

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

083430025 永井 順也
渡邊研究室

1. はじめに

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。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。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や、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を多重化する研究がある。WMN上でGWを多重化し、GW間を有線で接続する。外部ネットワークとはさらにMGW(Master GW)を介して通信する。この方法によりGW近傍のトラフィックネックが解消される。しかしこれらの方式ではMGWが故障すると通信ができないという課題は解消することができない。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が発生する可能性は否めない。

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。この方法によれば、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GWに切り替えることが可能である。

本稿では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。既存のLANと互換性があり、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。

2. 既存システムとその課題

WMNでGWを1台用いて外部ネットワークと接続する場合を考える。ゲートウェイ用APをGAPと呼ぶこととする。WMN内の端末は必ずGAPを通して外部と通信を行う。GAP近傍では無線トラフィックのネックが発生しやすい。また、GAPが1台であるため、障害が発生した場合、外部との通信が全てできなくなるという課題がある。

そこで上記の課題を解決するために、GAPを多重化する方法が検討されている[1][2]。パケットの宛先が外部ネットワークであったとき、[2]ではトラフィックが分散されるようにパケットごとにSGAP(Sub GAP)を確率的に選択する(パケット分配方式)。一方[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。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、トラフィックを分散することができる。SGAPとMGAPの間は有線であり、無線に比べ比較的帯域に余裕があるためトラフィックのネックにはならない。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に障害が発生すると外部との通信ができなくなるという課題が残されている。また、ネットワークの規模が大きくなると、MGAPがトラフィ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

図1に提案システムの概要を示す。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。これによりトラフィ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MGWAP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MGWAPを経由するようにする必要がある。

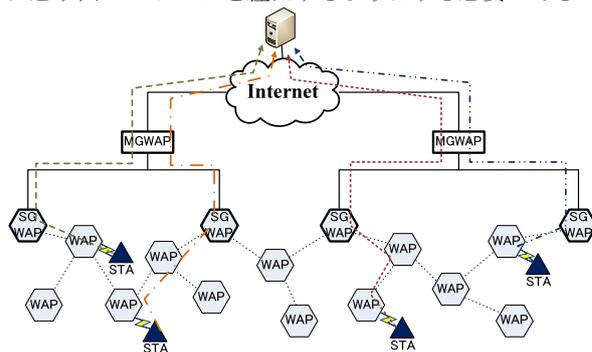


図1 提案システム概要

3.2 実現方法

以下ではWAPL(Wireless Access Point Link)の基本機能を拡張する事を前提に記述する。そこでWMNのAPを以後WAP(Wireless Access Point)、SGAPをSGWAP(Sub Gateway WAP)、MGAPをMGWAP(Master Gateway WAP)と呼称する。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アドレスとして仮想のIPアドレス(固定値)を登録する。

内部の端末同士が通信する際は、LTを生成するために、WAPは端末からARP等のパケットをトリガとしてLTメッセージと呼ぶパケットをフラッディングし、相手端末の位置を特定する。LT生成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。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。

外部端末と通信する際には、最適なSGWAP(GW)を選択する必要がある。今回は提案の簡略化のため、ラウンドトリップタイムの最も小さい経路のGWを最適なGWとして選択する。配下端末が外部端末にパケットを送信する場合、まずDGW宛にARP Reqを送信する。提案システムでは仮想DGW宛となる。この場合、送信元WAPは上まず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、代理ARPは実行せず、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アドレスは仮想のMACアドレスとする。

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。

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。その後、この経路を使用していたWAPは、端末からのパケットを受信したとき、該当するLTが存在しないため再度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新たな外部経路が確立する。SGWAPは上記機能を実行すると共にSGWAPとしての機能を停止し、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。

4. 実装

図2に試作WAPのモジュール構成を示す。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、増設した無線インタフェースをmode APで動作させ、配下端末との通信に使用した。受信したパケットはノートPCのRAW Socketを経由してWAPプログラムがキャプチャする。

WAPプログラムはMANETとは完全に独立させるため、LTフラッディングを含む全てのWAP機能をアプリケーションにより実現した。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構造となっている。infra moduleはmode APで動作させたインタフェースから受信したパケットを解析、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、指示を出すモジュールの決定、送信インタフェースの決定などを行う。LT moduleは他のモジュールから送られたLTメッセージを解析し、LTの生成、管理を行う。また他のモジュールからの指示でLTメッセージを作成する。Encapsulating moduleはinfra module、line moduleの指示でパケットのカプセル化を行い、adhocインタフェースから送信する。現在WAPとしての機能はほぼ実装済みであり、Hand Over moduleの実装が完了次第、シームレスハンドオーバーが実現できる。今後はline module、Keep Alive moduleを実装することでSGWAP、MGWAPを実現する予定である。

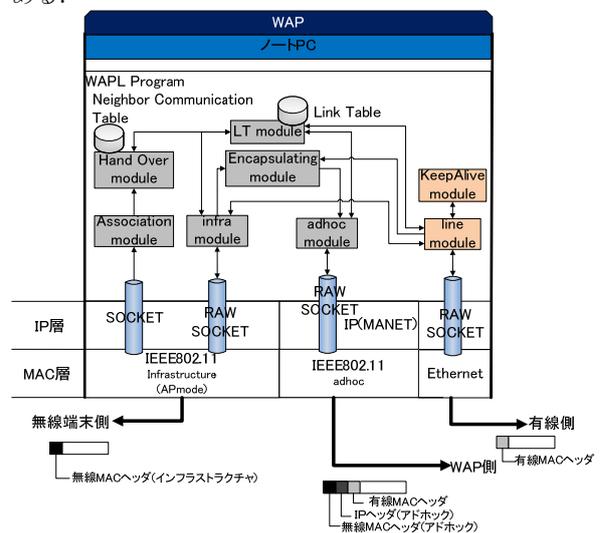


図2 実装モジュール図

5. むすび

本稿では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、WMNの外部ネットワークとの接続点を多重化することにより、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

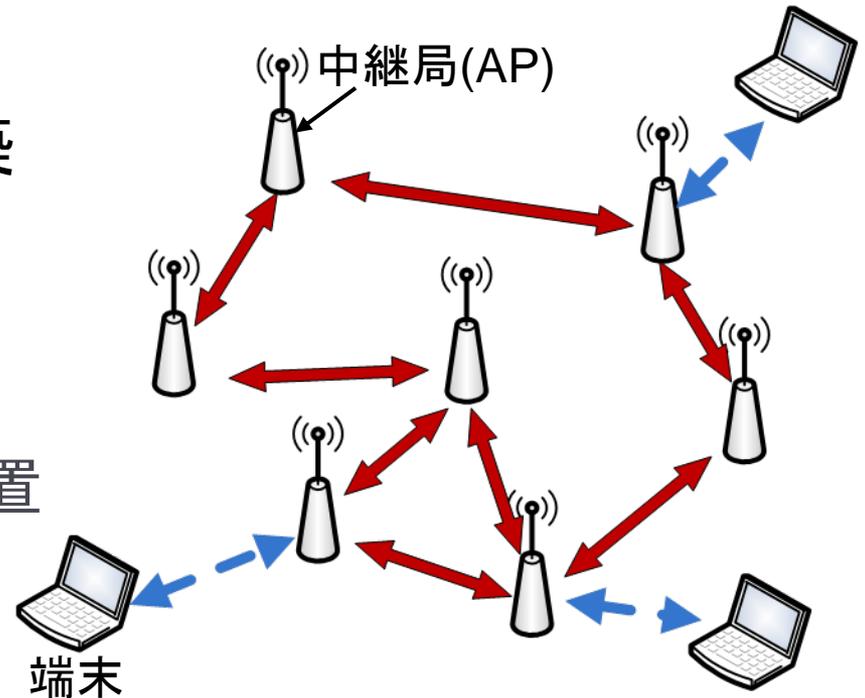
- [1] 伊藤将志, 鹿間敏弘, 渡邊晃: 無線メッシュネットワークにおけるゲートウェイ分散方式の提案と評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2008) シンポジウム論文集, Vol.2008, No.1, pp.1873-1879, Jul.2008
- [2] Lakshmanan, S., Sundaresan, K. and Sivakumar, R.: On Multi-Gateway Association in Wireless Mesh Networks, WiMesh 2006; Second IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks, pp.64-730 (2006).

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 渡邊研究室
永井順也

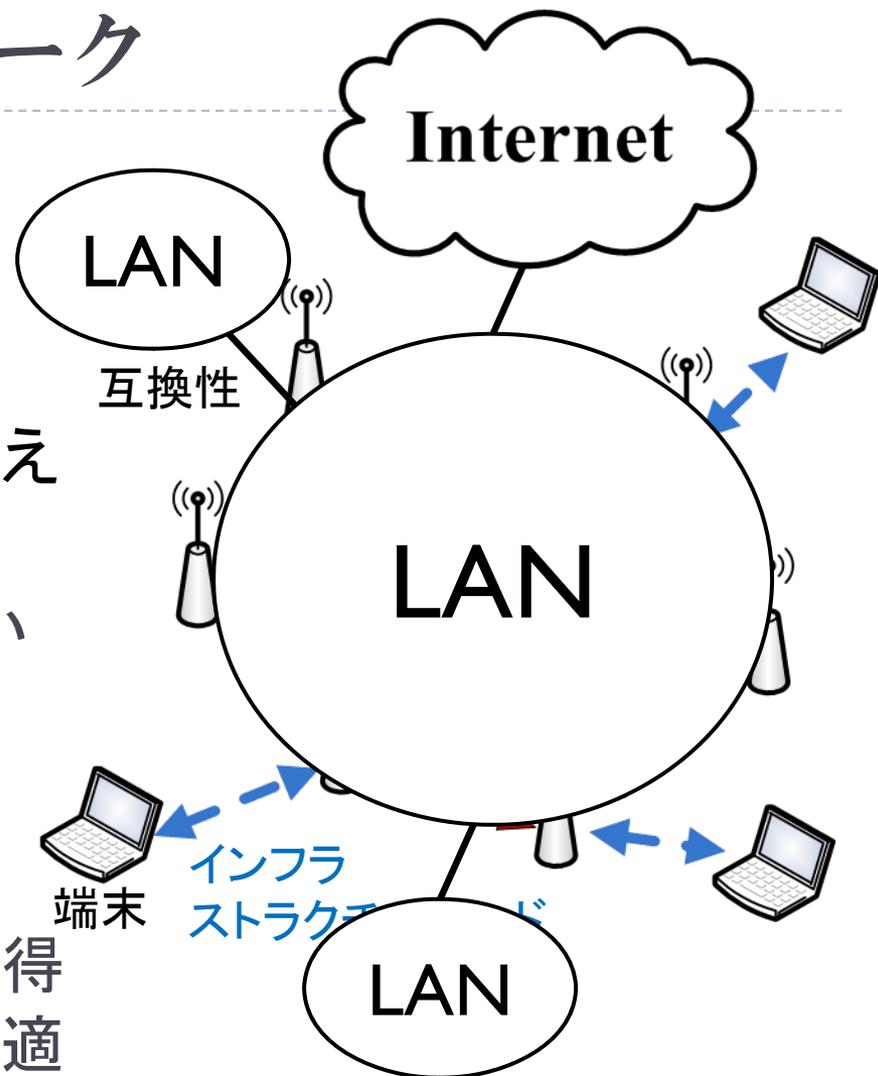
研究背景：無線メッシュネットワーク

- ▶ 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)

