットの宛先 MAC アドレスは GAP の MAC アドレスとなる。

本稿では WMN 内の端末はプライベートアドレスであり、同一のネットワークアドレスを保持することを仮定する。GAP は NAT 機能を持ち、外部ネットワークとの通信は WMN 内の端末から開始するものとする。図 1 のようなシステム構成においては、WMN 内の端末は必ず GAP を通して外部と通信を行うため、GAP 近傍で無線トラヒックのネックが発生する。また、GAP が 1 台であるため、これが故障した場合、外部との通信ができなくなるという課題がある。

2.2 GWの二重化

上記の課題を解決するために、GAP を多重化する方法がある[1][9]。図 2 に GAP の多重化の例を示す。パケットの宛先が外部ネットワークであったとき、[9]ではトラヒックが分散されるようにパケットごとに SGAP(Sub GAP)を確率的に選択し(パケット分配方式)、[1]ではセッション開始時に SGAP を確率的に選択し、以後はセッションが終わるまで同一の SGAP と通信し続ける(セッション分配方式)。IPv4 では DGW を 1 台しか登録できないので、WMN 内の端末は MGAP(Master GAP)を自身の DGW として登録する。そのため外部宛パケットの宛先 MAC アドレスには MGAP のそれが記述される。外部宛のパケットを受信した SGAP はそのパケットを MGAP に転送し、MGAP が外部ネットワークと直接通信する。このように、パケットごと、またはセッションごとに SGAP を分散することにより、トラヒックを分散することができる。SGAP と MGAP の間是有線であり、無線に比べ比較的帯域に余裕があるためトラヒックのネックにはならないとしている。しかし、この方式ではパケットが必ず MGAP を通過するため、MGAP が故障すると外部との通信ができなくなるという課題は解決されていない。また、ネットワークの規模が大きくなると、MGAP がトラヒックのネックになる可能性が残されている。

3. 提案システム

3.1 要求仕様

本稿では以下に示すようなシステムを実現することを目的とする。図 3 に提案システムの概要を示す。図に示すように、本提案では外部との接続ポイントを複数設置することができる。これにより、トラヒックの分散だけでなく、障害時のバックアップも可能となる。端末から見ると DGW が複数存在する事になるため、端末に設定された DGW の選択に工夫が必要である。複数の MGAP はそれぞれ NAT 機能を持つ必要があり、外部ネットワークから見ると異なる IP アドレスとなる。従って同一セッションは必ず同一 MGAP を経由するようにする必要がある。

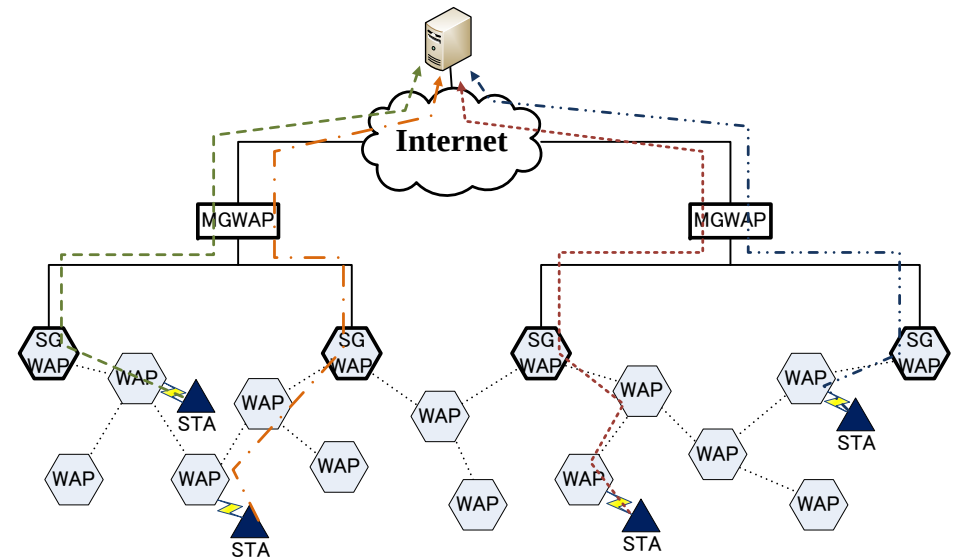


図 3 提案システム概要

3.2 実現方法

本提案によるメッシュネットワークの実現方式を以下に述べる。WMN 内の端末同士の通信と、WMN 内の端末と外部ネットワークとの通信を併せて説明する。図 4 に提案方式における各装置の動作シーケンスを示す。これ以降、WMN の AP を WAP(Wireless Access Point)、SGAP を SGWAP(Sub Gateway WAP)、MGAP を MGWAP(Master Gateway WAP)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 2 種類の無線インタフェースを持つ。インフラストラクチャ側は配下の一般無線端末と接続し、アドホック側は WAP 同士でアドホックネットワークを構築する。WAP は通信相手端末の MAC アドレスとその端末が所属している WAP のアドホック側の IP アドレスの関連を知っている必要がある。この関係を記述したテーブルを LT(Link Table)と呼ぶ。各端末には DGW の IP アドレスとして仮定の IP アドレス(固定値)を登録する。

宛先が WMN 内の端末である場合は、該当する WAP 間で LT を生成する。端末は通信開始時に宛先端末の MAC アドレスを調べるために ARP Req(ARP Request)を送信する。これをトリガにして WAP は LT Req(LT Request)をフラッディングする。LT Req を受信した WAP は送信元 WAP の IP アドレスと送信元端末の MAC アドレスの

対応を LT に記述する。宛先が WMN 内部の端末だった場合、各 WAP は自分の配下に宛先端末が存在するかを確認するために代理 ARP Req を送信する。SGWAP が内部宛の LT Req を受信した場合は、配下端末への代理 ARP 処理は同様に行うが、有線ネットワークに対しては何もしない。配下端末からの ARP Rep(ARP Reply)を受信した WAP は ARP Req の送信元 WAP に対して LT Rep(LT Reply)をユニキャストで返信する。これを受信した WAP は宛先端末の MAC アドレスと宛先 WAP の IP アドレスの対応を LT に記述する。以後の通信パケットは、LT に従って MAC フレームごと WAP の IP アドレスでカプセル化して送信する。LT Req は ARP Req 受信時以外にも、通信パケットの受信時に該当する内容が LT に存在しなかった場合にも送信される。その場合、通信パケットは一時 WAP 内に退避され、LT 生成後に送信される。配下端末からの ARP Req の宛先が仮想 DGW であった場合、送信元 WAP は上記と同様にして LT Req をフラッディングする。途中の WAP は宛先 IP が仮想 DGW であるため、そのまま SGWAP に中継する。このパケットを受信した SGWAP は有線を介して MGWAP に向けてセッション要求を送信する。この要求を受信した MGWAP は最も早く届いたセッション要求に対して肯定応答を 1 つだけ返信する。このとき、MGWAP はセッション要求の内容を記憶しておき、以後の通信はセッション単位で同じ経路を通るようにする。MGWAP からの肯定応答を受信した SGWAP はユニキャストで送信元 WAP に LT Rep を返す。このとき通知する MAC アドレスは SGWAP のものとする。

MGWAP が多重化されていた場合は、LT Req の送信元 WAP に対して複数の LT Rep が返信される。この場合、送信元 WAP は最も早く届いた LT Rep を有効として LT を生成する。なお、LT は無通信状態が一定時間続くとタイマー処理によって消去される。

3.3 障害発生時の動作

MGWAP と SGWAP は上流への経路が確保されていることを常時確認する。確認方法は有線ケーブルの接続チェック、上流ノードへのヘルスチェック等が考えられる。

上流の通信経路が通信不可であることを検出した SGWAP は、WMN 内にその旨をフラッディングする。これを受信した WAP は対応する LT が存在する場合、それを削除する。この後、この経路を使用していた WAP は、端末からの返信パケットを受信したとき、再度 LT Req をフラッディングして新たな経路生成を行う。これにより、障害経路を回避した外部への経路が確立する。SGWAP は上流ネットワークが使えないと判断すると、通信不可であると伝えると共に WAP モードに移行し、一般の WAP として動作する。このようにして SGWAP に接続されていた一般端末も新しい GW との経路が自動的に生成される。

