

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

目次

概要

- 1 はじめに
- 2 既存技術とその課題
 - 2.1 外部ネットワークとの接続
 - 2.2 ゲートウェイの二重化
- 3 提案システム
 - 3.1 要求仕様
 - 3.2 実現方法
 - 3.3 障害発生時の動作
 - 3.4 応用例
- 4 実装
- 5 むすび

謝辞

参考文献

研究業績

概要

現在, 一般的な無線 LAN の AP(アクセスポイント)同士の通信や外部ネットワークとの通信経路は有線で接続されている. WMN(無線メッシュネットワーク)は有線 LAN で接続していたアクセスポイント間をアドホックネットワークで接続することにより無線 LAN のバックボーンインフラを容易に構築することができる. WMN 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 WMN の GW(Gateway)が 1 台のみの場合, 外部へのトラフィックがその GW に集中し負荷がかかる. GW が故障した場合, 外部との全ての通信ができなくなるなどの課題がある. これら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することで, トラフィック分散だけでなく障害対策にも有効な方式を提案する.

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]-[10]。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 は一般端末のリソースを消費するというのではなく、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(Gateway)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、異常時の経路確立手段などについて検討が必要である。最適 GW の選択方法に係わる WMN の研究には MGA(Multi Gateway Association)[10]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。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 は大きなトラフィックネックにはならない。しかし、これらの方式では 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。

異常時に経路を確立する手段としては Virtual Router Redundancy Protocol (以下 VRRP)[11]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。しかし、この方式ではスタンバイ 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という課題がある。

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トワー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。

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。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ものとする。GAP は NAT 機能を持ち, 外部ネットワークとの通信は必ず WMN 内の無線端末から開始するものとする。

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[10]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 や DNS 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。さらに別の利点として 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。このような機能を実現できるのも, エンドノードの MAC アドレスがそのままフレームに含まれているためである。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。

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, 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。

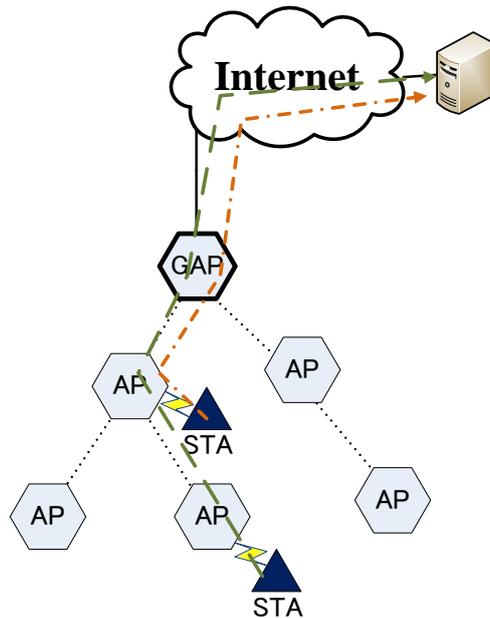


図 1 外部ネットワークとの接続方法

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検討されている[1][10]. 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, [10] 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. 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.

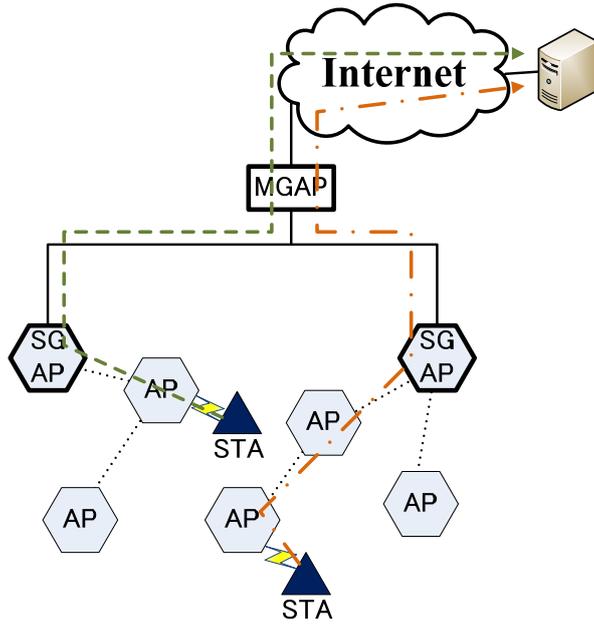


図 2 GW の二重化

3. 提案システム

3.1 要求仕様

本提案システムは 2 章で挙げた既存システム WAPL(Wireless Access Point Link)の機能拡張として定義したものである。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。図 5 に提案システムの概要を示す。図は提案システムによる無線メッシュネットワークを簡略化したものであるが、規模としては WAP 間の最大 hop 数 4~5hop, 無線の伝搬距離から WAP 間の距離は最長 80m 前後, 端末数 40~50 台を想定して研究を行っている。GW はトラヒックの分散を考慮して, 外側に離して設置している。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はなく, 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。なお図 3 は DGW となる MGWAP が 2 台の場合を想定してのものだが, 提案システムでは DGW は 2 つ固定ではなく複数台定義できる。