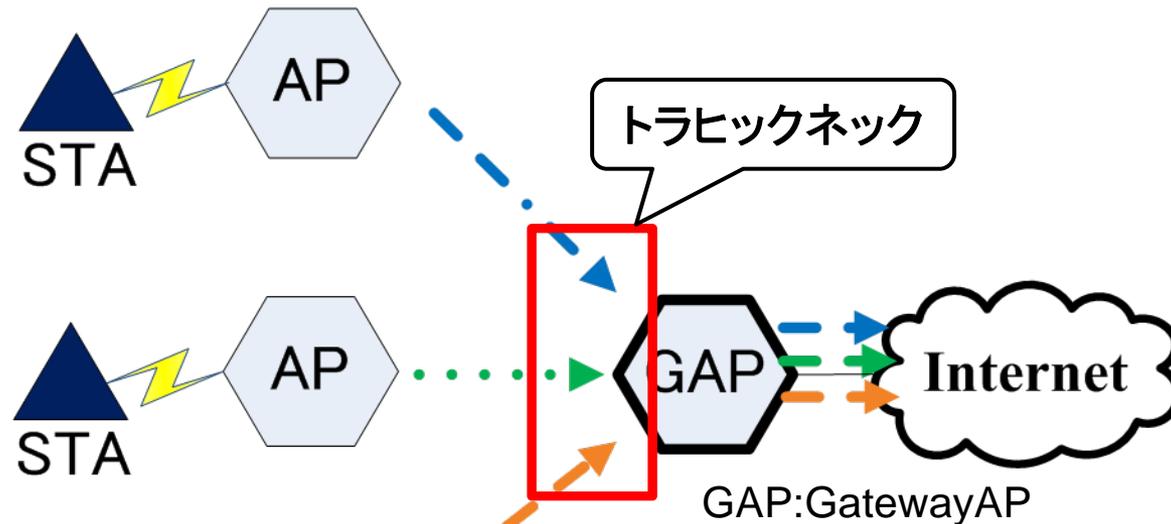


インフラとしての
利用

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

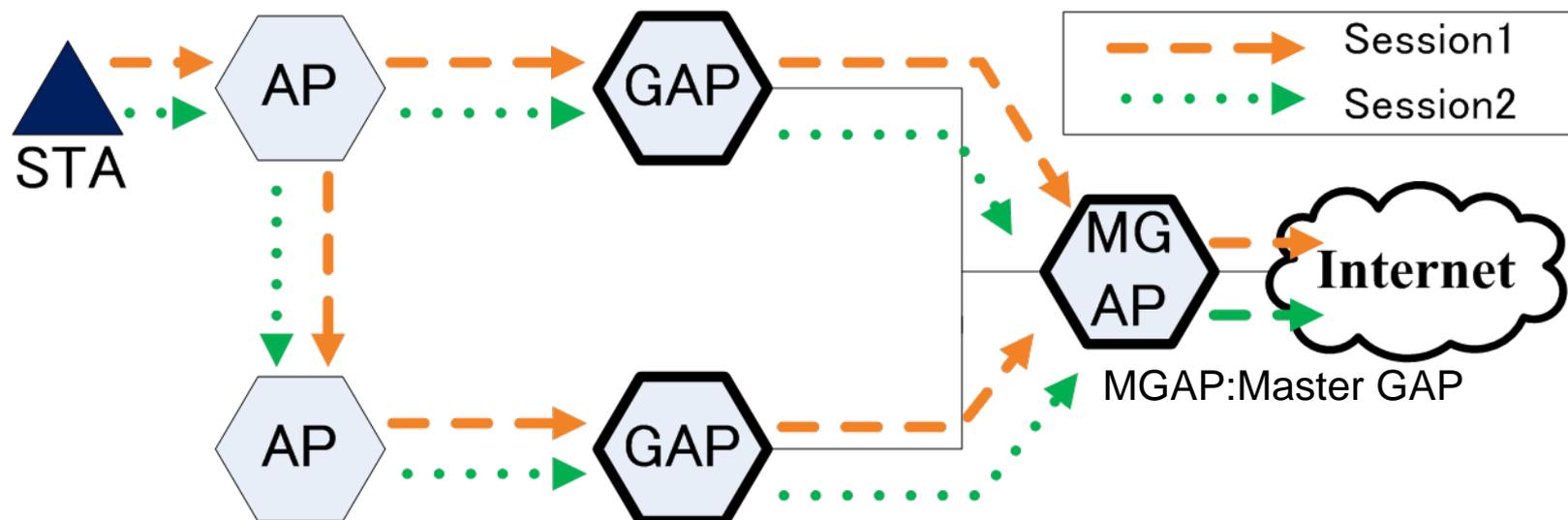
- ▶ 無線メッシュネットワークのGAP(Gateway AP)が単一の場合、無線部分がトラヒックネックになってしまう問題があった



GW多重化の研究

既存技術：GW多重化

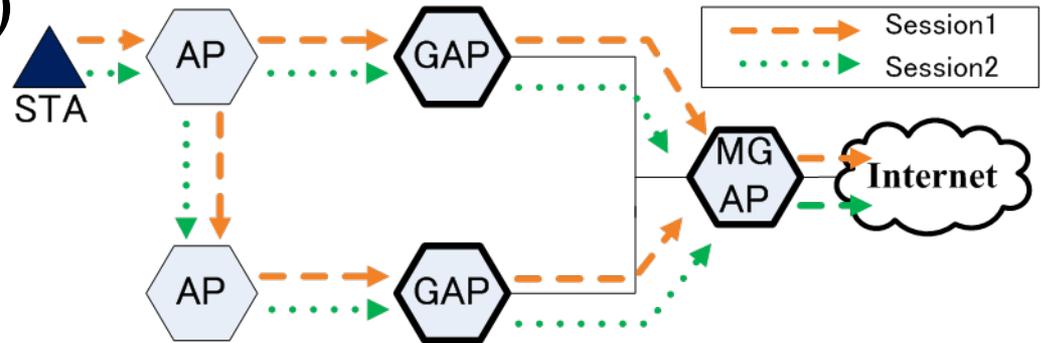
- ▶ 無線メッシュネットワークのGW:GAPを多重化
- ▶ GAPを統括する装置としてMGAP(Master GAP)を導入. GAPとは有線でつなぐ
- ▶ MGAPは各GAPから送られたパケットの順列制御などを行う
- ▶ MGAPが外部ネットワークとの接続ポイントになる



既存技術：GW多重化

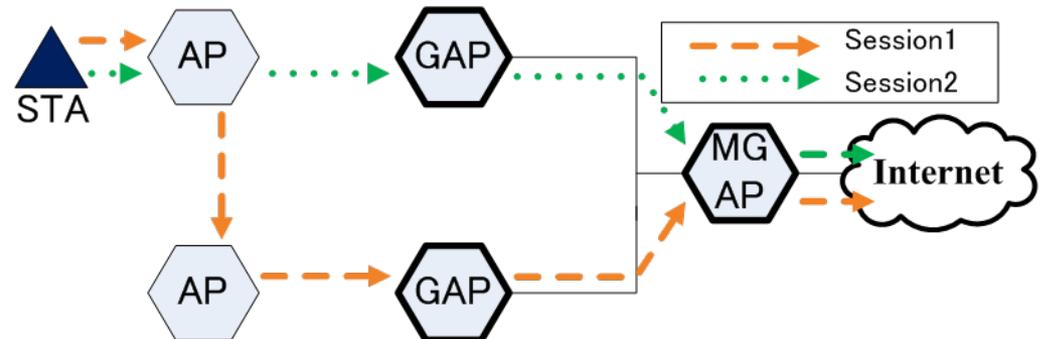
▶ パケット分配方式 例：MGA(MultiGateway Association in Wireless Mesh Network)

- ▶ 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



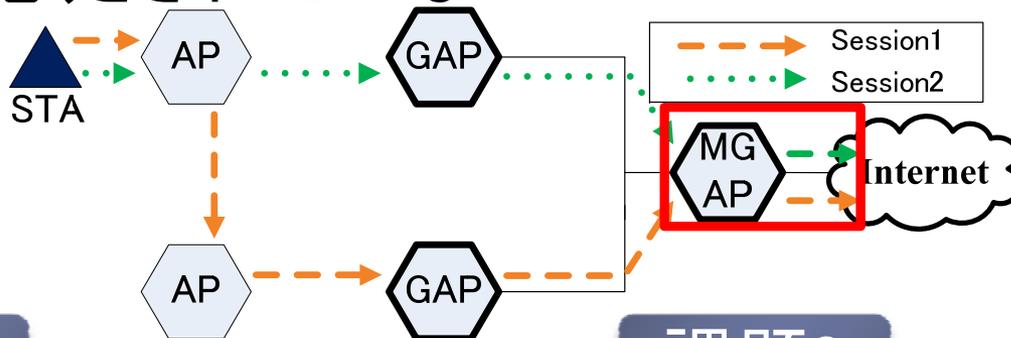
▶ セッション分配方式 例：WAPL(Wireless Access Point Link)