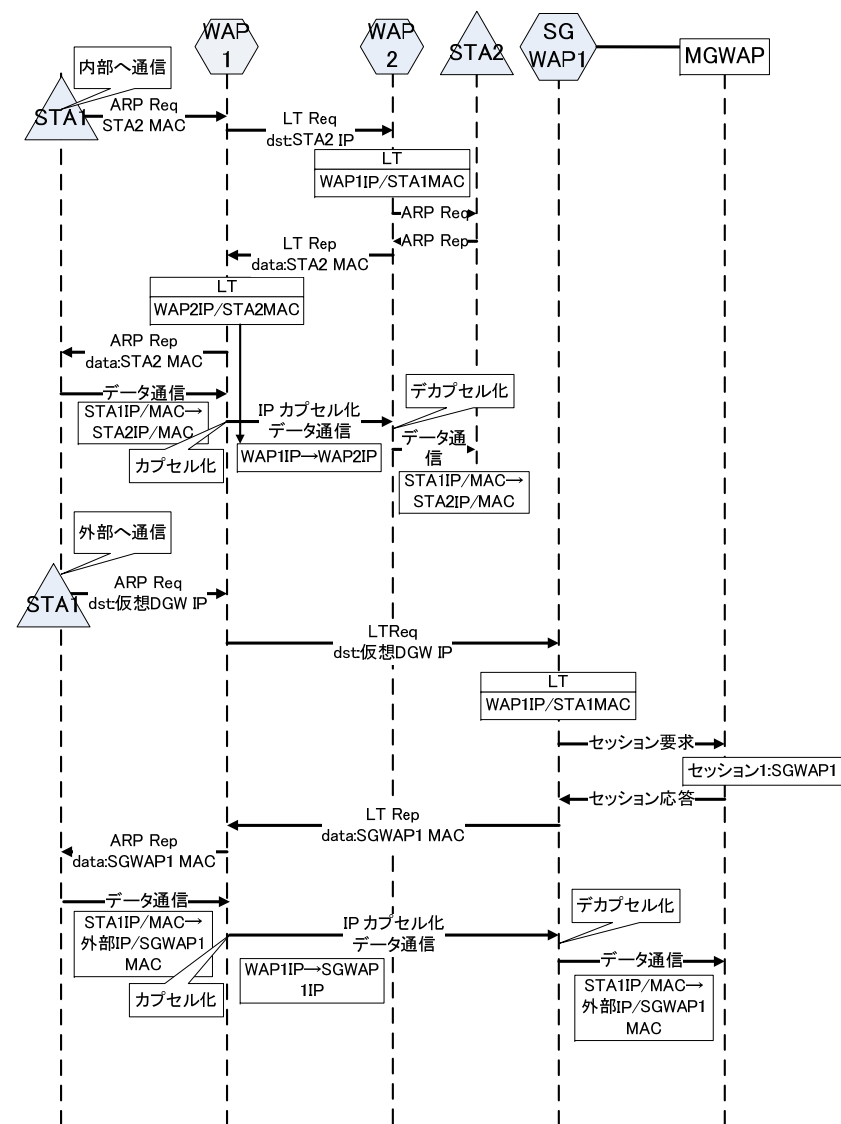


図 4 提案システム動作シーケンス

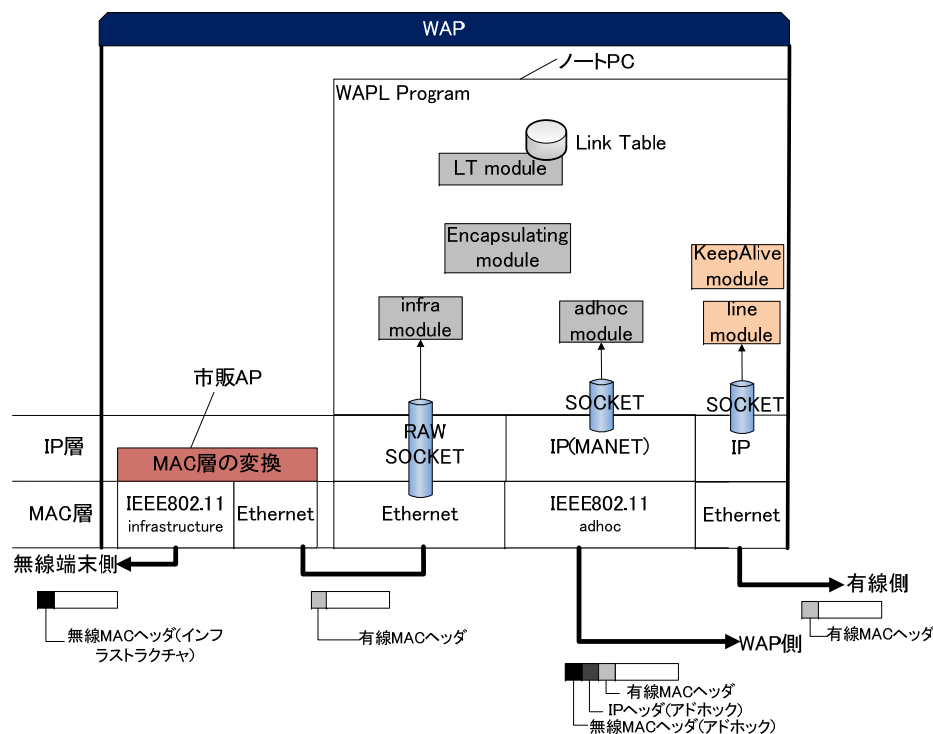


図5 提案システムのモジュール構成

4. 実装

本提案システムは WAPL[1]をベースに試作を行っている。図5にモジュール構成を示す。試作 WAP の構成は、ノート PC の内蔵無線 LAN インタフェースをアドホックネットワークの通信に使用し、市販の AP を配下端末との通信に使用し、両者を Ethernet で接続した。AP で受信した無線 LAN パケットは、AP によって有線 LAN ヘッダに変換され、ノート PC の RAW Socket を経由して WAPL プログラムがキャプチャする。

WAPL プログラムは PC 上で動作するアプリケーションとして実装した。このモジュールは MANET のルーティングモジュールとは完全に独立している。そのためアドホックルーティングプロトコルを用途に応じて自由に選択できる。WAPL プログ

ラムは大きく分けて 6 つのモジュールで構成される。infra module は Ethernet インタフェースから受信したパケットを解析し、LT メッセージの作成、パケットのカプセル化の決定、送信インタフェースの決定などを行う。adhoc module はアドホックインタフェースから受信したパケットを解析し、デカプセル化処理、LT 処理の決定、送信インタフェースの決定などを行う。LT module は LT メッセージを解析し、LT の生成、管理を行う。Encapsulating module はパケットのカプセル化によりパケットの中継を行う。line module は有線インタフェースから受信したパケットの処理を行う。Keep Alive module は上流ネットワークの障害検知を行う。現時点では WMN 内端末同士の通信に係わる実装を完了し、動作確認済みである。

5. むすび

WMN における外部ネットワークとの接続点を多重化する方式について提案した。本システムによれば、GW 近傍の無線トラフィックのネックを解消できるだけでなく、GW 故障時にも即座に代替え GW に切り替えることが可能である。今後は実装を完了し、その有用性を証明する予定である。

参考文献

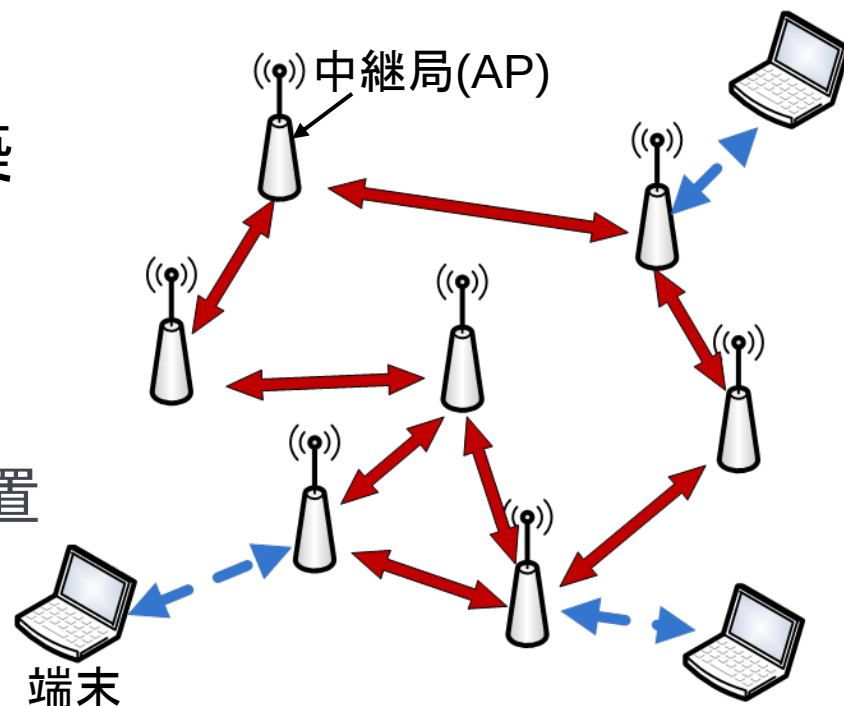
- 1) 伊藤将志, 鹿間敏弘, 渡邊 晃: 無線メッシュネットワーク” WAPL ” の提案とシミュレーション評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6 (2008).
- 2) 大和田泰伯, 照井宏康, 間瀬憲一, 今井博英: マルチホップ無線 LAN の提案と実装, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J89-B, No.11, pp.2092-2102 (2006)
- 3) MetroMesh
<http://www.tropos.com/>
- 4) MeshCruzer
<http://www.thinktube.com/>
- 5) Packethop
<http://www.packethop.com/>
- 6) Amir, Y., Danilov, C., Hilsdale, M. et al.: Fast Handoff for Seamless Wireless Mesh Networks, ACM MobiSys (2006)
- 7) 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)
- 8) Aoki, H., Chari, N., Chu, L. et al.: 802.11 TGs Simple Efficient Extensible Mesh (SEE-Mesh) Proposal (2005)
- 9) Lakshmanan, S., Sundaresan, K. and Sivakumar, R.: On Multi-Gateway Association in Wireless Mesh Networks, WiMesh 2006; Second IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks, pp.64-730 (2006).
- 10) Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP)
<http://tools.ietf.org/html/rfc3768>

メッシュネットワークにおける ゲートウェイ選択方式の提案

名城大学大学院 理工学研究科情報工学専攻
永井順也 伊藤将志 渡邊晃

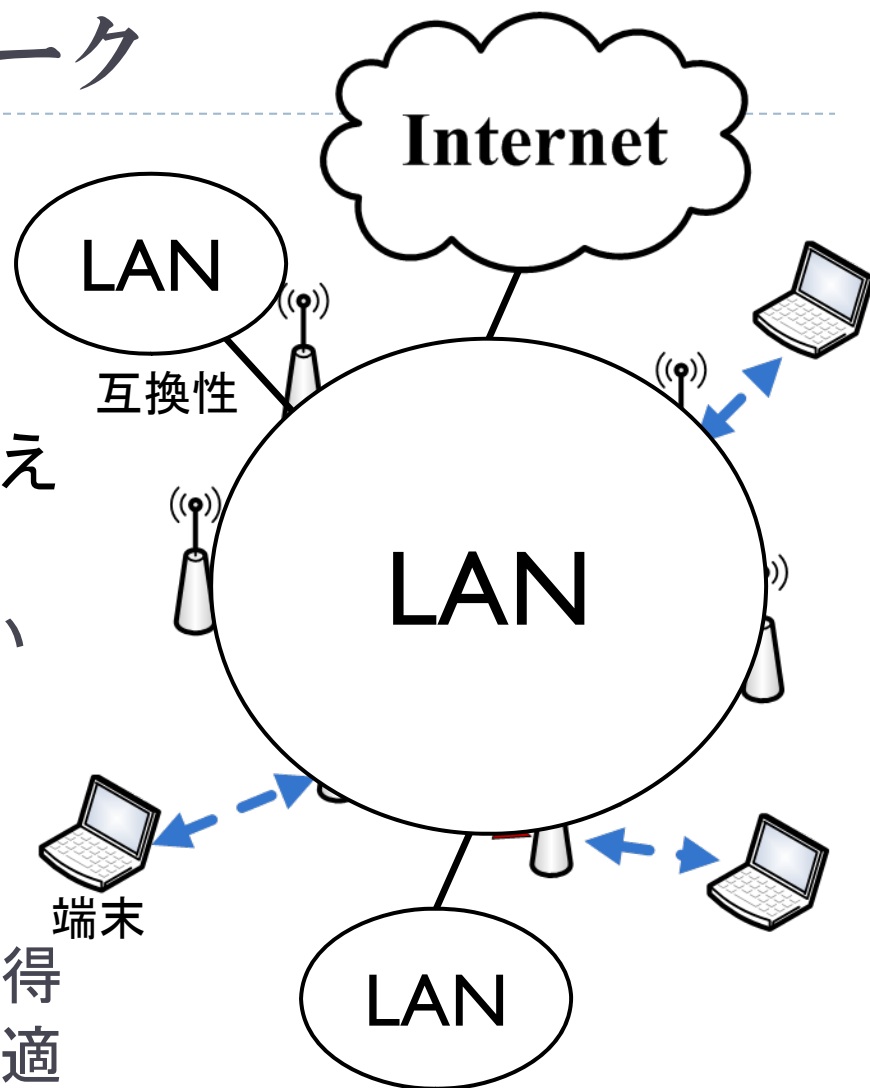
研究背景：無線メッシュネットワーク

- ▶ 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



本発表で対象とする 無線メッシュネットワーク

- ▶ AP間をアドホックネットワーク
AP-端末間をインフラストラク
チャモードで通信
- ▶ 端末から見て1つのLANと見える
方式を対象
 - ▶ IEEE802.11sなどで採用されている
方式
- ▶ 利点
 - ▶ 既存のLANと互換性がある
→DHCPやMACアドレスの取得
法などの考えかたをそのまま適
応できる