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 を経由するようになる必要がある。これは外部端末からの返信の経路を固定するための措置である。

MGWAP に NAT 機能が無い場合, 外部端末が返信する時は, エンドノード(図 STA)のグローバルアドレス宛にパケットを返信する。すると有線の経路生成により, ある一定の経路が作成され, パケットはその経路を通過してエンドノードに転送される。しかし, エンドノードが次のセッションで通信を行う際に, 無線メッシュネットワークが新たな経路, 新たな DGW を使って外部端末に転送したとき, 外部端末は以前の経路, 以前の DGW を使ってパケットを転送してしまう。これではトラヒックの分散が実現できない。この課題を解決するために MGWAP にはそれぞれ NAT 機能を導入する。外部端末は返信する時に送信元 MGWAP のアドレスに返信すれば良いので, セッションごとに返信経路を選択することが可能になる。

この仕様のため, パケットごとに GW を変更するパケット分配方式を採用することはできない。故に提案システムではセッション分配方式を採用している。

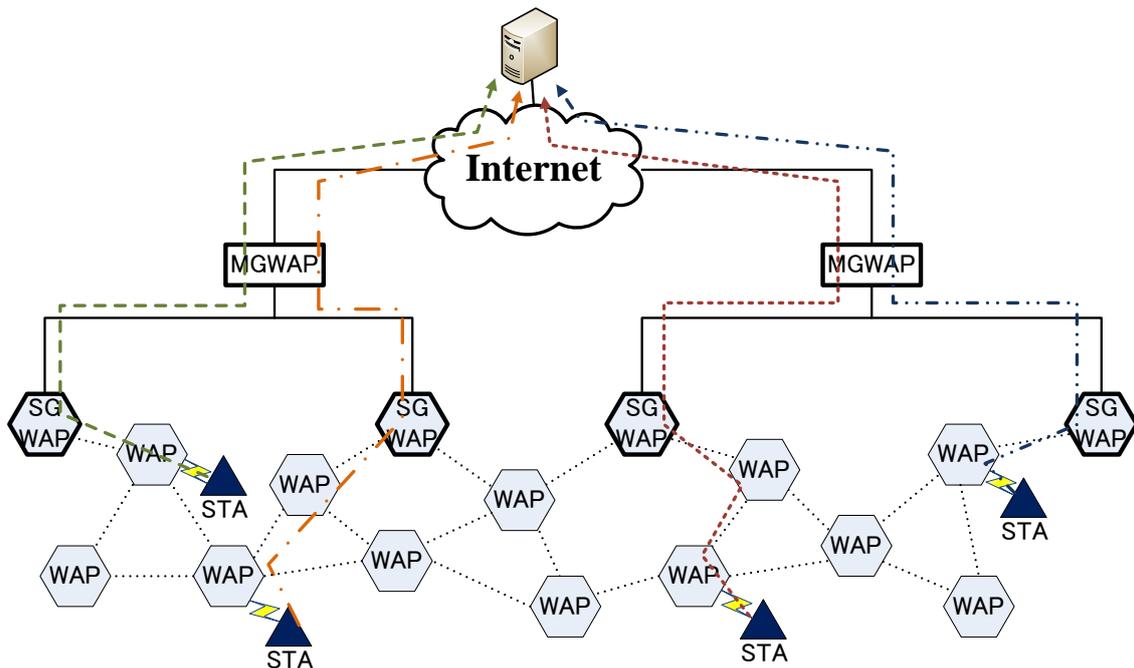


図 3 提案システム概要

3.2 実現方法

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。すると端末からは、あたかも WMN の DGW が 1 つだけしか存在しないように見える。実際には DGW は複数存在し、DGW の選択は WMN が行う。

インターネット上の外部端末と通信する際には、送信元 WAP が最適な SGWAP (GW) および MGWAP (DGW) を決定する必要がある。最適な GW の選択手法は様々考えられるが、今回は提案の簡略化のため、ラウンドトリップタイムが最も小さい経路の GW を最適な GW として選択する。そして今後の研究課題として、提案方式にトラヒックなどを考慮した最適経路選択手法を検討していく予定である。