- ▶ 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

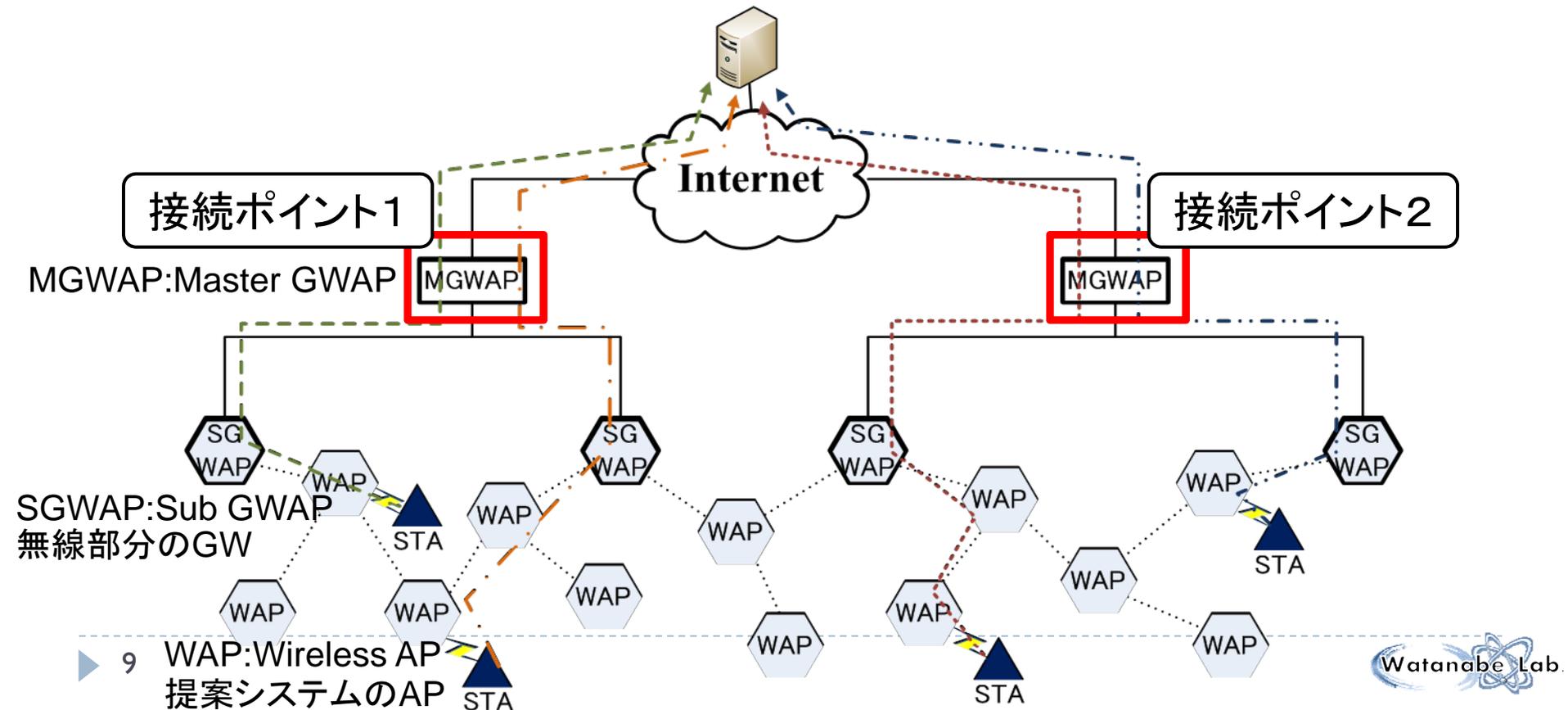
- ▶ 接続ポイントが故障すると通信不能になる

提案

接続ポイントを多重化することで解決

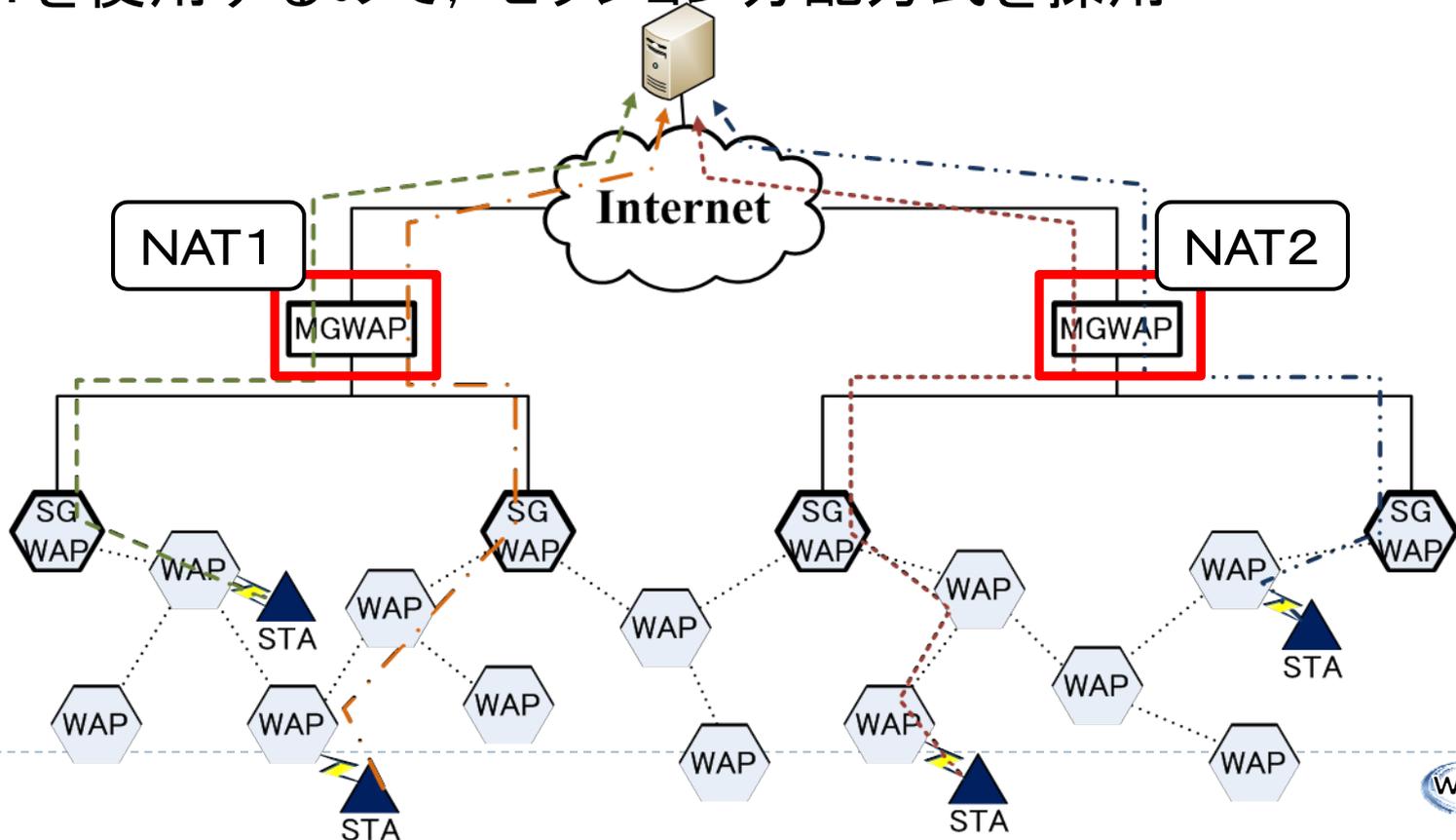
提案システム概要

- ▶ 本提案システムはWAPLを基にした方式
- ▶ 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



提案システム概要

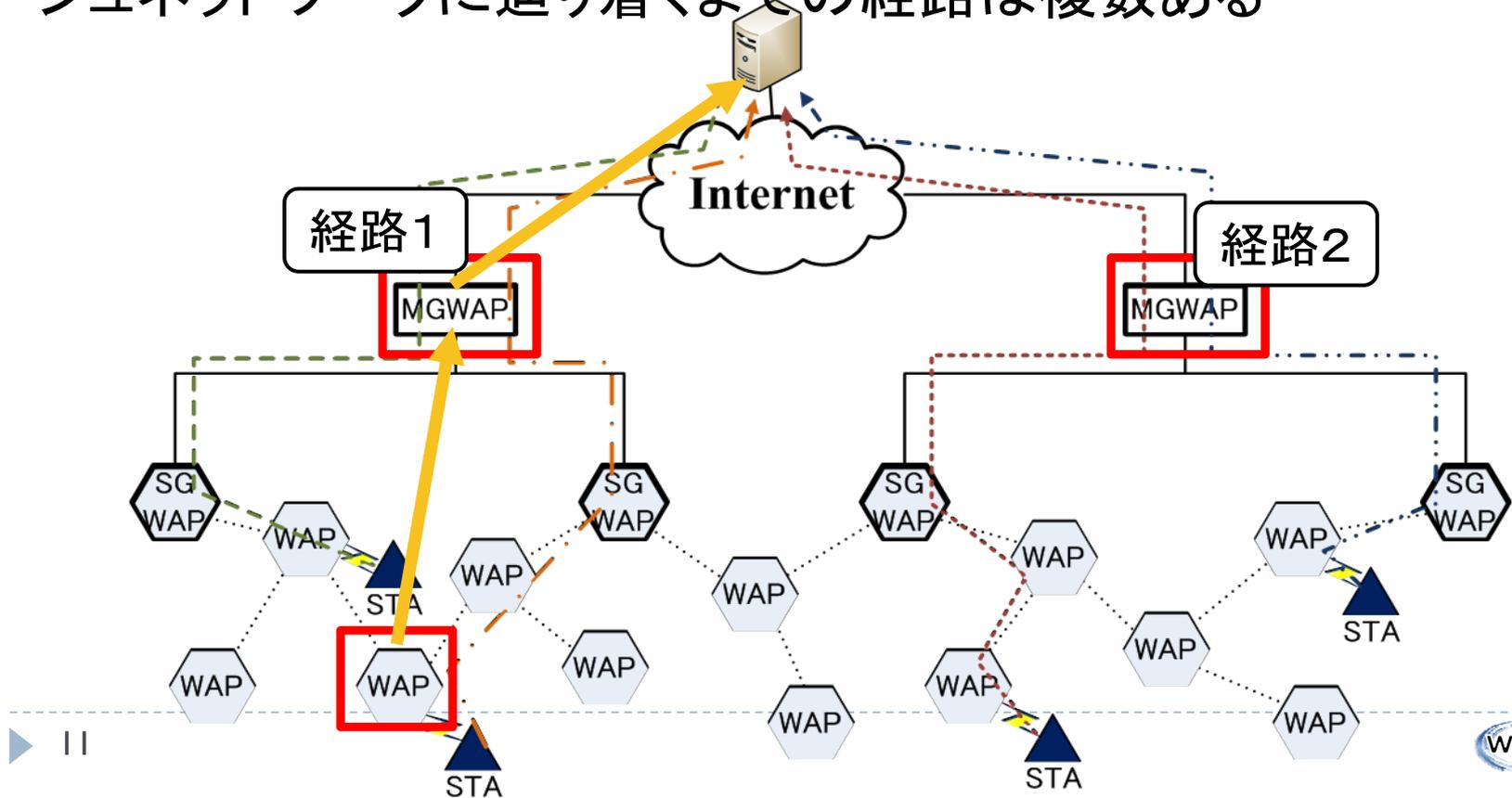
- ▶ MGWAPはNAT機能を持つ. 無線メッシュネットワーク内の端末はプライベートアドレスであり, 同一のネットワークアドレスを保持する
- ▶ NATを使用するので, セッション分配方式を採用



提案システム概要

NATが無い場合

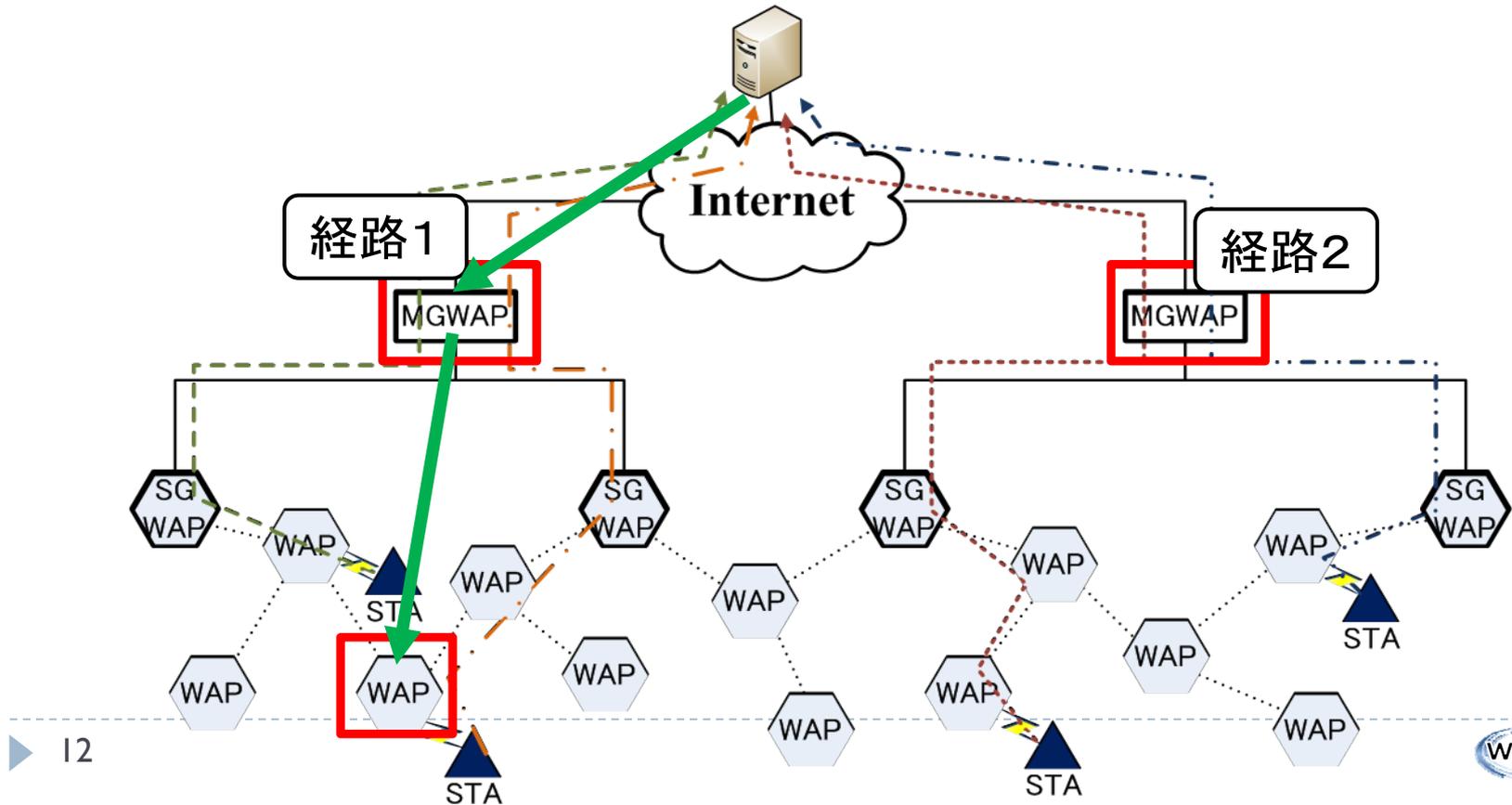
- ▶ 全てのWAPがグローバルアドレスを持つことになる
- ▶ 外部サーバが下図のWAPにパケットを返信する時、無線メッシュネットワークに辿り着くまでの経路は複数ある