無線メッシュネットワークにおける外部ネットワークとの接続の必要性

- ▶ 無線メッシュネットワークが実用化されるためには、外部ネットワークとの接続方法の検討が重要

例えば

- ▶ 無線メッシュネットワークの応用例
 - ▶ 災害時の臨時ネットワークとしての利用
 - ▶ 例:スカイメッシュ(新潟大学)
 - ▶ 山間部などの有線を引くことが困難な場所にインフラを提供
 - ▶ 例:山古志ねっと(新潟大学)

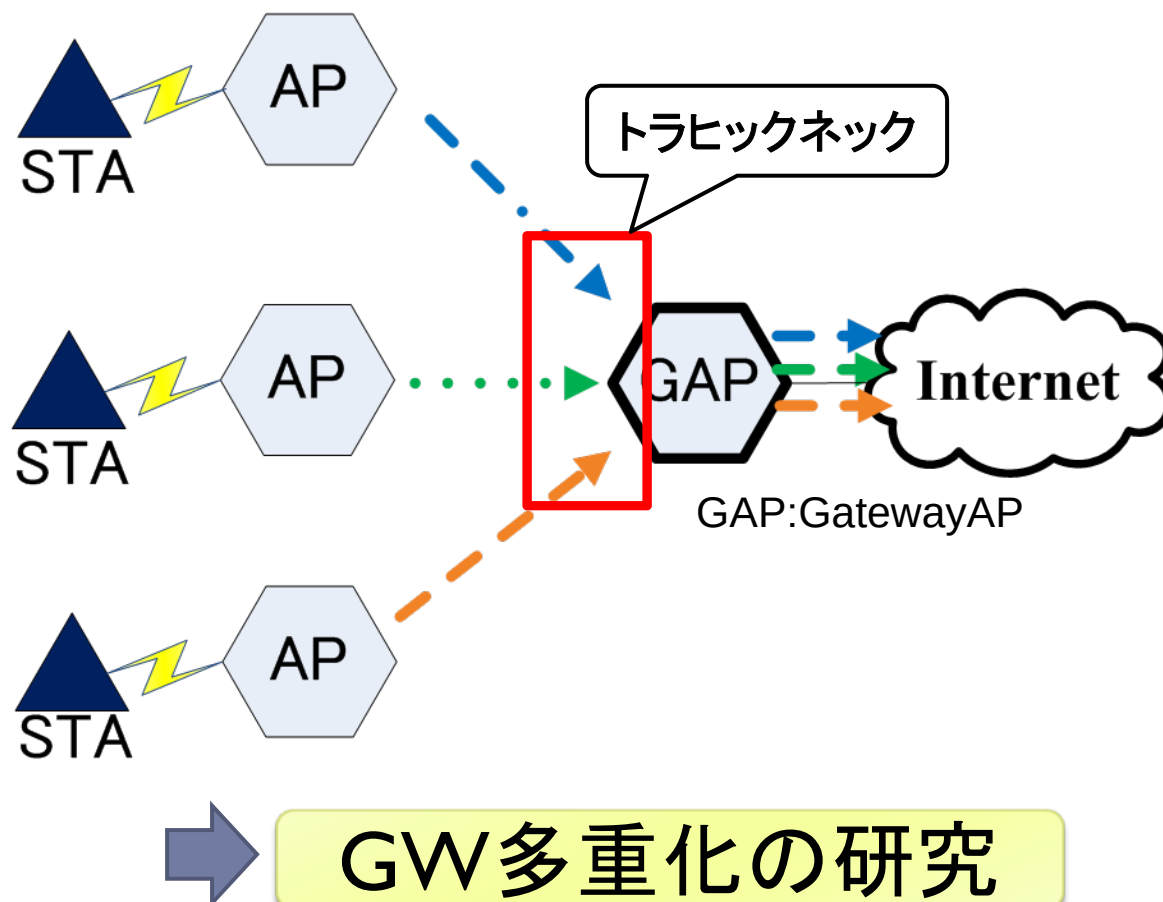


インフラとしての
利用

インフラとして利用する場合は、外部ネットワークとの接続が必須である

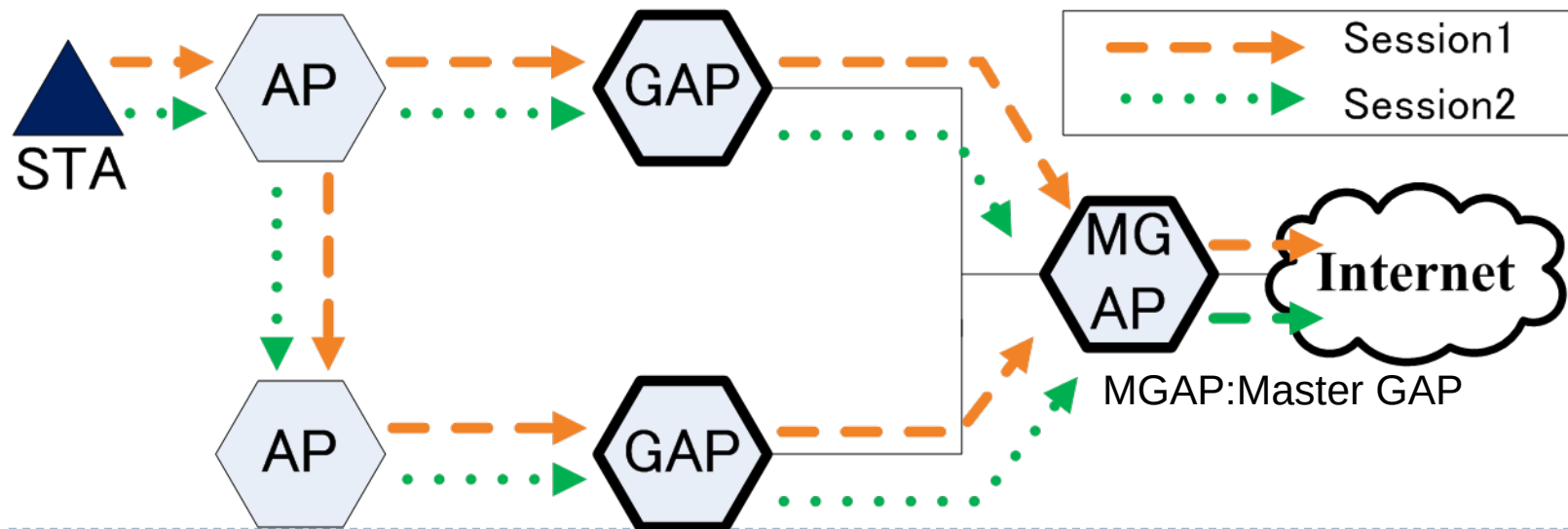
外部ネットワークとの接続の課題

- ▶ 無線メッシュネットワークのGAP(Gateway AP)が単一の場合、無線部分がトラヒックネックになってしまう問題があった



既存技術：GW多重化

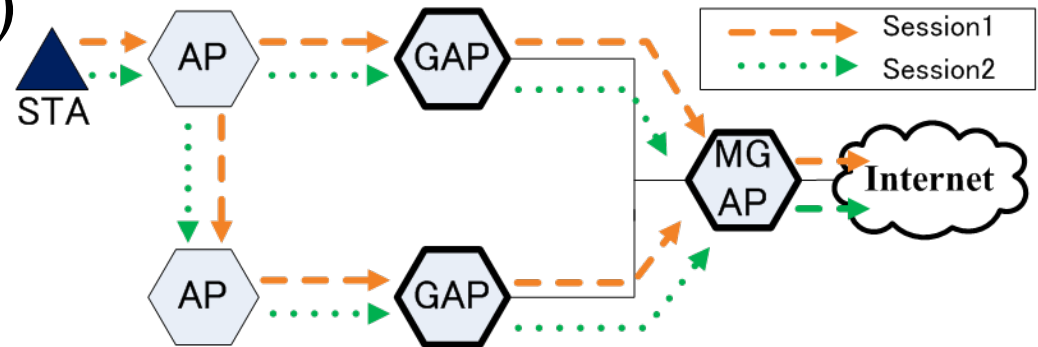
- ▶ 無線メッシュネットワークのGW:GAPを多重化
- ▶ GAPを統括する装置としてMGAP(Master GAP)を導入. GAPとは有線でつなぎ、有線部分は十分な帯域を持ちトラフィックネックを考えない
- ▶ MGAPは各GAPから送られたパケットの順列制御などを行う
- ▶ MGAPが外部ネットワークとの接続ポイントになる