次に提案システムの基本的な動作について説明する。WAP は LT (Link Table) と呼ぶ WAP と配下端末の対応表を交換することで経路生成を行う。LT の交換には LT メッセージと呼ぶパケットの通信で行う。LT メッセージには経路探索用の LT Req (LT Request) と、応答用の LT Rep (LT Reply) がある。LT Req はフラッディングで WMN 内全体に、LT Rep はユニキャストで宛先 WAP に送信される。LT メッセージは配下端末のパケットをトリガとして生成し、送信する。一度経路が生成されると、以後のパケットは LT を基に MAC 層まで含めてカプセル化されて転送される。ゆえに配下端末にとって、WAPL が提供する WMN は一般的な LAN に見える。

図 4 を用いて最適 DGW 選択の手順を説明する。配下端末が外部端末にパケットを送信する場合、ARP Req は端末に設定された DGW 宛に送信される。提案システムでは

仮想 DGW 宛となる。ARP Req の宛先が仮想 DGW であった場合、送信元 WAP は 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、そのままフラッディングを繰り返す。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。配下端末は、外部端末宛のパケットの宛先 MAC アドレスにこのアドレスを記述して送信する。WAP はこの仮想 MAC アドレスで LT を検索して宛先 WAP(SGWAP, MGWAP)を決める。DGW の MAC アドレスを仮想化することによって、途中で宛先 WAP(SGWAP, MGWAP)が途中で変更になったとしても、配下端末に変更を知らせることなく通信を継続できる。