提案システム概要

NATが無い場合

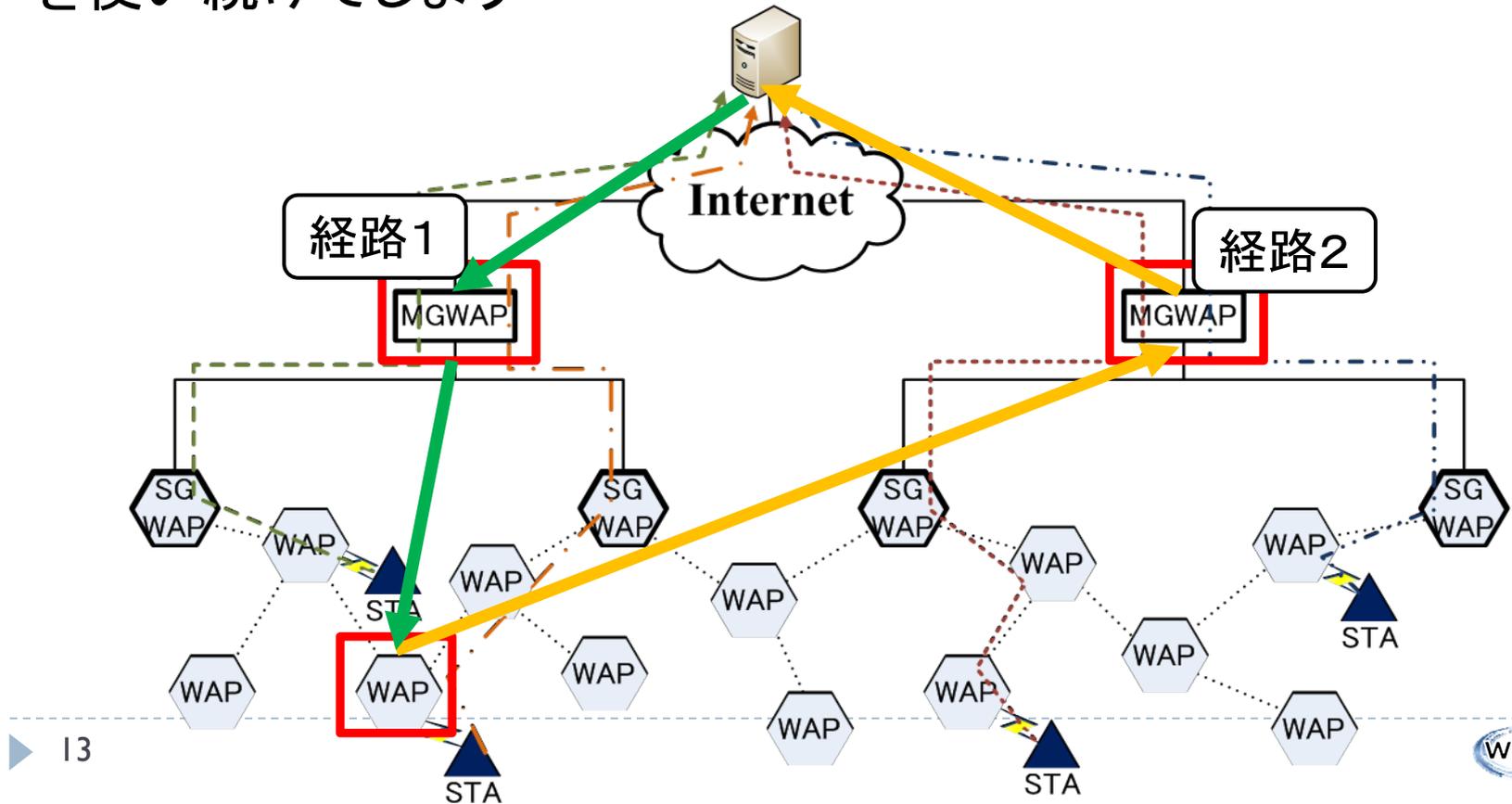
- ▶ 外部サーバはWAPのグローバルアドレスを指定して送信
- ▶ ルーティングによって経路が確立するが、



提案システム概要

NATが無い場合

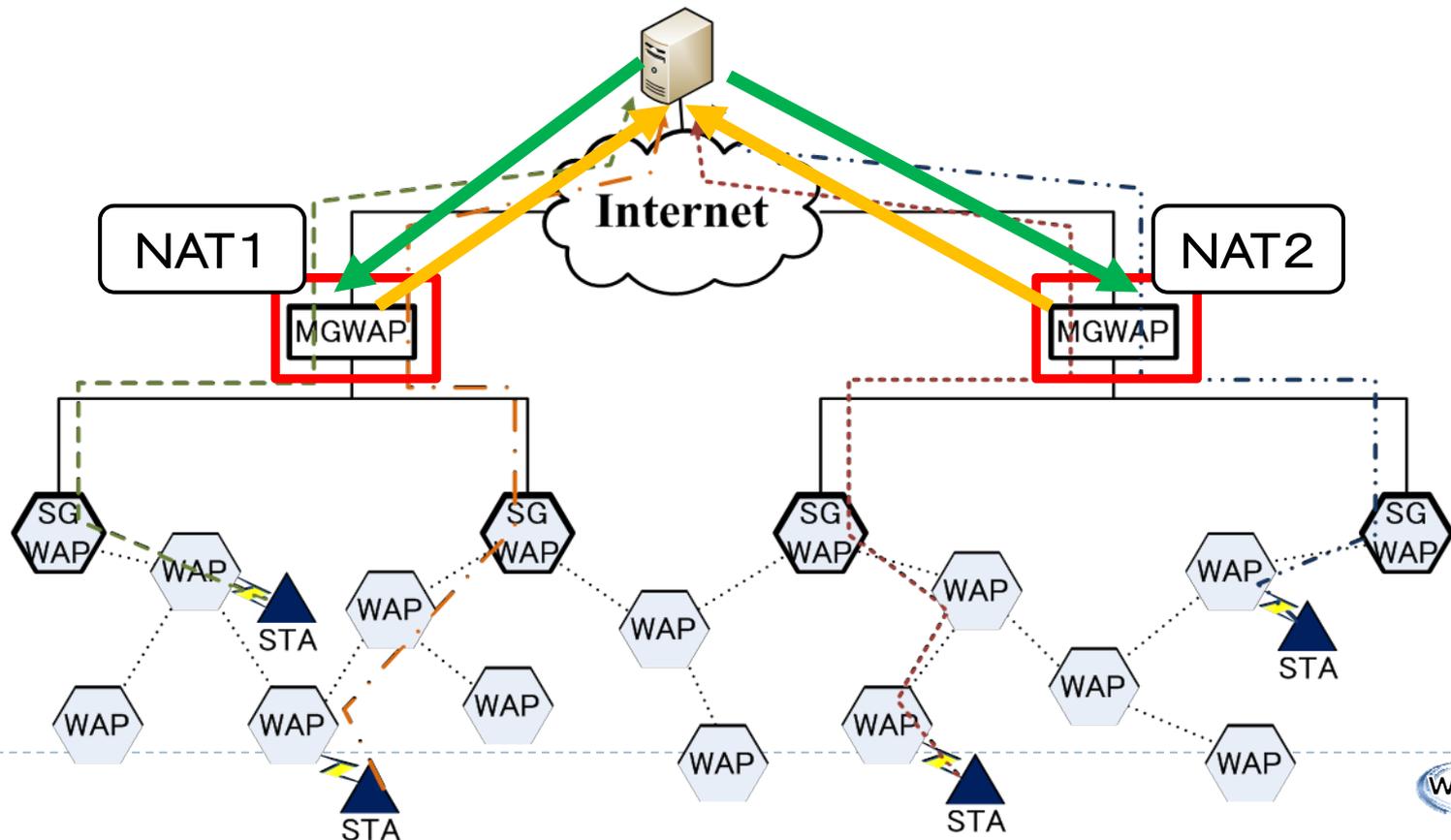
- ▶ WAPが次に別の経路で通信しようとしても、外部サーバはWAPのグローバルアドレス宛てに送信するだけなので、以前の経路を使い続けてしまう