既存技術：GW多重化

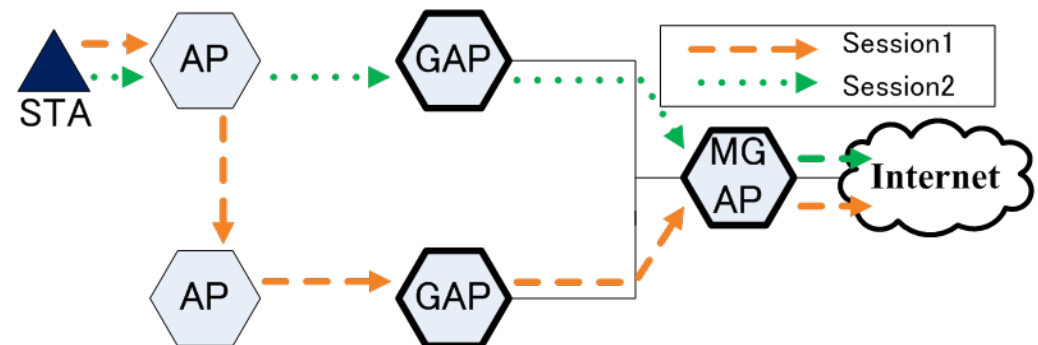
▶ パケット分配方式 例：MGA(MultiGateway Association in Wireless Mesh Network)

- ▶ APはパケットごとに最適経路を選択する
- ▶ TCP輻輳制御が起こりやすくウィンドウサイズが減少するという問題がある



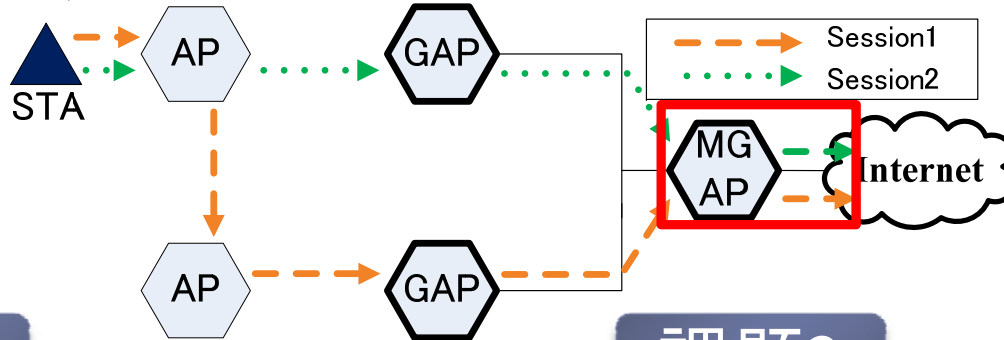
▶ セッション分配方式 例：WAPL(Wireless Access Point Link)

- ▶ APはセッションごとに最適経路を選択する
- ▶ TCP輻輳制御の問題を解決



既存研究の課題

- ▶ 既存の研究では外部との接続ポイントが1箇所しか想定されていない



課題1

- ▶ ネットワークの規模が大きくなるとトラヒックのネックになる可能性

課題2

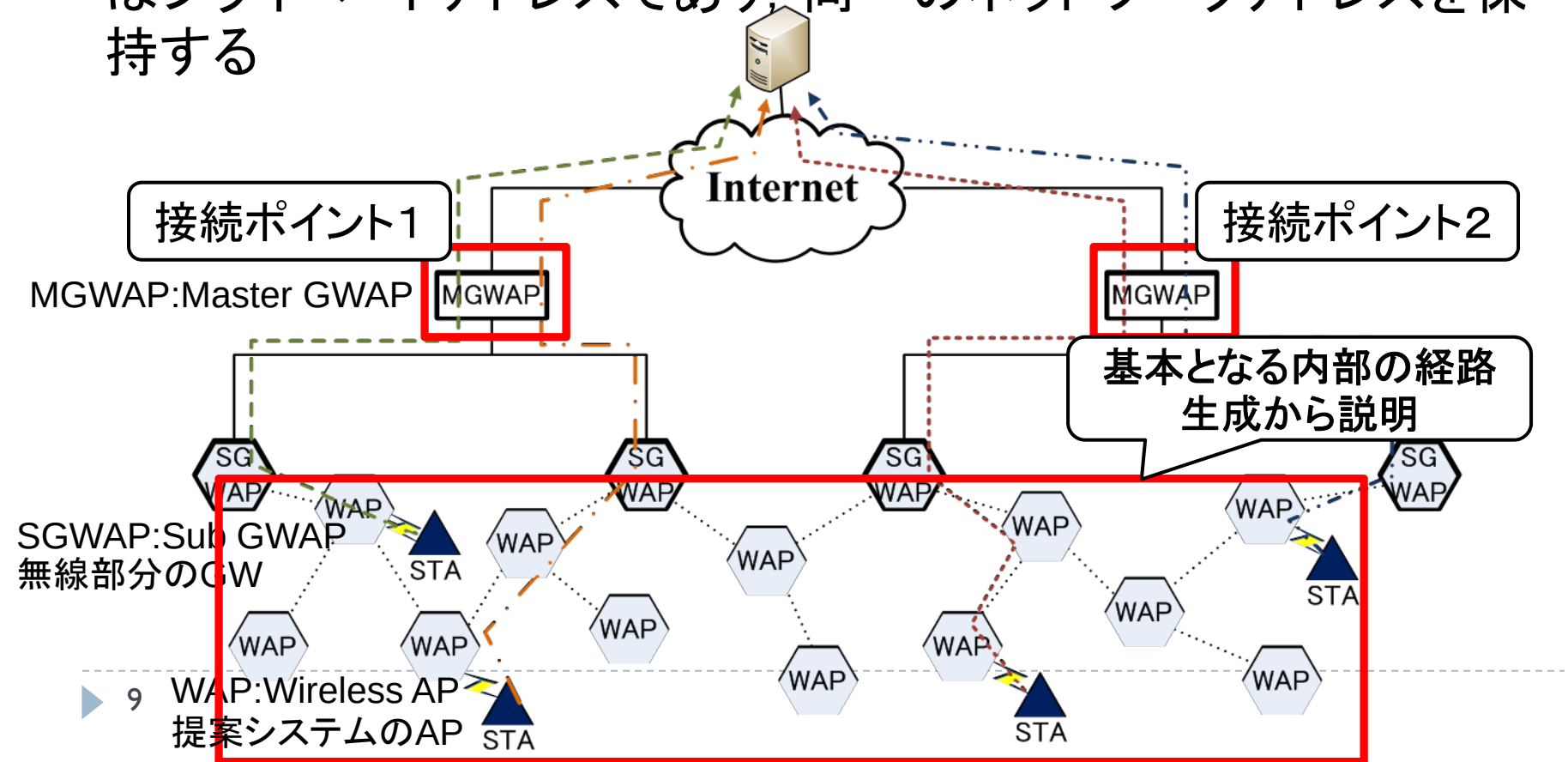
- ▶ 接続ポイントが故障すると通信不能になる

提案

接続ポイントを多重化することで解決

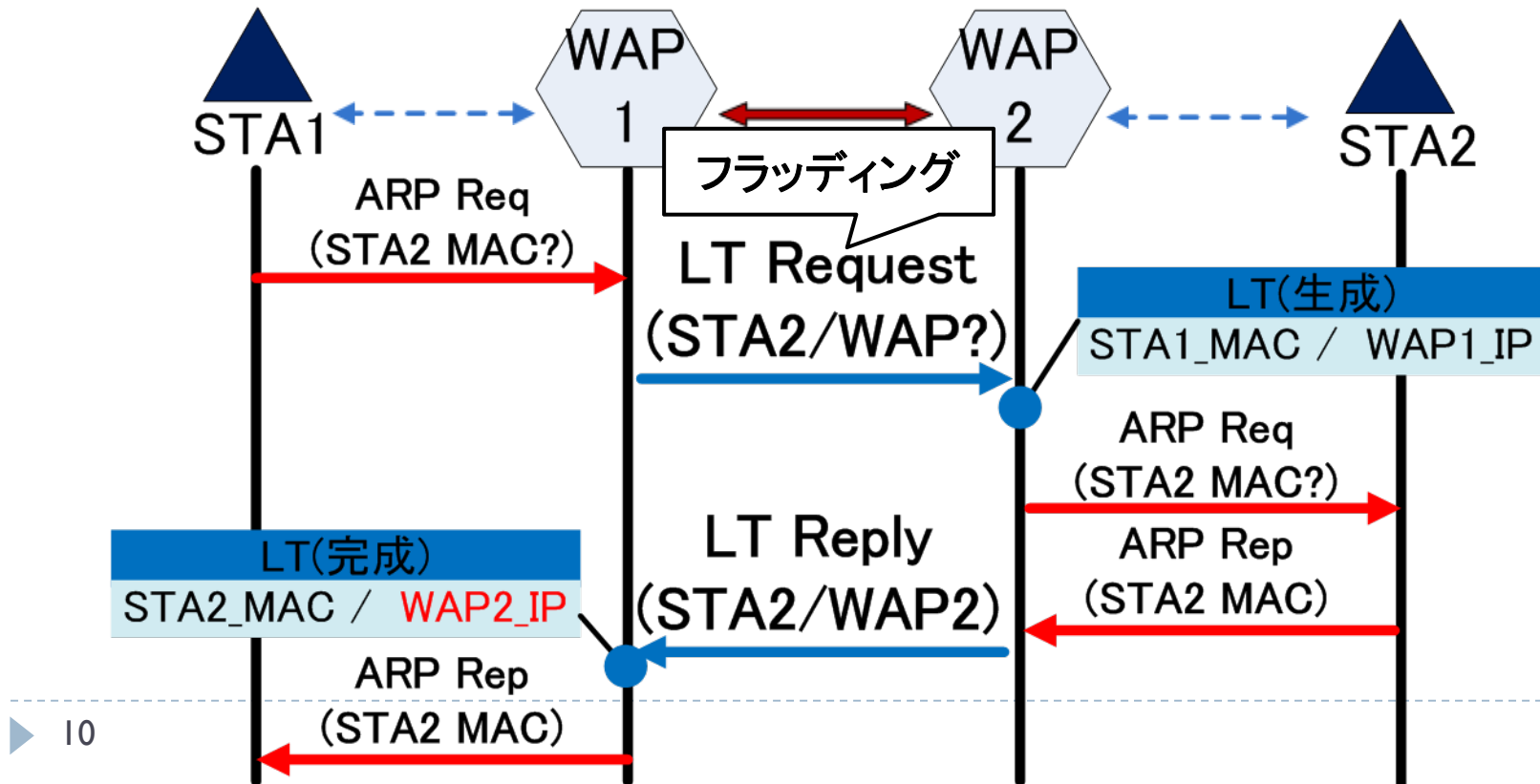
提案システム概要

- ▶ 本提案システムは外部との接続ポイントを複数設置することで、トラフィックの分散と障害対策を行う
- ▶ MGWAPはNAT機能を持つ。無線メッシュネットワーク内の端末はプライベートアドレスであり、同一のネットワークアドレスを保持する