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。

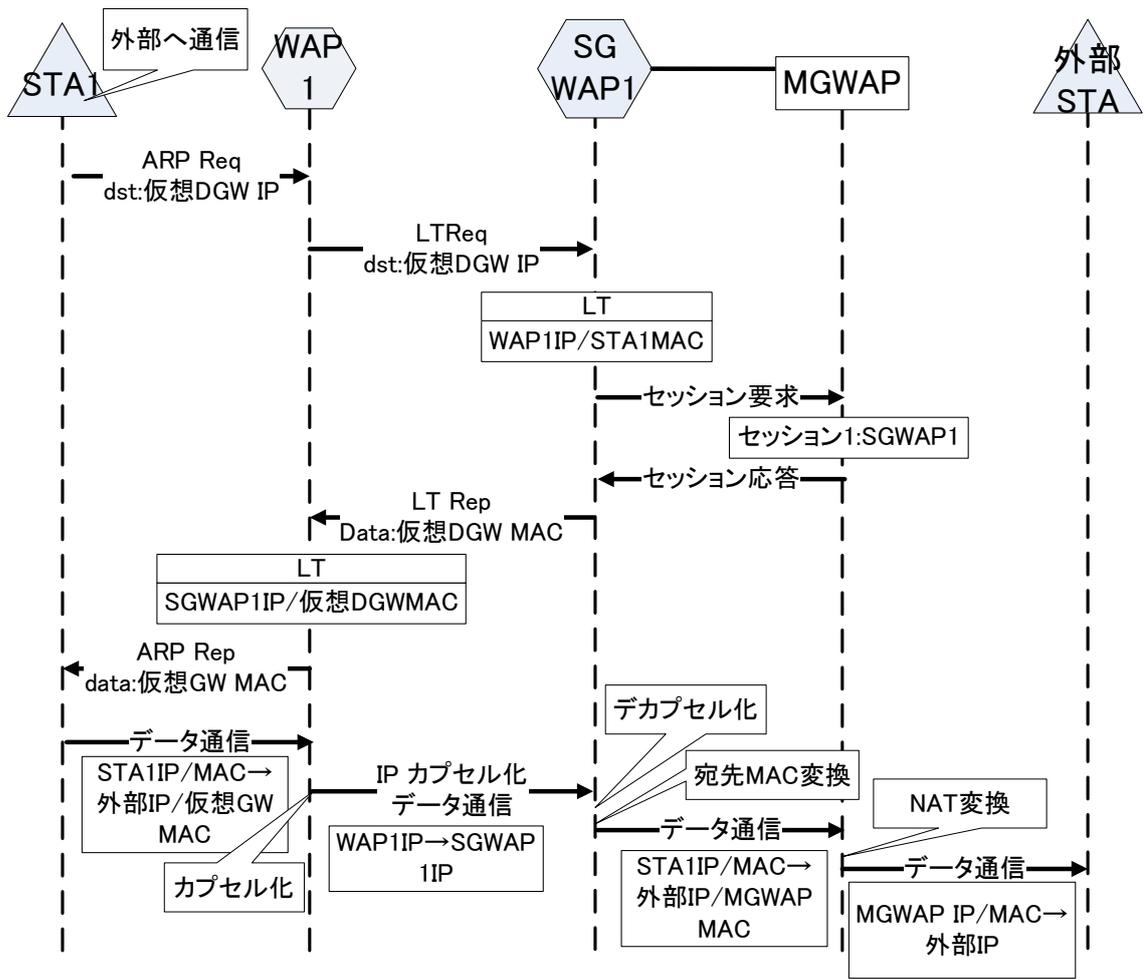


図4 提案システム動作シーケンス

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。

エンドノードが通信中に MGWAP や SGWAP に障害が発生すると，セッションが切れてしまうが，提案システムではエンドノードがセッションを張り直す際に，WMN が新たな経路を再構築することで障害を復旧する。

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。

3.4 応用例

本稿で提案する GW の多重化は提案システムだけでなく，センサネットワークや公衆無線 LAN，災害時の臨時インフラ構築など様々なネットワークに応用可能である。

センサネットワークで測定した情報を外部サーバに送る場合を考える。外部と通信する GW が 1 つだけの場合，GW からホップ数が増えるごとに速度とパケットロス率が高くなる。GW にはトラヒックが集中し，GW には負荷がかかる。提案システムにより GW を多重化した場合，センサネットワークのノードはホップ数が少ない方の GW を選択できる。GW にかかる負荷も分散できる。GW が故障しても，他のゲートウェイが生きていれば，経路を更新して通信を継続できる。

公衆無線 LAN に本提案システムを導入した場合，災害が発生して多数の機器が故障したとしても GW が 1 つでも生きていれば外部との通信を継続できる。すなわち障害に強いインフラが実現できる。災害時には情報の有無が死活問題であり，インフラの確保は重要な課題である。また，GW 以外は無線のみでネットワークを構築するので有線を引くコストを最小限に抑える事ができるため，無線 LAN の範囲を容易に拡張できる。

災害時の臨時インフラは，インフラが断絶した被災地域に，外部から持ってきた機器を用いて臨時のインフラ網を迅速に構築することができる。臨時インフラに提案システムを導入した場合，外部経路の接続点さえあれば，GW を複数確保でき，信頼性を向上できる。

4. 実装

本提案は本稿 2 章で挙げた既存技術の課題の解決という形での提案である。そのため本提案には比較対象となる研究が存在しない。提案システムの有用性を証明するためには、実装を行い、実際に動作を確認、各性能測定を行い、提案システムの有用性を示すのが最良と考えた。

提案システムは我々の研究室で提案している無線メッシュネットワーク WAPL を元にして研究を行っている。WAPL はこれまでシミュレーション上で有用性が証明されていたものの、実機での検証はなされていなかった。提案システムの実装には WAPL の実装が不可欠である。そこで、今回の提案内容実現の礎として、実機による WAPL を試作した。図 7 に試作 WAP の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、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 WAPL プログラムがキャプチャする。

WAPL 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。

Association module は MAC 層の変化を監視し、変化を検出すると Hand Over module へ通知する。Neighbor Communication Table には近隣の通信情報を格納する。Hand Over module は配下端末の移動を検知したとき、ハンドオーバ処理を行う。

現在 WAP としての機能は、ほぼ実装済みである。Hand Over module を作成中であり、これが完成すればハンドオーバも可能となる。今後はハンドオーバを実現後、性能測定を行う。その後 line module, Keep Alive module を作成することで SGWAP, MGWAP を実装する予定である(図 6)。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。