提案システム概要

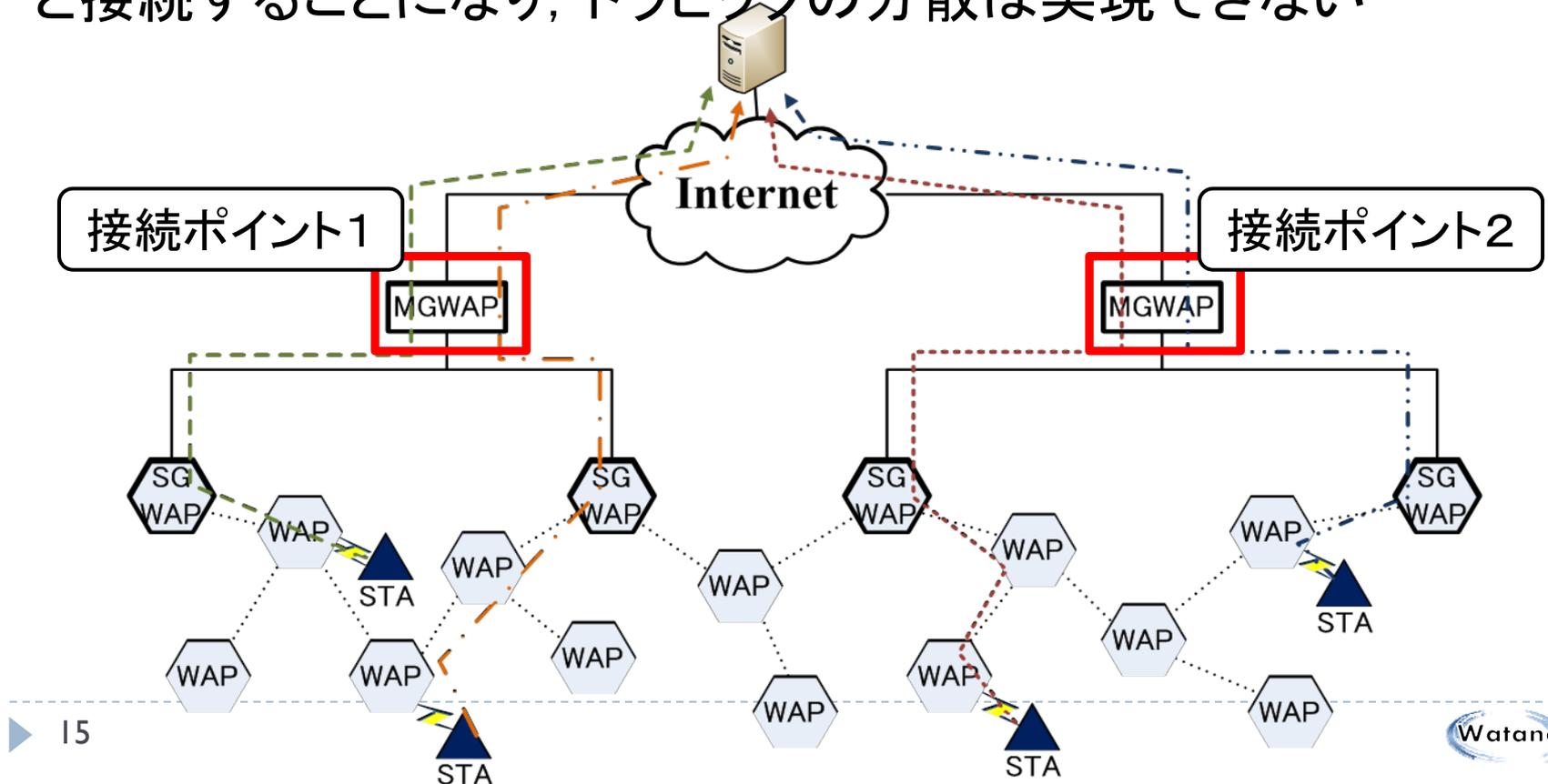
NATがあれば

- ▶ MGWAPがNATであれば，外部端末は返信パケットをNAT宛てに送ればよい



提案システム概要：外部ネットワークとの通信

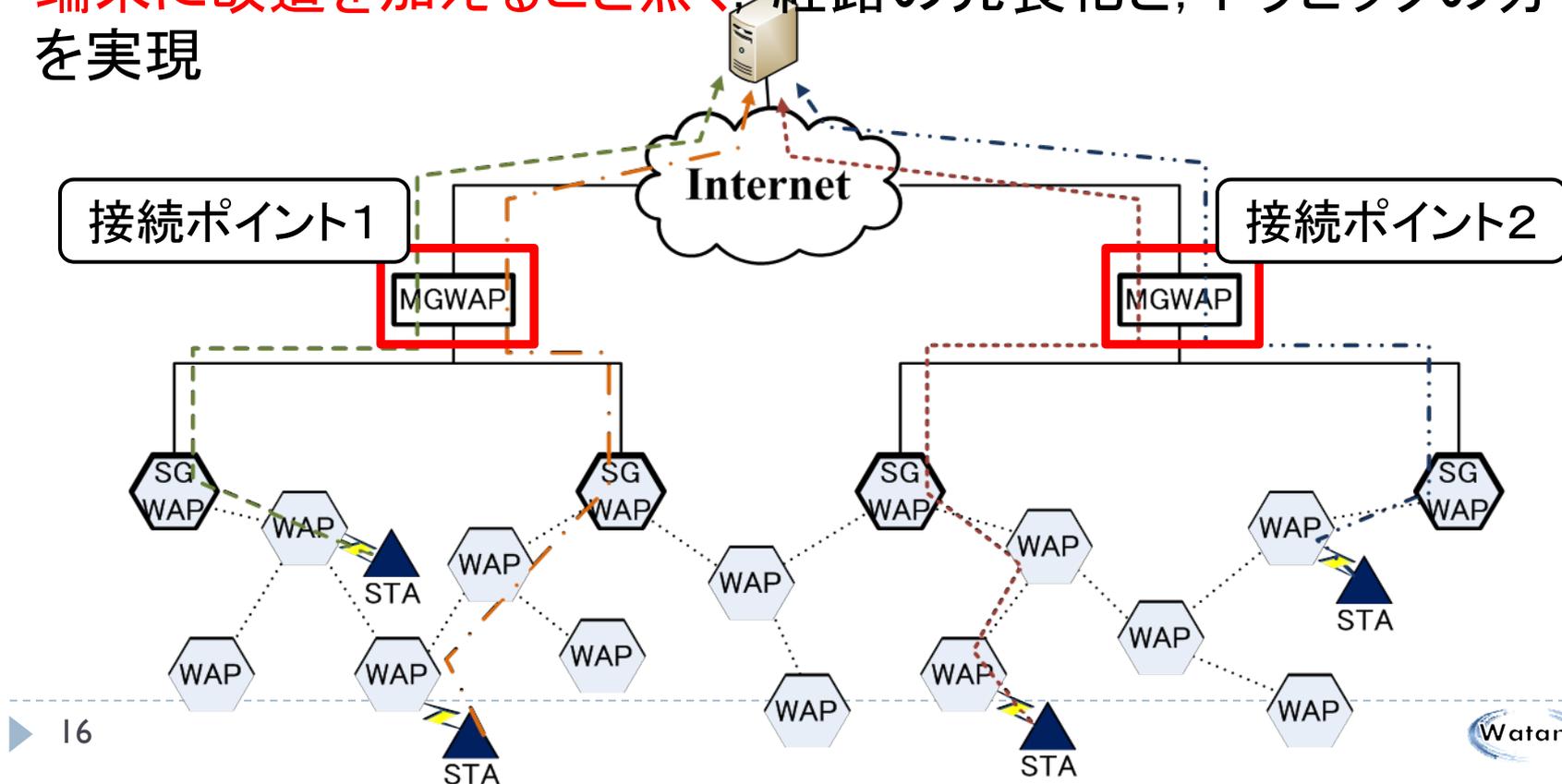
- ▶ 端末から見ると複数のDGW(Default GW)が存在する
- ▶ 一般的に端末はDGWを1つしか選択できない
- ▶ 複数のDGWを指定できても、優先順位が最も高いDGWばかりと接続することになり、トラフィックの分散は実現できない



提案システム概要：外部ネットワークとの通信

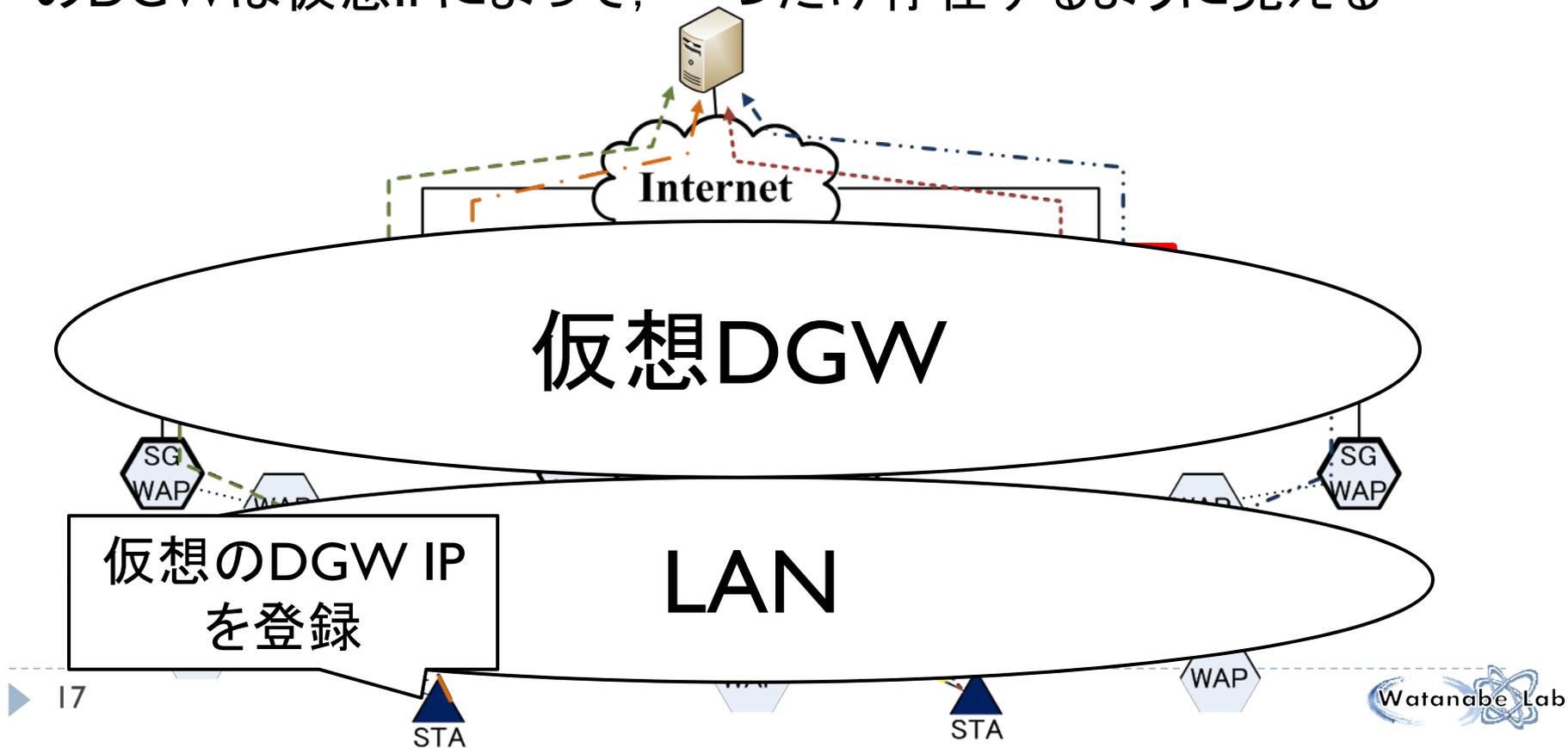
解決策

- ▶ 提案システムは、無線メッシュネットワークが最適DGWを選択することで、セッションごとに最適なDGWを選択可能
- ▶ 端末に改造を加えることなく、経路の冗長化と、トラフィックの分散を実現