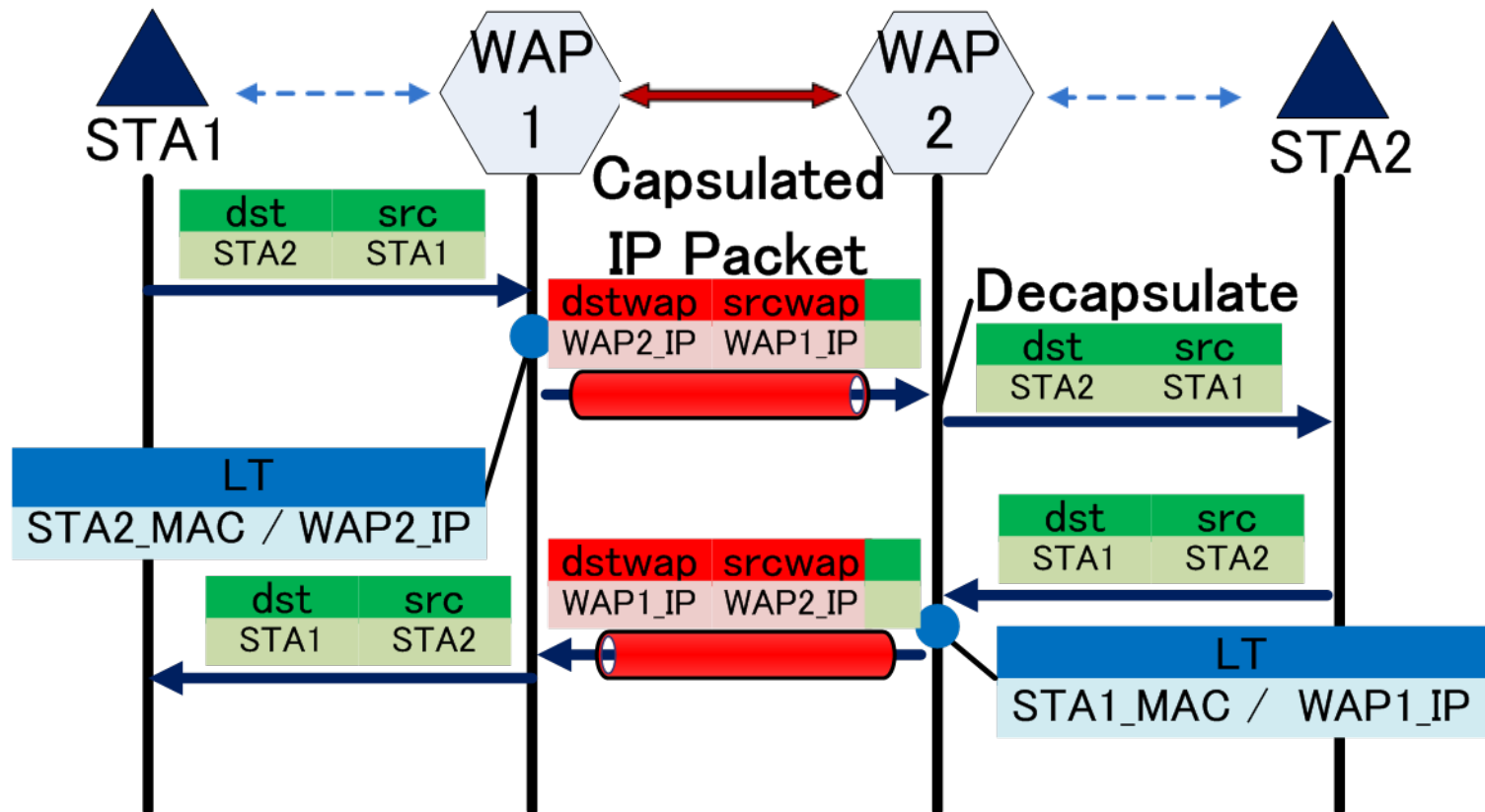
メッシュネットワーク内の経路生成

- ▶ 提案システムは通信開始時のパケットをトリガにして、LT(Link Table)と呼ぶWAPのIPとその配下のSTAのMACの対応をオンデマンドで交換することで経路生成を行う
- ▶ LTは使われないと、タイマーで消去される



メッシュネットワーク内のパケット中継

- ▶ IPパケットの中継はLTに従ってパケットをカプセル化して伝送
- ▶ カプセル化はMACヘッダまでを含む

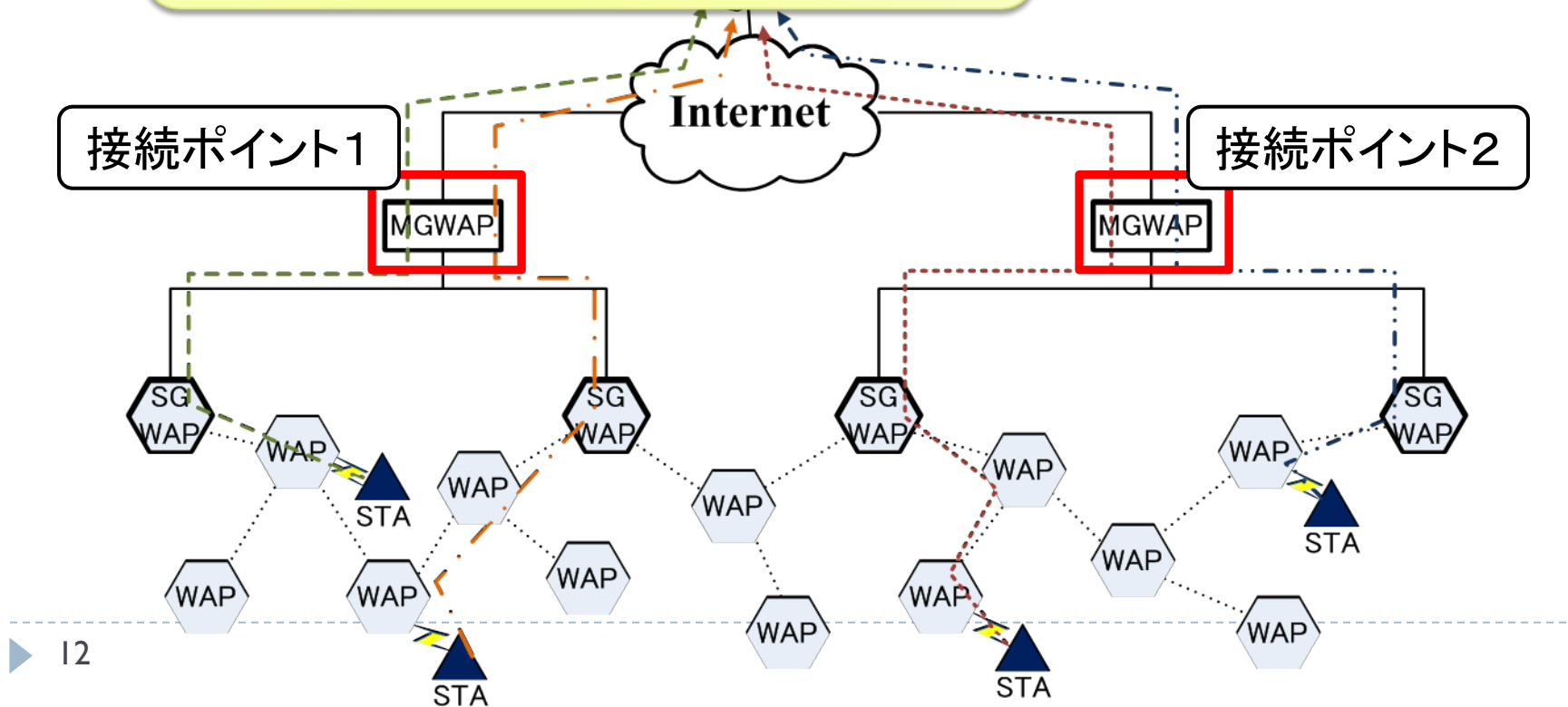


提案システム概要：外部ネットワークとの通信

- ▶ 端末から見ると複数のDGW(Default GW)が存在する
- ▶ 一般的に端末はDGWを1つしか選択できない(Windows XP)