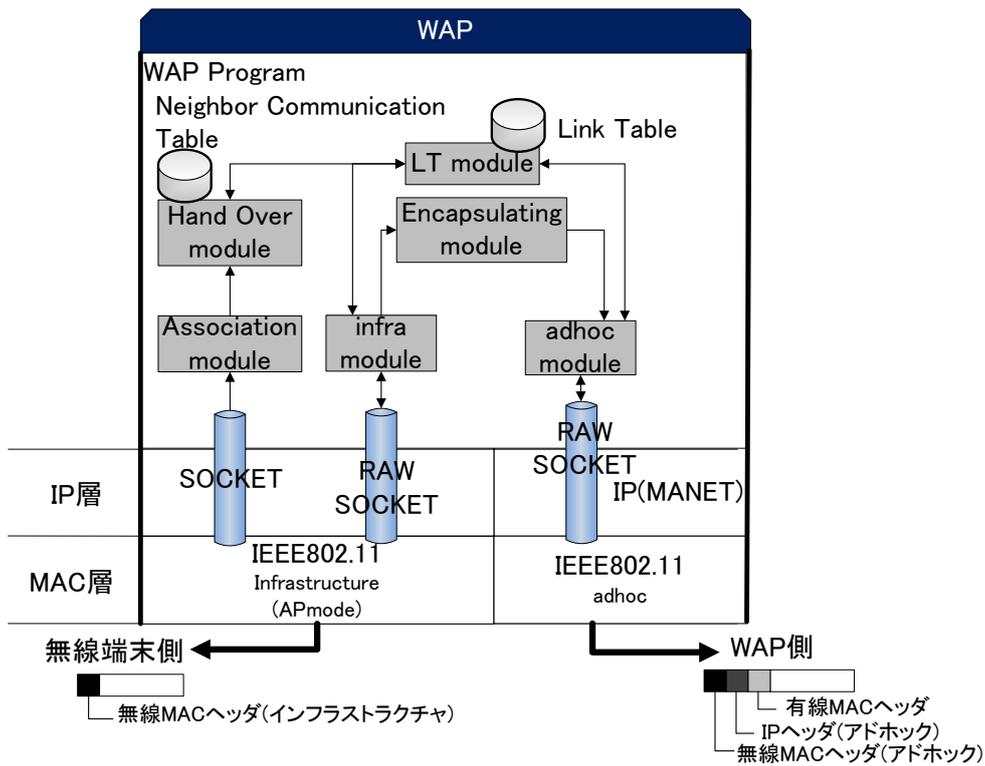


図 5 WAP のモジュール構成

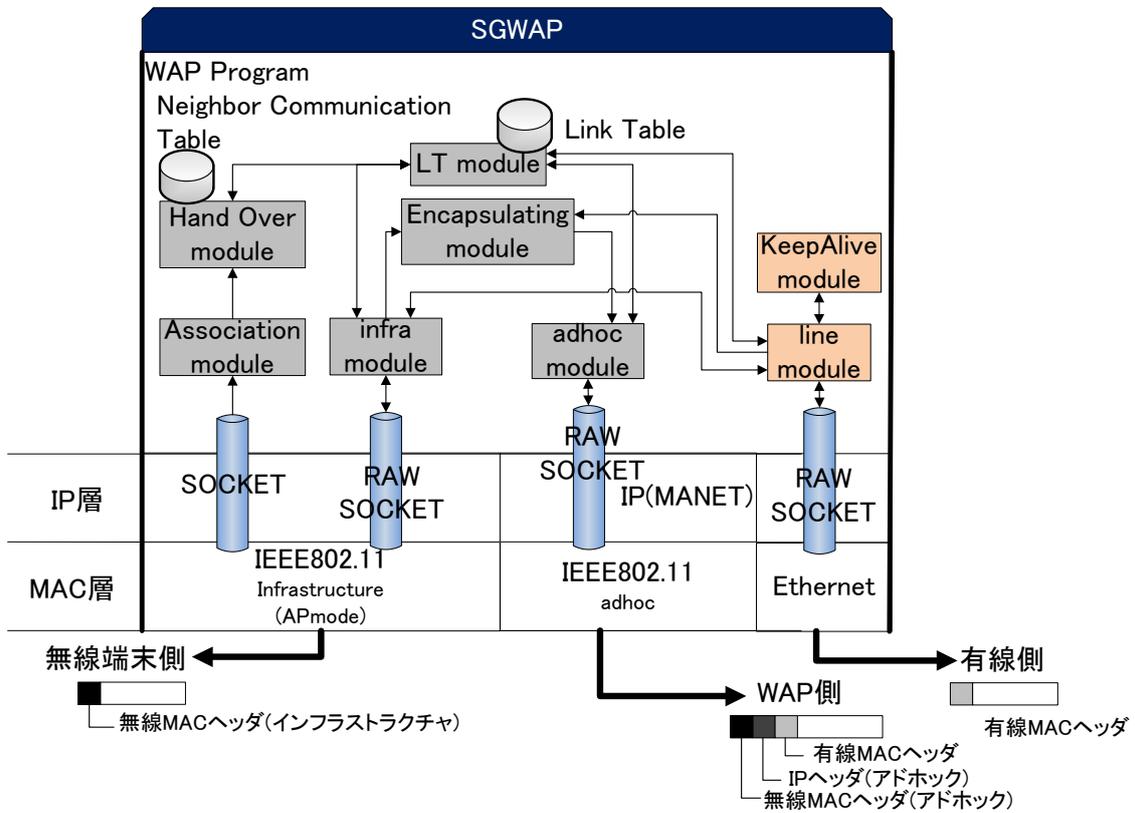


図 6 SGWAP のモジュール構成

5. むすび

WMN の実用化のためには WMN と外部ネットワークの接続方法の検討が重要である。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。さらに DGW のアドレスを WMN 内で仮想化することにより、端末が複数の DGW を選択することができなくても、WMN が代わりに選択する手法を示した。