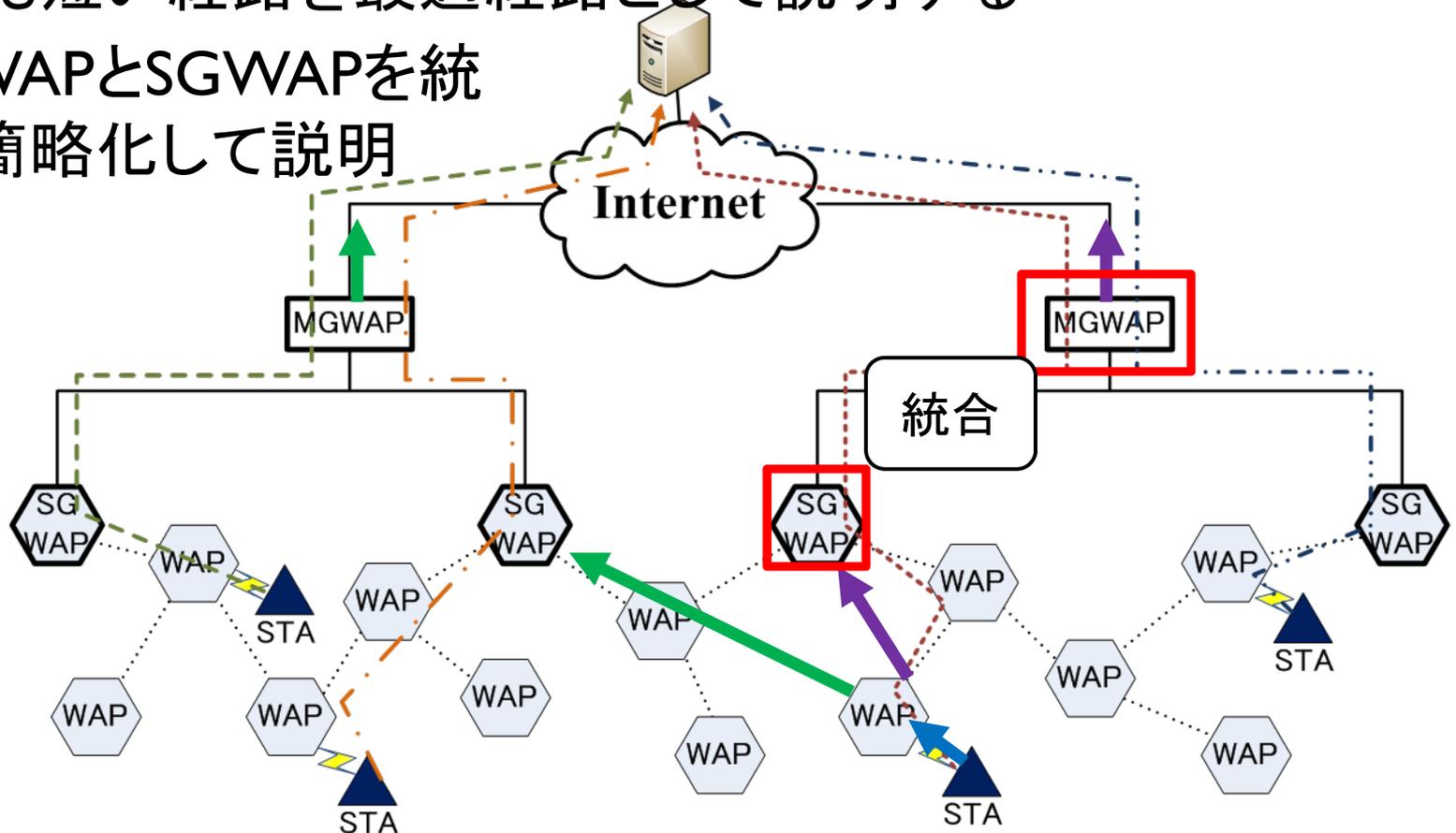
提案システム概要：外部ネットワークとの通信

- ▶ 提案システムに参加する端末のデフォルトゲートウェイのIPアドレスには、**仮想のIP(固定値)**を登録
- ▶ 端末から見ると、無線メッシュネットワークは普通のLAN、複数のDGWは仮想IPによって、一つだけ存在するよう見える



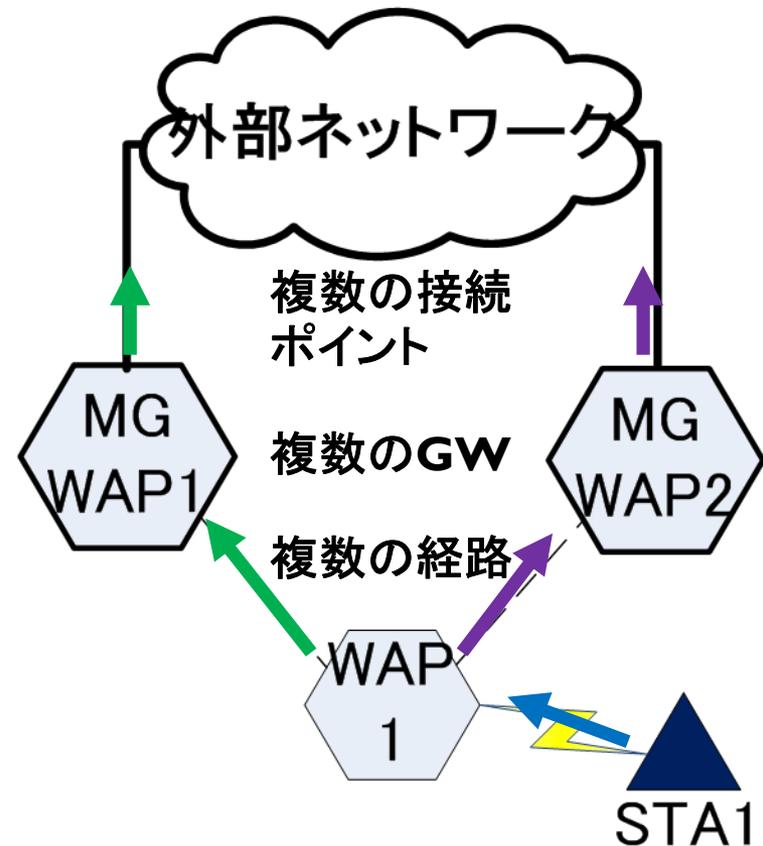
外部ネットワークへの最適経路の生成

- ▶ 今回は説明の簡略化のために、ラウンドトリップタイムが最も短い経路を最適経路として説明する
- ▶ MGWAPとSGWAPを統合，簡略化して説明



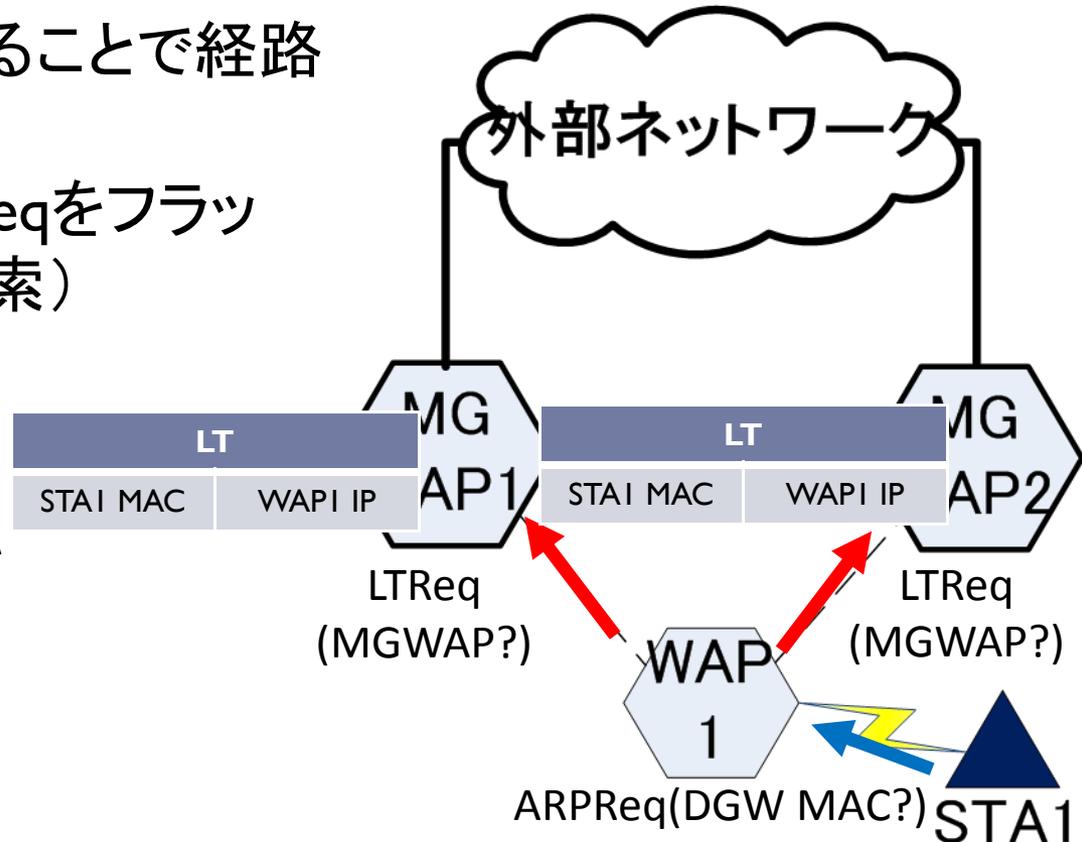
外部ネットワークへの最適経路の生成

- ▶ 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

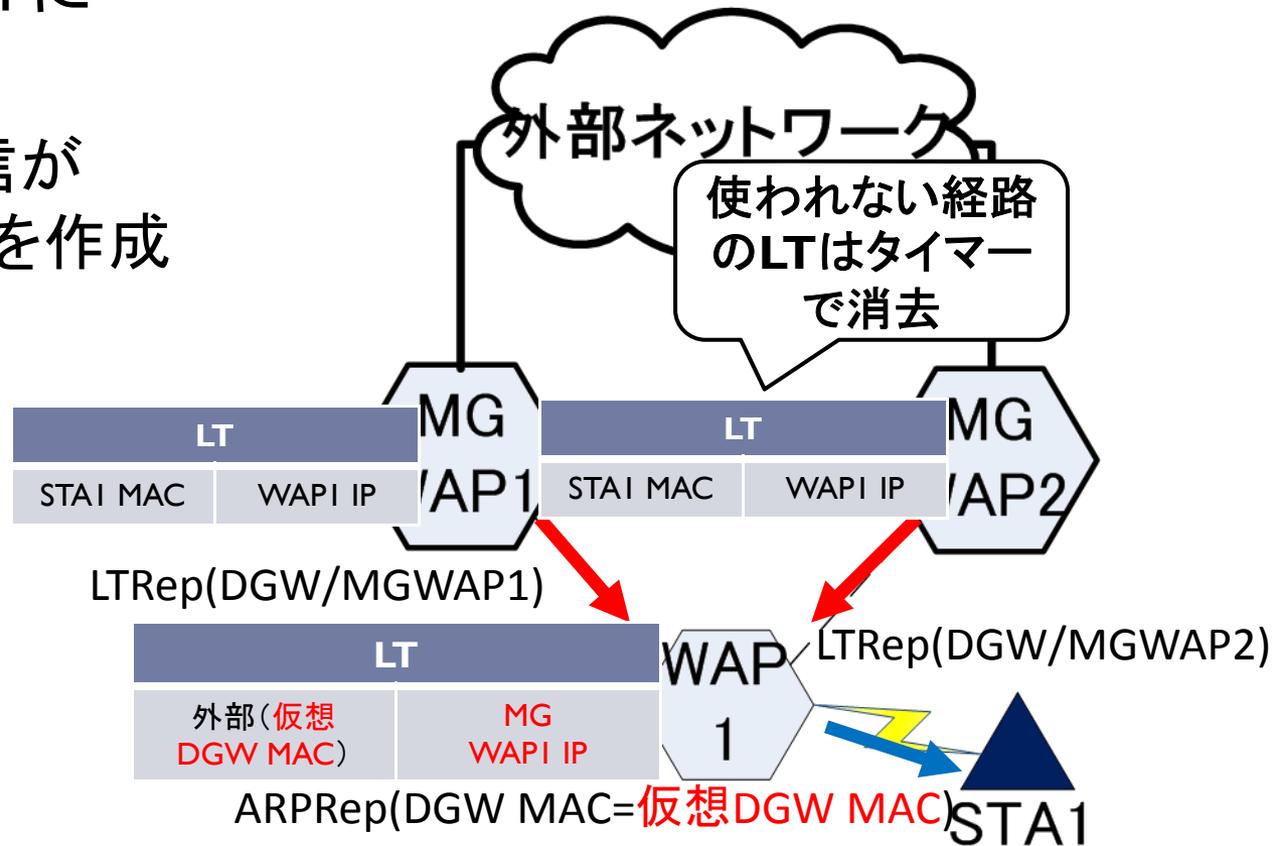
- ▶ 提案システムではLTというWAP/配下端末の対応表を作ることで経路生成を行う
- ▶ ARPをトリガとしてLTReqをフラッディング(最適経路探索)
- ▶ LTReqを受信したMGWAPはLTにWAPと配下のSTAの対応を記述
- ▶ LTReqがMGWAPを探索しているので