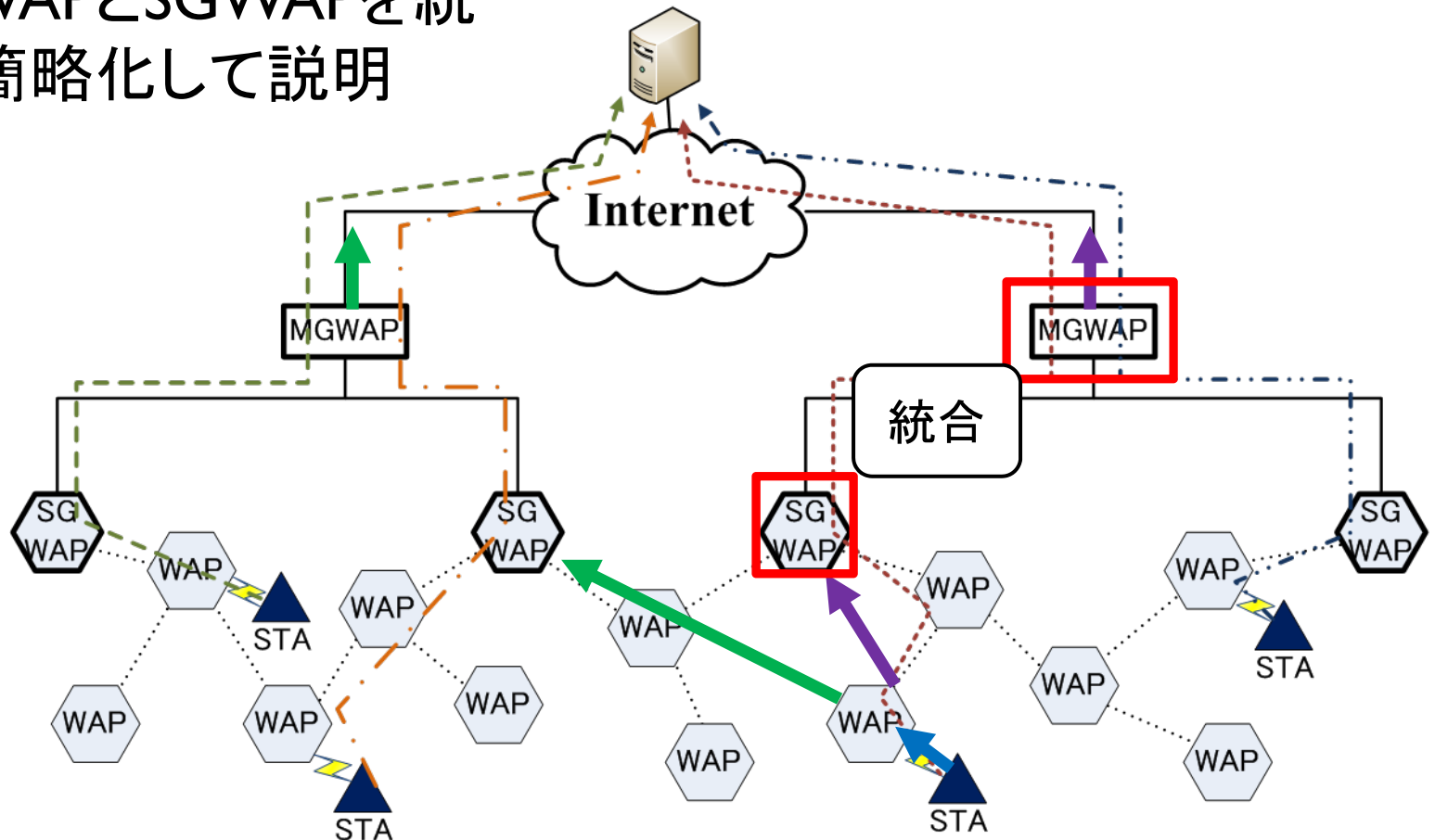


端末にはDGWのIPアドレスとして
仮想のIPアドレス(固定値)を登録



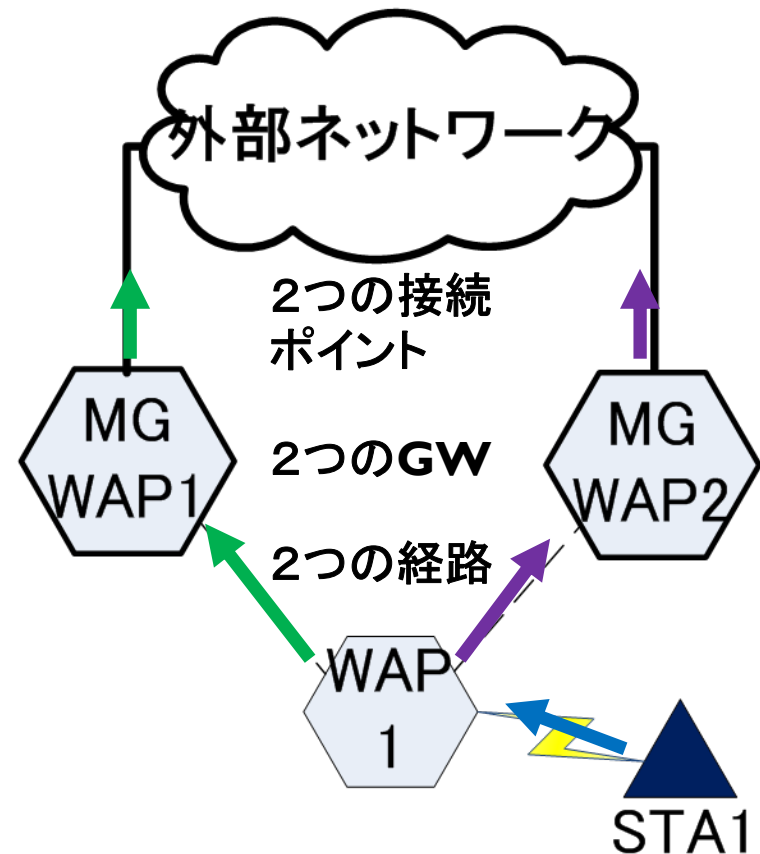
外部ネットワークへの最適経路の生成

- ▶ MGWAPとSGWAPを統合，簡略化して説明



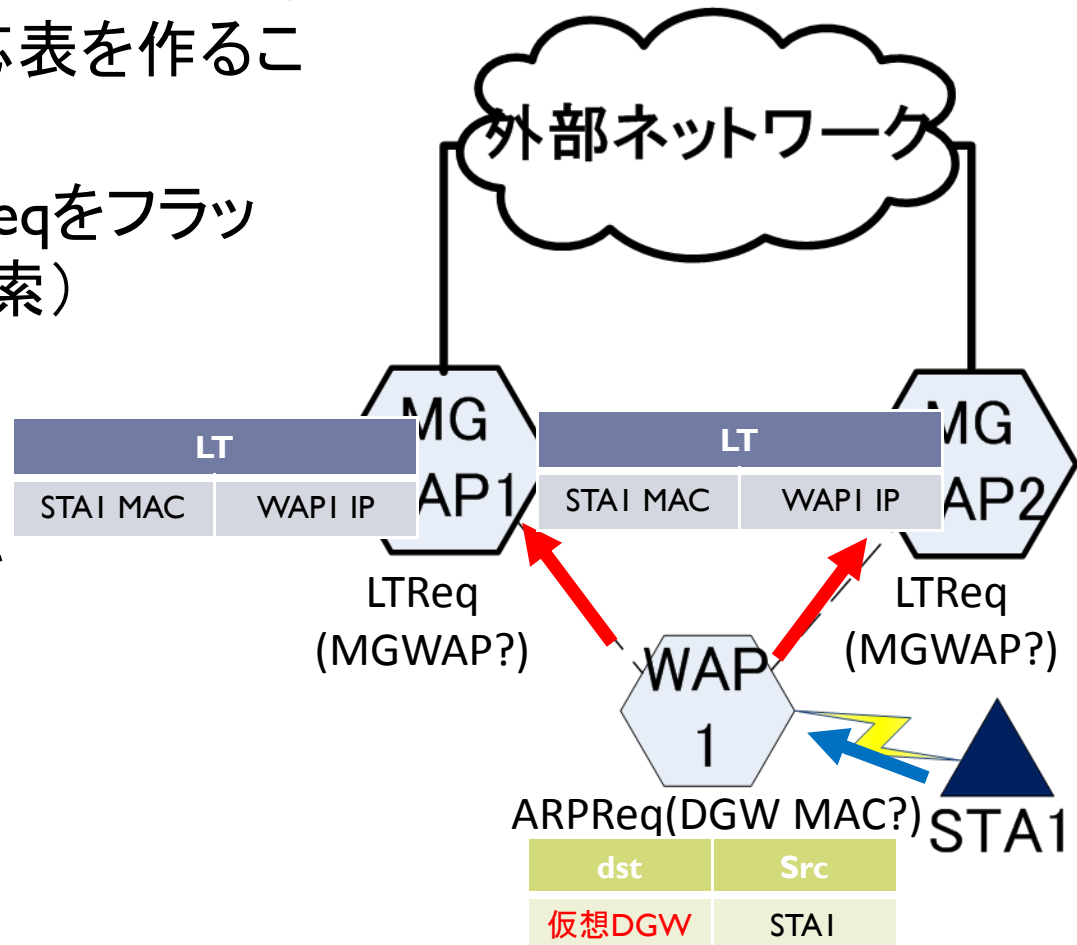
外部ネットワークへの最適経路の生成

- ▶ MGWAPとSGWAPを統合，簡略化して説明
- ▶ 右図のようにSTAが外部ネットワークと通信する時には
 - ▶ 複数の経路
 - ▶ 複数のGW
 - ▶ 複数の接続ポイントが考えられる



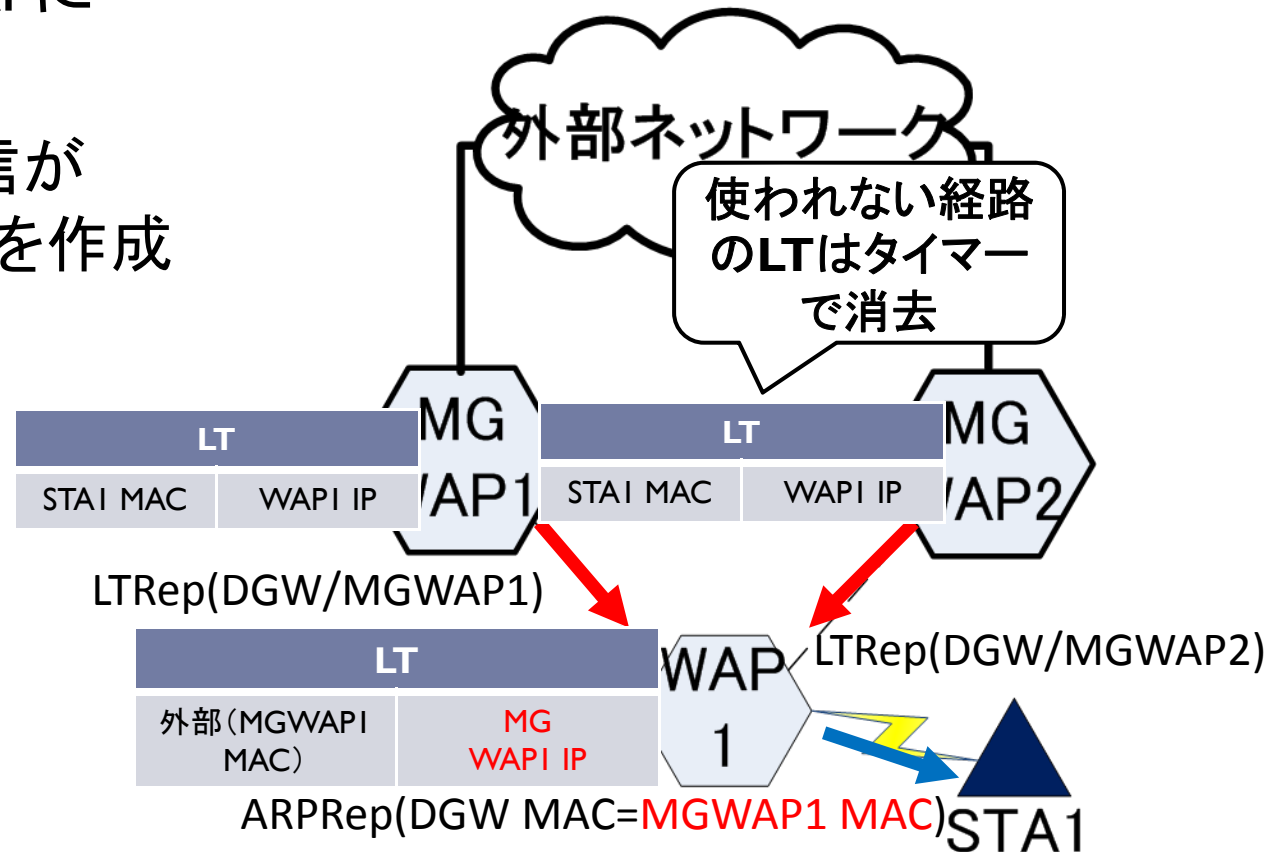
最適経路の生成(内部→外部)