また、提案システム実装の礎として提案システムの基となる WAPL の実装を行った。

今後の展開としては SGWAP の実装を完了し、その有用性を証明するという課題がある。

謝辞

本研究に関して、研究の方向や進め方など終始にわたり御指導、御助言を賜りました指導教官の渡邊晃教授に心より厚く御礼申し上げます。

論文作成にあたり、副査の高橋友一教授、宇佐見庄五准教授、旭健作助教には貴重なコメントや至らないところを指摘していただき深く感謝致します。

また、本研究を行うにあたり、本研究室の皆様にも多くの方々から多大な助言と協力を承り、深く感謝しております。

特に共同研究者の伊藤将志氏、WAPLの実装に関して御助言を賜りました加藤佳之氏に心より感謝を申し上げます。

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] 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).
- [3] 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)
- [4] MetroMesh
<http://www.tropos.com/>
- [5] MeshCruzer
<http://www.thinktube.com/>
- [6] Packethop
<http://www.packethop.com/>
- [7] Amir, Y., Danilov, C., Hilsdale, M. et al.:Fast Handoff for Seamless Wireless Mesh Networks,ACM MobiSys (2006)
- [8] 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)
- [9] Aoki, H., Chari, N., Chu, L. et al.: 802.11 TGs Simple Efficient Extensible Mesh (SEE-Mesh) Proposal (2005)
- [10] 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).
- [11] IEEE 802.11
<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- [12] Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP)
<http://tools.ietf.org/html/rfc3768>

研究業績

1. 学術論文

なし

2. 国際会議

なし

3. 口頭発表

1. 永井順也, 伊藤将志, 渡邊晃, “無線アクセスポイントリンク” WAPL” を利用した孤立ネットワーク復旧方式についての検討“, 平成 19 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, Sep.2007.
2. 永井順也, 伊藤将志, 渡邊晃, “災害時における無線メッシュネットワークを用いた孤立無線ネットワーク復旧手法の提案”, 情報処理学会第 70 回全国大会講演論文集, Mar.2008.
3. 永井順也, 伊藤将志, 渡邊晃, “被災時に公衆無線 LAN を迅速に復旧する方式の検討”, 情報学ワークショップ 2008 (WiNF2008) 論文集, Vol.6, pp.167-170, Sep.2008.
4. 永井順也, 伊藤将志, 渡邊晃, “障害に強い公衆無線 LAN の検討”, 情報処理学会研究報告, 2008-MBL-47, Vol.2008, Nov.2008.
5. 永井順也, 伊藤将志, 渡邊晃, “断線障害を自動補修するネットワークの検討”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2009) シンポジウム論文集, Vol.2009, No.1, pp.1094-1101, Jul.2009.
6. 永井順也, 伊藤将志, 渡邊晃, “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”, 情報処理学会研究報告, 2009-MBL-51, Vol.2009, Nov.2009.

補足資料

WAPL

本提案システムは WAPL(Wireless Access Point Link)の機能拡張として定義したもので、まず WAPL の概要について説明する。ただし、提案内容は WAPL と同タイプの WMN にも適用が可能である。

WAPL の概要について説明する。WAPL では無線化された 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 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。WAPL はアドホックルーティングプロトコルから独立しており、アドホックルーティングプロトコルを自由に選択可能である。また WAPL では独自にシームレスハンドオーバを実現している。これら WAPL の特長はシミュレーションによりその有用性が証明されている [1]。