dst	Src	Data
ブロードキャスト	STAI	仮想DGW IP

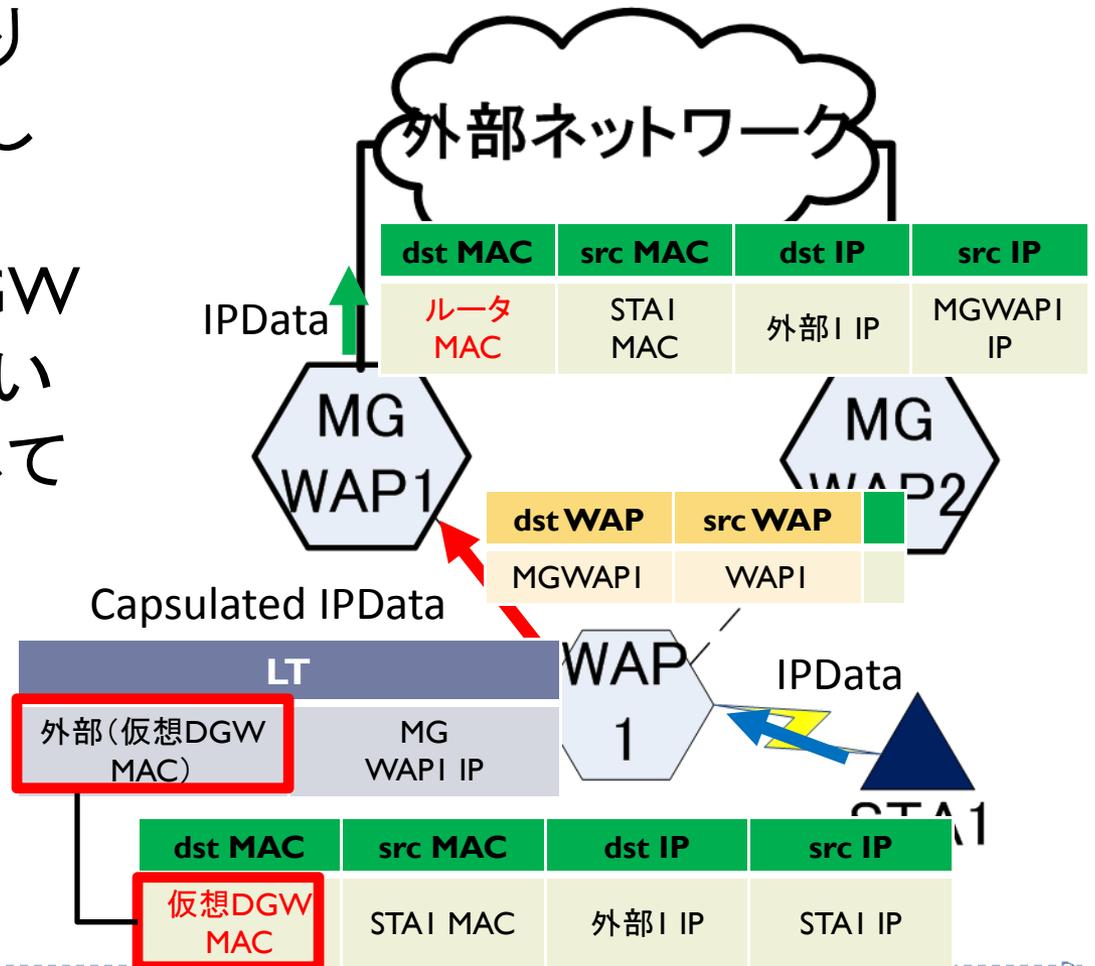
最適経路の生成

- ▶ 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
- ▶ 最後にWAPは配下端末にARPrepを返信する



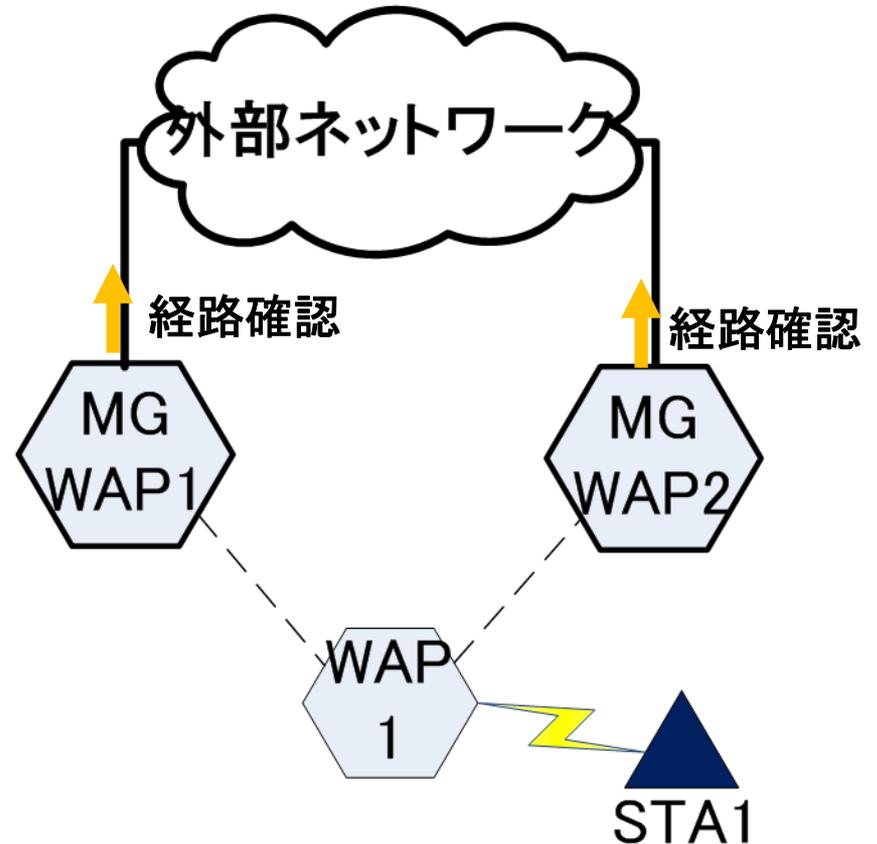
パケット中継

- ▶ 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)



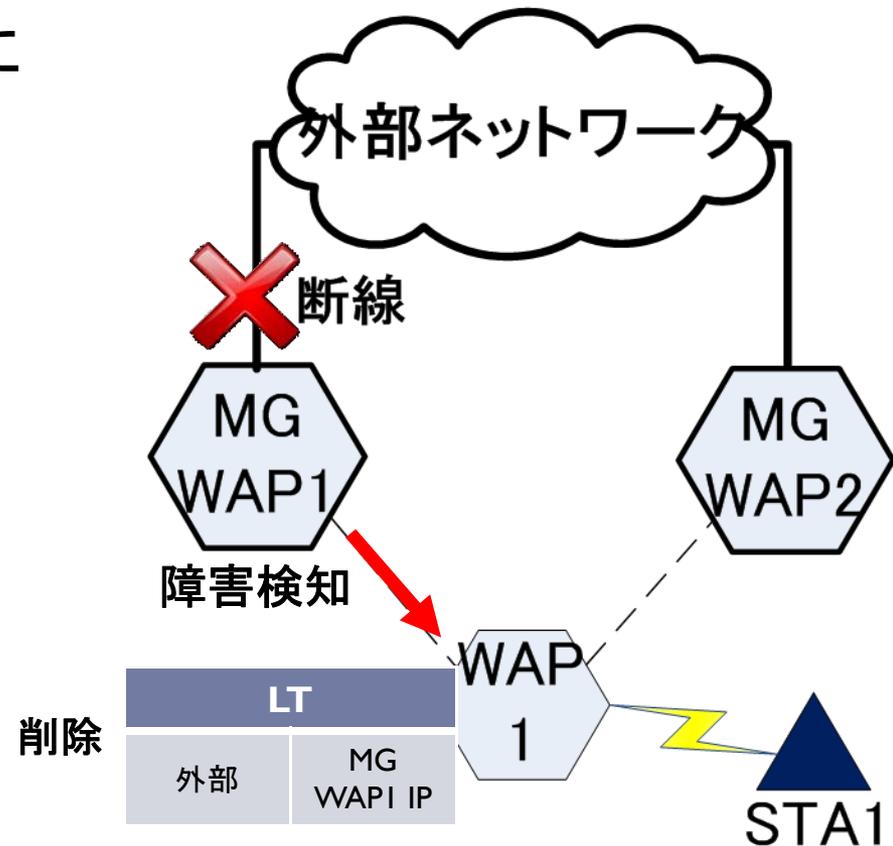
障害検知

- ▶ 提案システムの目的の一つは障害対策のための経路の冗長化
- ▶ MGWAP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
 - ▶ 断線の物理的検知
 - ▶ 外部サーバとのKeepAliveなどを検討中