- ▶ 内部の通信の時と同様にLTというWAP/配下端末の対応表を作ることによって経路生成を行う
- ▶ ARPをトリガとしてLTReqをフラッディング(最適経路探索)
- ▶ LTReqを受信したMGWAPはLTにWAPと配下のSTAの対応を記述
- ▶ LTReqがMGWAPを探しているので



最適経路の生成(内部→外部)

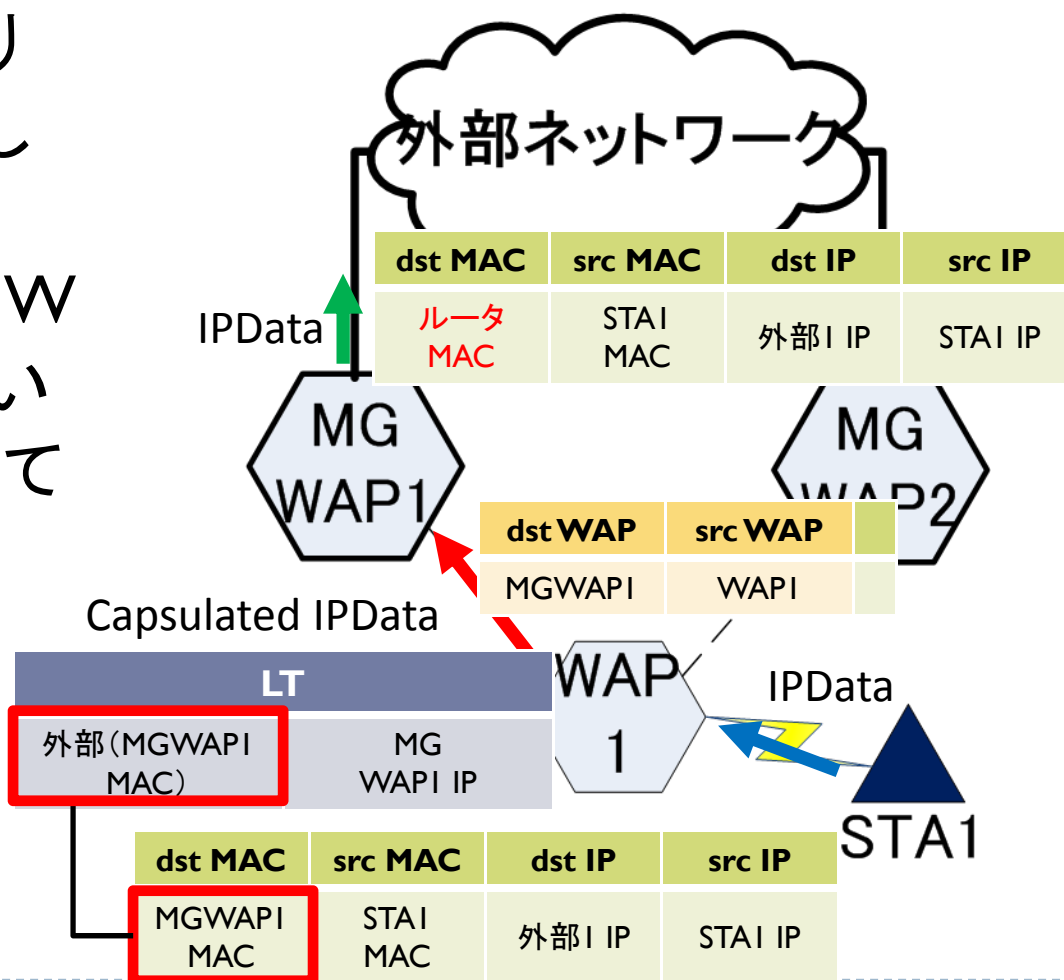
- ▶ LReqの送信元WAPにLTRepを返信
- ▶ WAPは最も早く返信があったLTRepからLTを作成(経路生成完了)
- ▶ それ以降に届いたLTRepは破棄



最も早く返信があった経路＝最適な経路 という考え

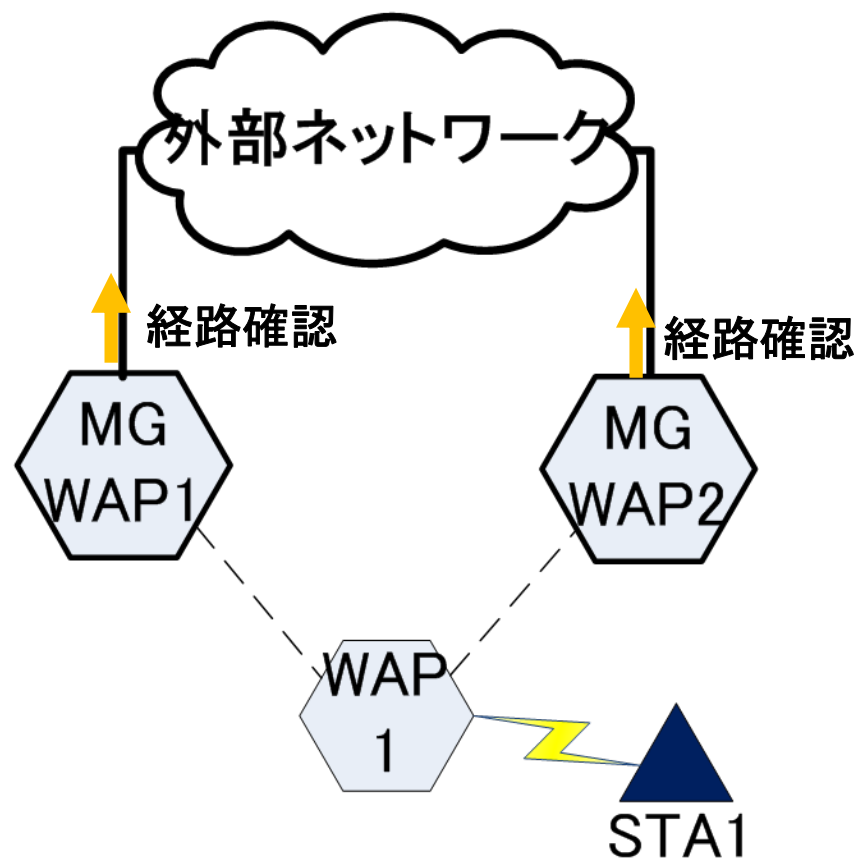
パケット中継(内部→外部)

- ▶ WAPは作成したLTよりパケットをカプセル化して転送
- ▶ MGWAPは本当のDGWのアドレスを登録しているのでデカプセル化して外部に転送する
(パケット中継完了)



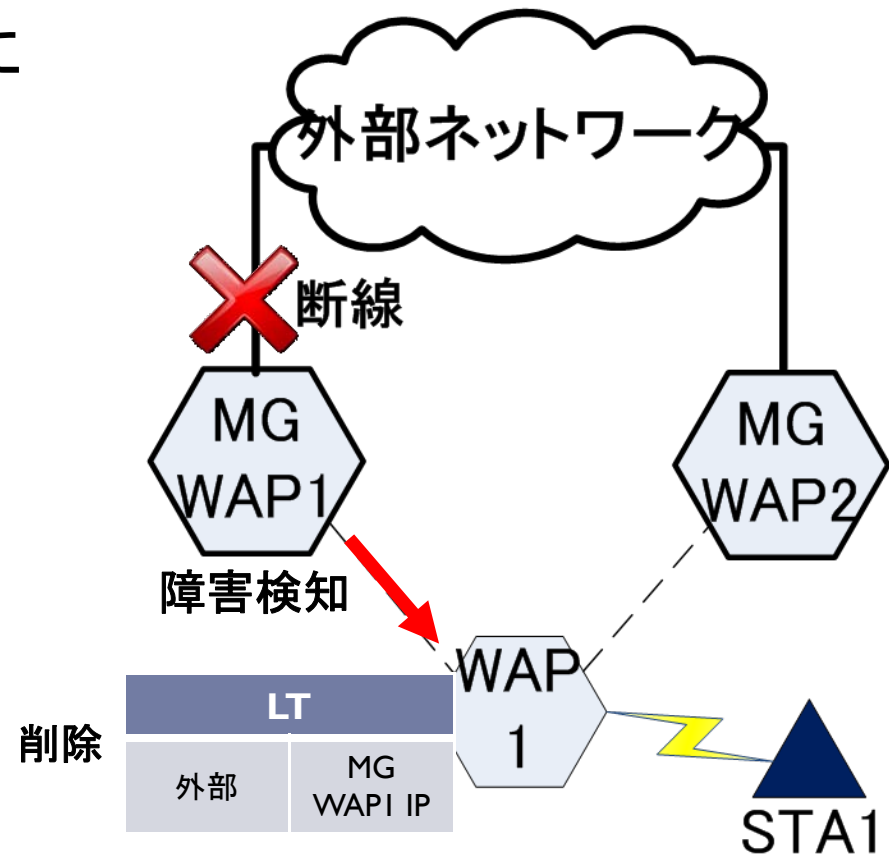
障害検知

- ▶ GWAPは上流への経路が確保されているかを常時確認する
 - ▶ 上流ルータへのping
 - ▶ 断線の検知
 - ▶ 外部サーバとのKeepAliveなどを検討中