WAP は送信端末からのパケットを中継するために、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。LT を生成するために、WAPL は以下に示す LT メッセージと呼ぶパケットをフラッディングする。LT フラッディングはアプリケーションレベルで実現し、アドホックルーティングプロトコルには頼らない。WAPL がアドホックルーティングプロトコルから独立しているのはこのためである。図 7 に WAPL における各装置の動作シーケンスを示す。宛先が WMN 内の端末の場合は、該当する WAP 間で LT を生成する。送信元端末 STA1 は通信開始時に宛先端末 STA2 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 WAP1 は LT Req(LT Request)を WMN 内にフラッディングする。LT Req には ARP Req と同様の情報、即ち、宛先端末 IP アドレス、送信元端末 IP アドレス/MAC アドレスが含まれている。LT Req を受信した各 WAP は送信元 WAP1 の IP アドレスと送信元端末 STA1 の MAC アドレスの対応を LT に記述する。宛先が WMN 内部のネットワークアドレスである場合、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。配下端末からの ARP Rep(ARP Reply)が返信されてきた WAP2 は ARP Req の送信元 WAP1 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 WAP1 は宛先端末 STA2 の MAC アドレスと宛先 WAP2 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的に WAP 内に退避され、LT 生成後に送信される。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。

WAPL のシームレスハンドオーバを図 8 に示す。WAPL が提供する WMN を介して固定端末 STA1 から移動端末 STA2 への通信が行われている。STA1 が配下に存在する WAP を SourceWAP, STA2 の移動元を OldWAP, 移動先を NewWAP と定義する。図 8 のように WAP は近隣 WMN 内の通信を常に監視し, NCT(Neighbor Communication Table)に記録する。STA2 が OldWAP から NewWAP へ移動すると STA2 は OldWAP との接続を解除する。OldWAP はこれを検知し, SourceWAP から送られて来るパケットのバッファリングを開始する。その後, STA2 は NewWAP に接続要求を送信する。NewWAP は接続要求に記述された STA2 の MAC アドレスを元に NCT を検索する。NCT に STA2 の MAC アドレスが存在すれば, その情報を元に NCT から移動前の送信元 WAP(SourceWAP)と宛先 WAP(OldWAP)が分かる。NewWAP は SourceWAP に経路更新要求を, OldWAP にバッファ転送要求をユニキャストで送信する。ユニキャストは確実に宛先に到達するため, 安定したハンドオーバを実現できる。経路更新要求を受信した SourceWAP は宛先を NewWAP に更新し, バッファ転送要求を受信した OldWAP はバッファを NewWAP に転送する。このようにしてパケットの損失が無いシームレスなハンドオーバーが完了する。