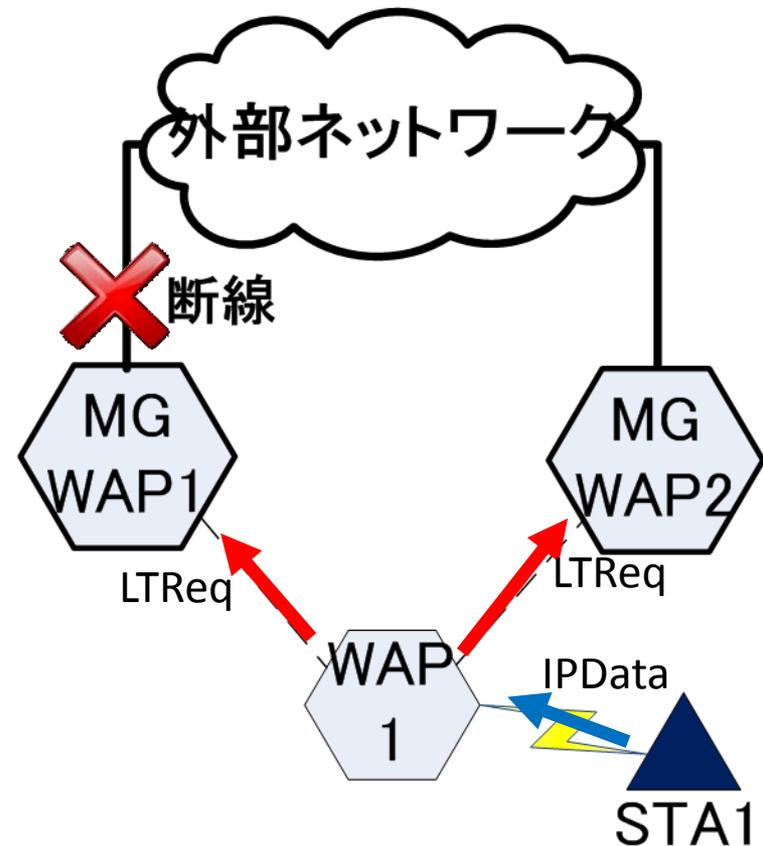
障害発生時の動作

- ▶ 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



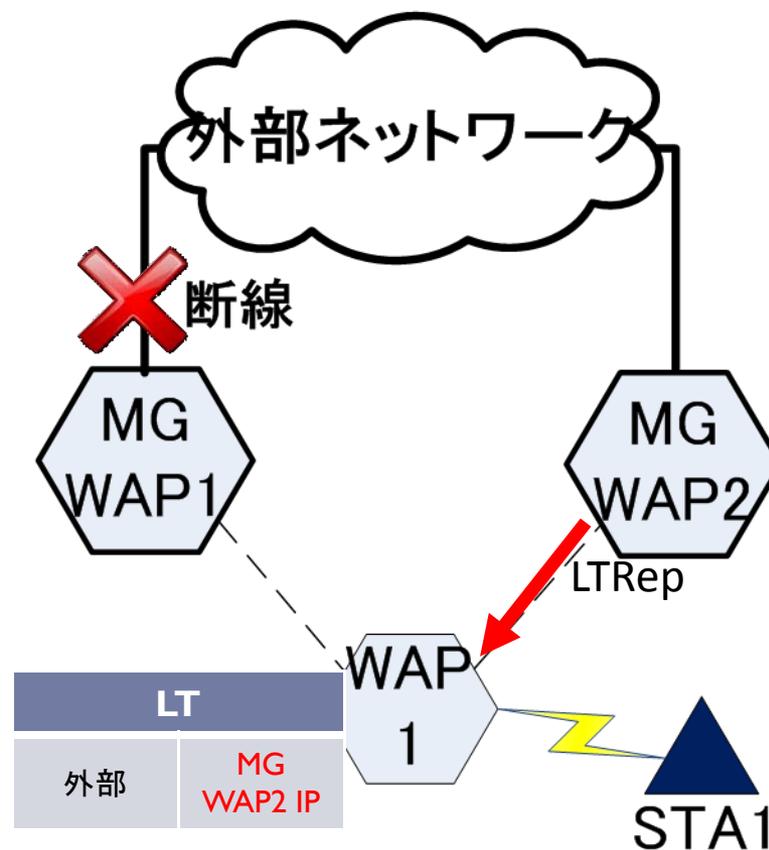
障害発生時の動作

- ▶ 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



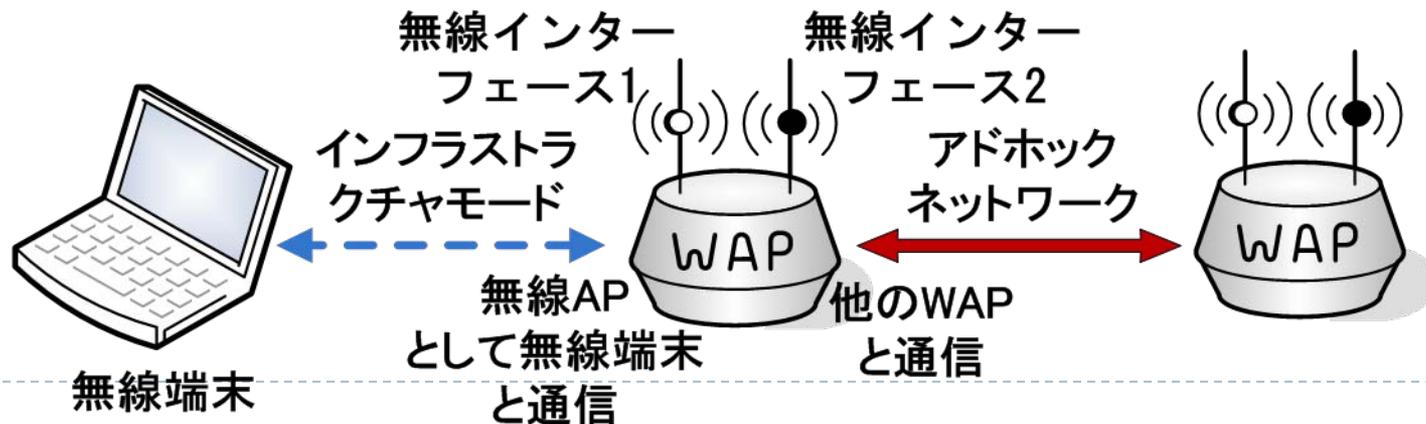
障害発生時の動作

- ▶ 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

- ▶ 提案システムはWAPL(Wireless Access Point Link)を基に研究を行っている
- ▶ 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
 - ▶ シミュレーションにより有用性が証明されている



実装

- ▶ 提案システムには比較対象が無く、有用性を示すためには、実装を行い
 - ▶ 実際に動作する物を作成
 - ▶ 障害時の経路切り替えにかかる時間などを評価するのが有効と考えた

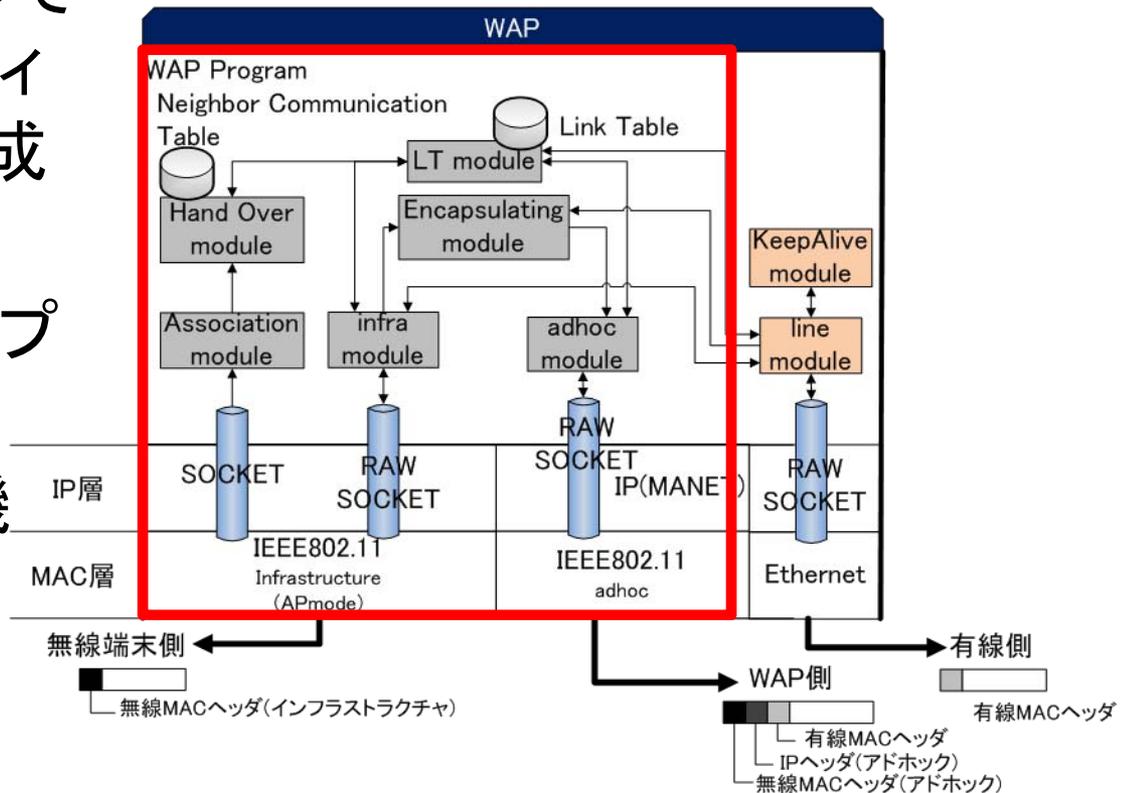
しかしまだ、安定した実装が完了していない

提案システムを実現するためにはWAPLの実装が不可欠

提案システム実現の礎として、WAPLの実装を行った

実装（モジュール構成）

- ▶ WAPはノート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
- ▶ 現在はWAPとしての機能まで実装し動作を確認



むすび

提案

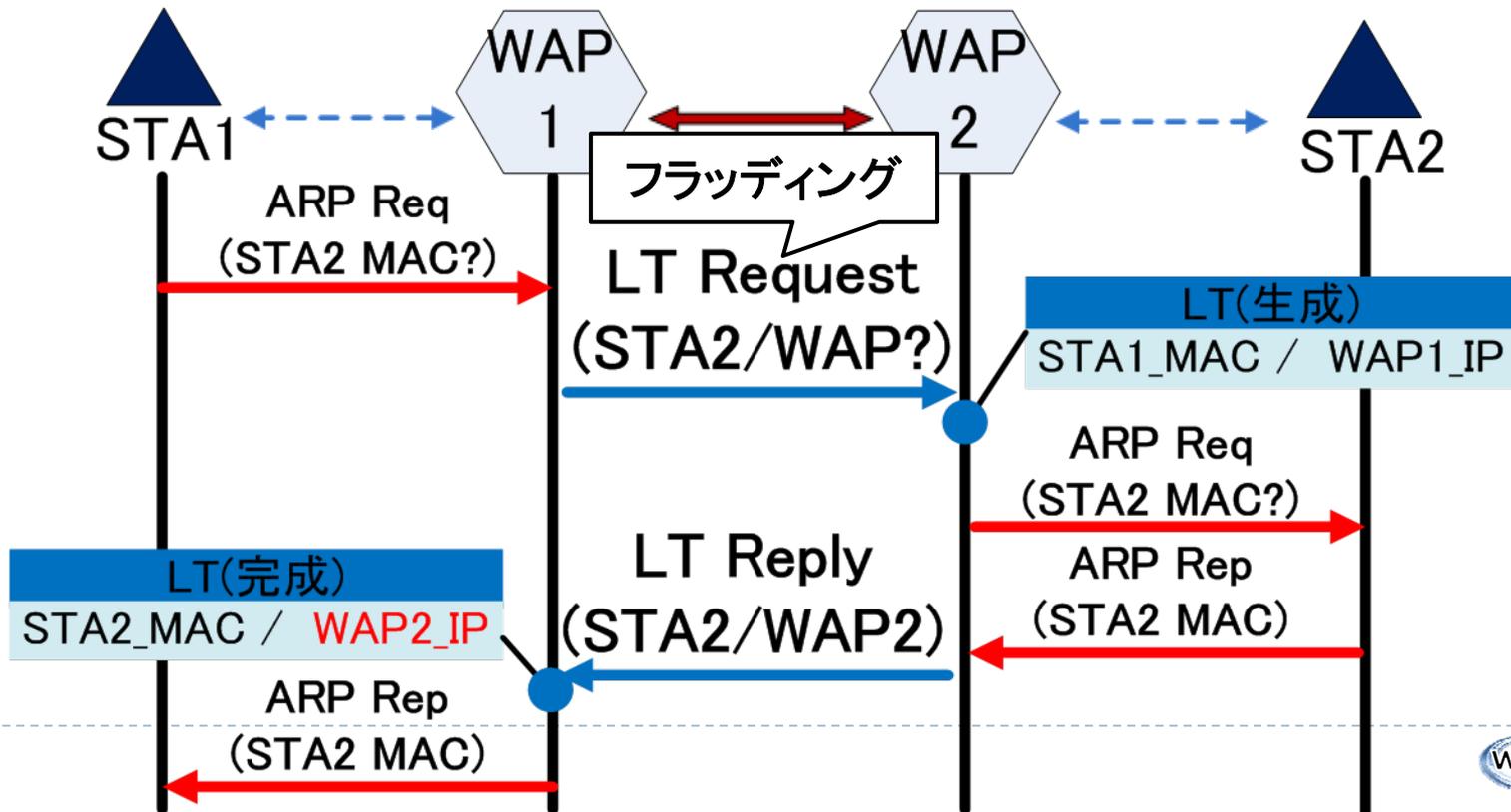
- ▶ 無線メッシュネットワークにおける外部との接続ポイントを多重化し、無線メッシュネットワークが最適DGWを選択することで、トラヒックの分散と障害対策を行う手法を提案した
- ▶ 提案システム実現の礎として、提案システムの基であるWAPLの実装を行った

今後

- ▶ 安定したWAPの実装を完了し、研究を後輩へつなげる

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