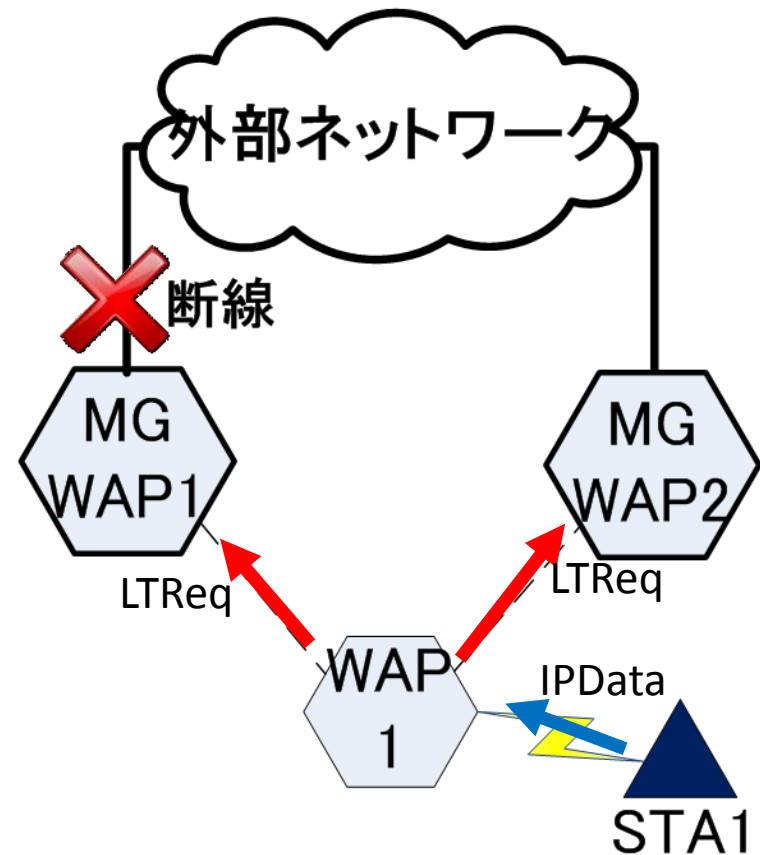
障害発生時の動作

- ▶ 障害を検知すると無線メッシュネットワーク内にその旨をフラッディング
- ▶ メッセージを受け取ったWAPはLTを消去



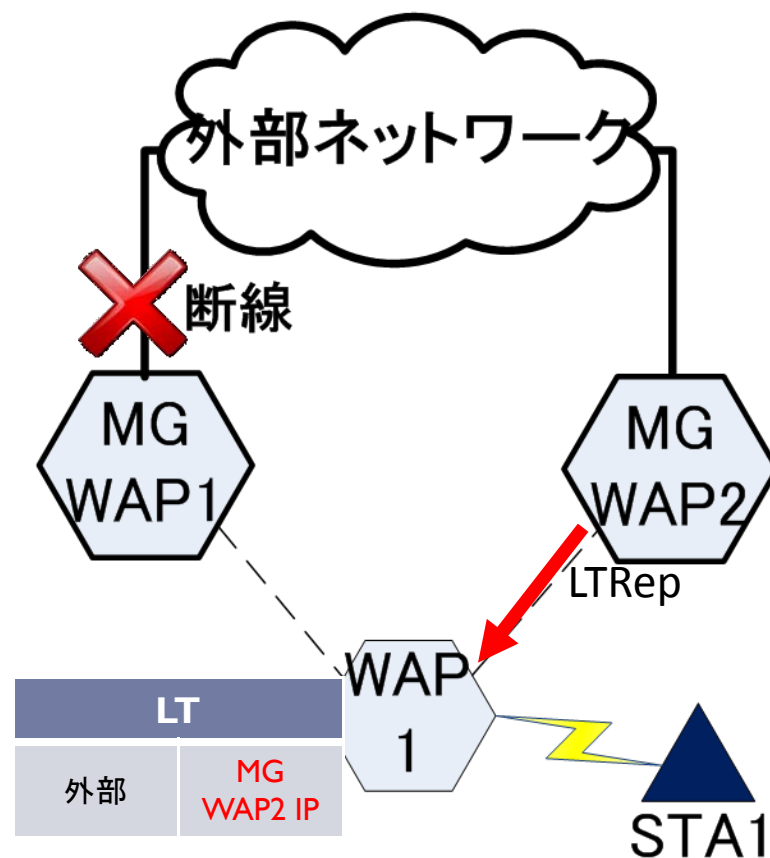
障害発生時の動作

- ▶ STAは新たにセッションを張り直す
- ▶ 先程の経路生成と同様にして最適経路の作成



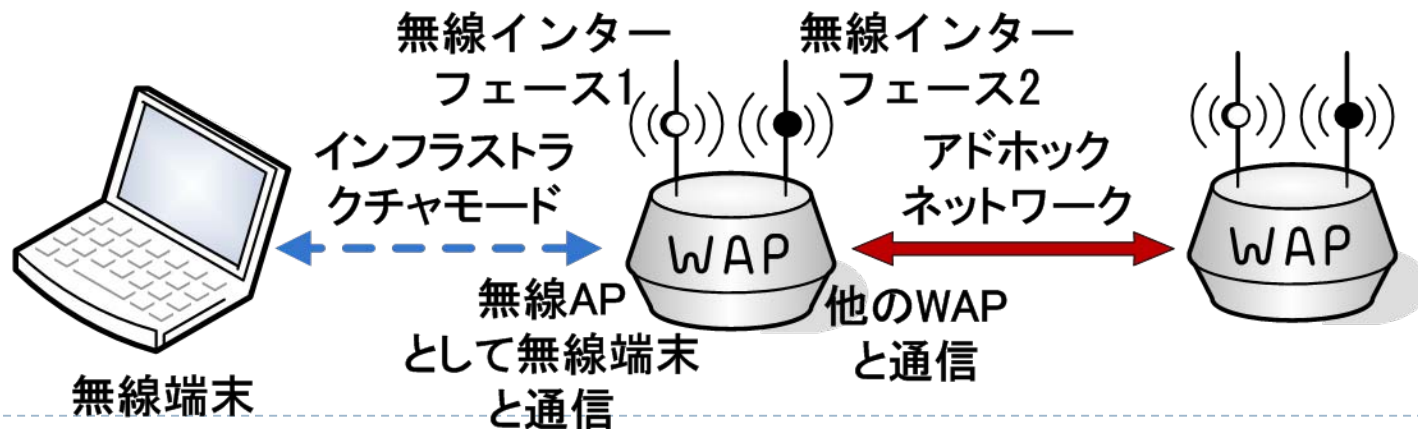
障害発生時の動作

- ▶ STAは新たにセッションを張り直す
- ▶ 先程の経路生成と同様にして最適経路の作成
- ▶ 障害を検知したMGWAPは障害が復旧するまで返信しない
- ▶ LTが生成され新たな経路が完成



実装

- ▶ 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 Access Point Link)を使用
- ▶ WAPL
 - ▶ アドホックルーティングプロトコルを自由に選択可能
 - ▶ 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

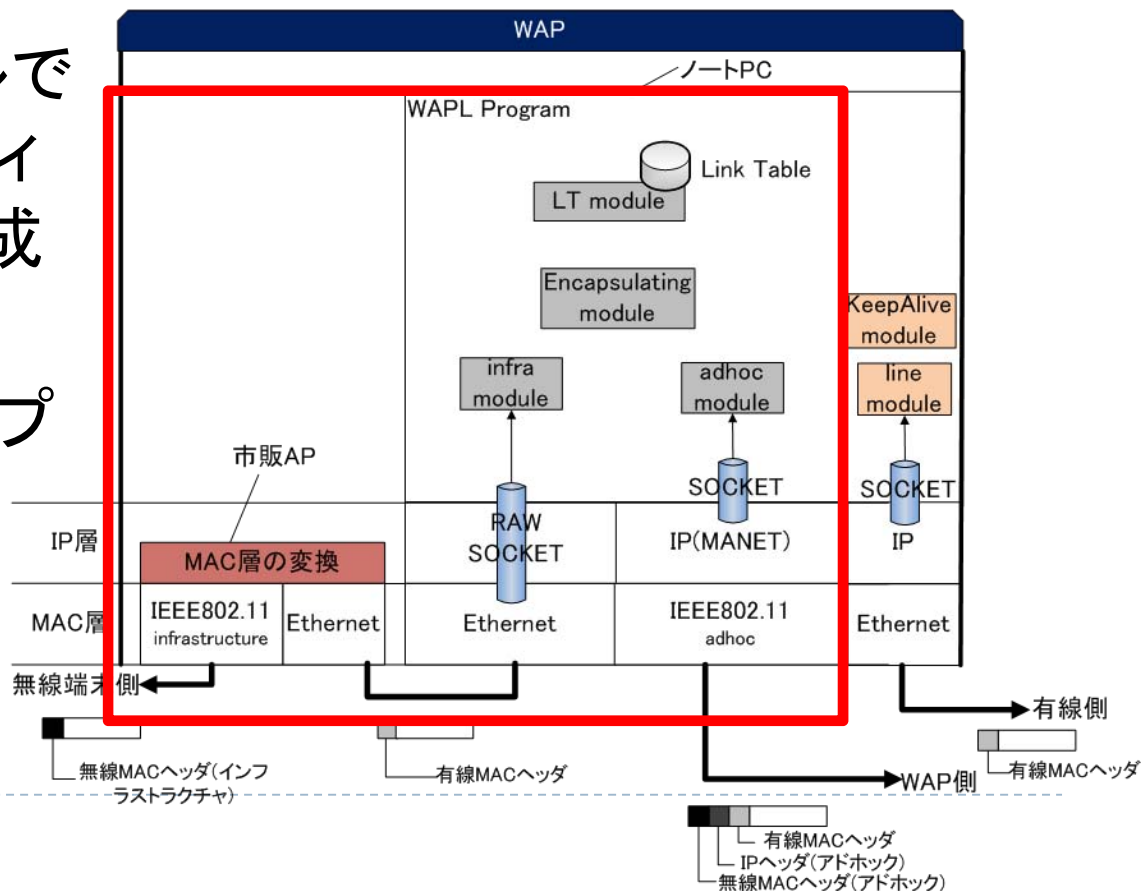


実装（モジュール構成）

- ▶ WAPは市販のノートPCとAPをイーサケーブルでつなぎ、ノートPC上で動くアプリケーションとして実装した

- ▶ アプリケーションレベルでLTメッセージをフラッディングすることで経路生成を自ら行っている

➡ アドホックルーティングプロトコルとは独立



むすび

提案

- ▶ 無線メッシュネットワークにおける外部との接続ポイントを多重化することで、トラヒックの分散と障害対策を行う手法を提案した

今後

- ▶ 実装を完了し、提案の有用性を示す