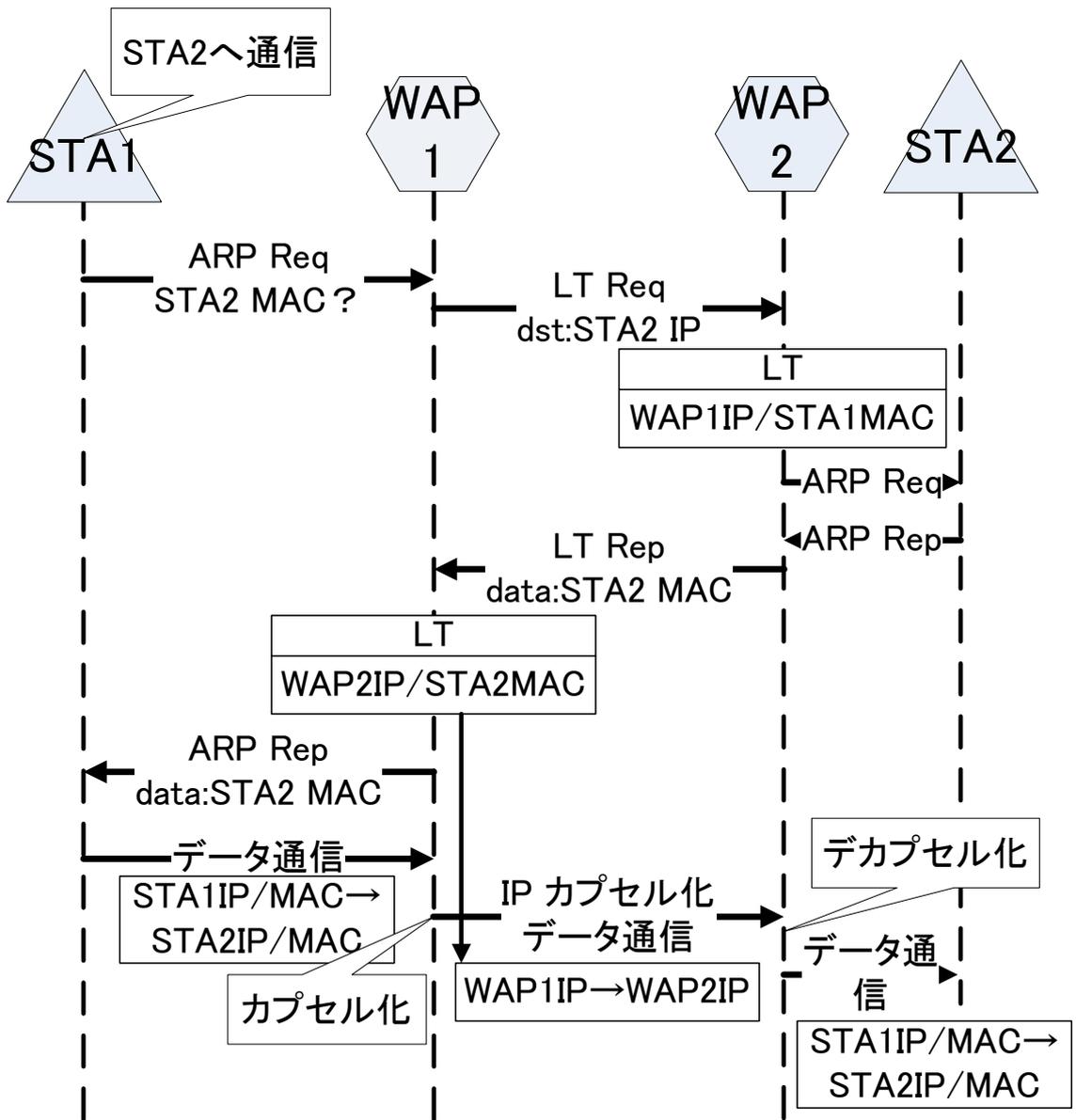


図 7 WAPL 動作シーケンス

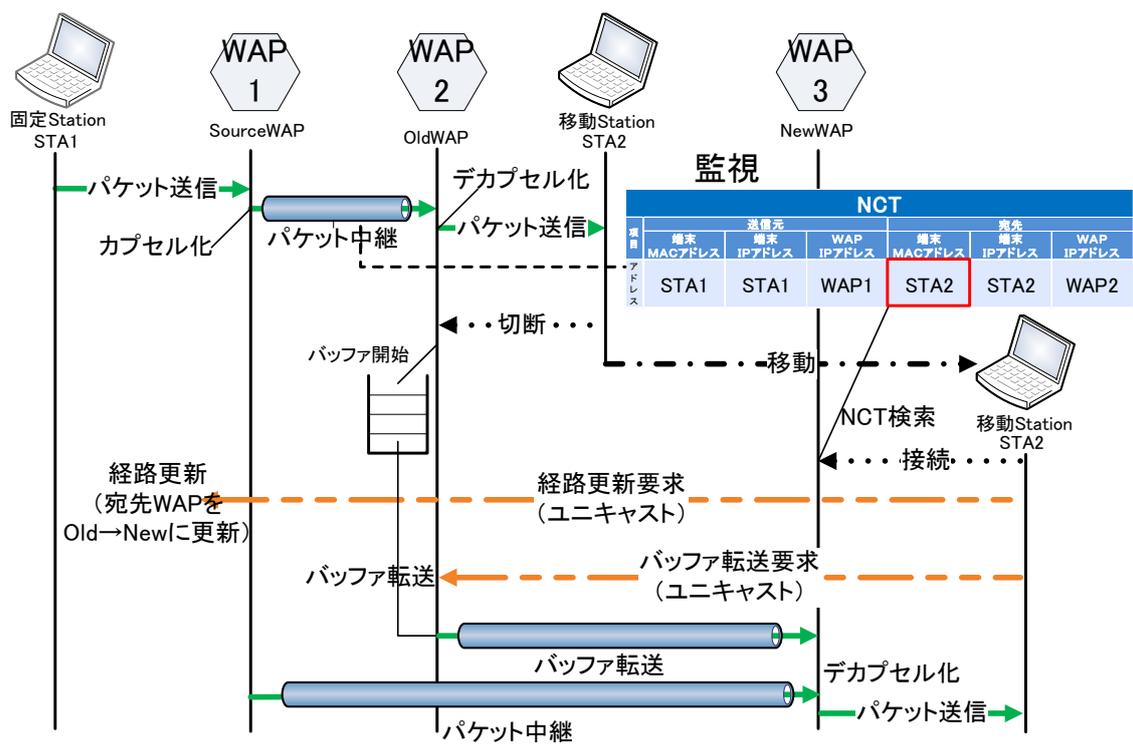


図 8 WAPL のハンドオーバー

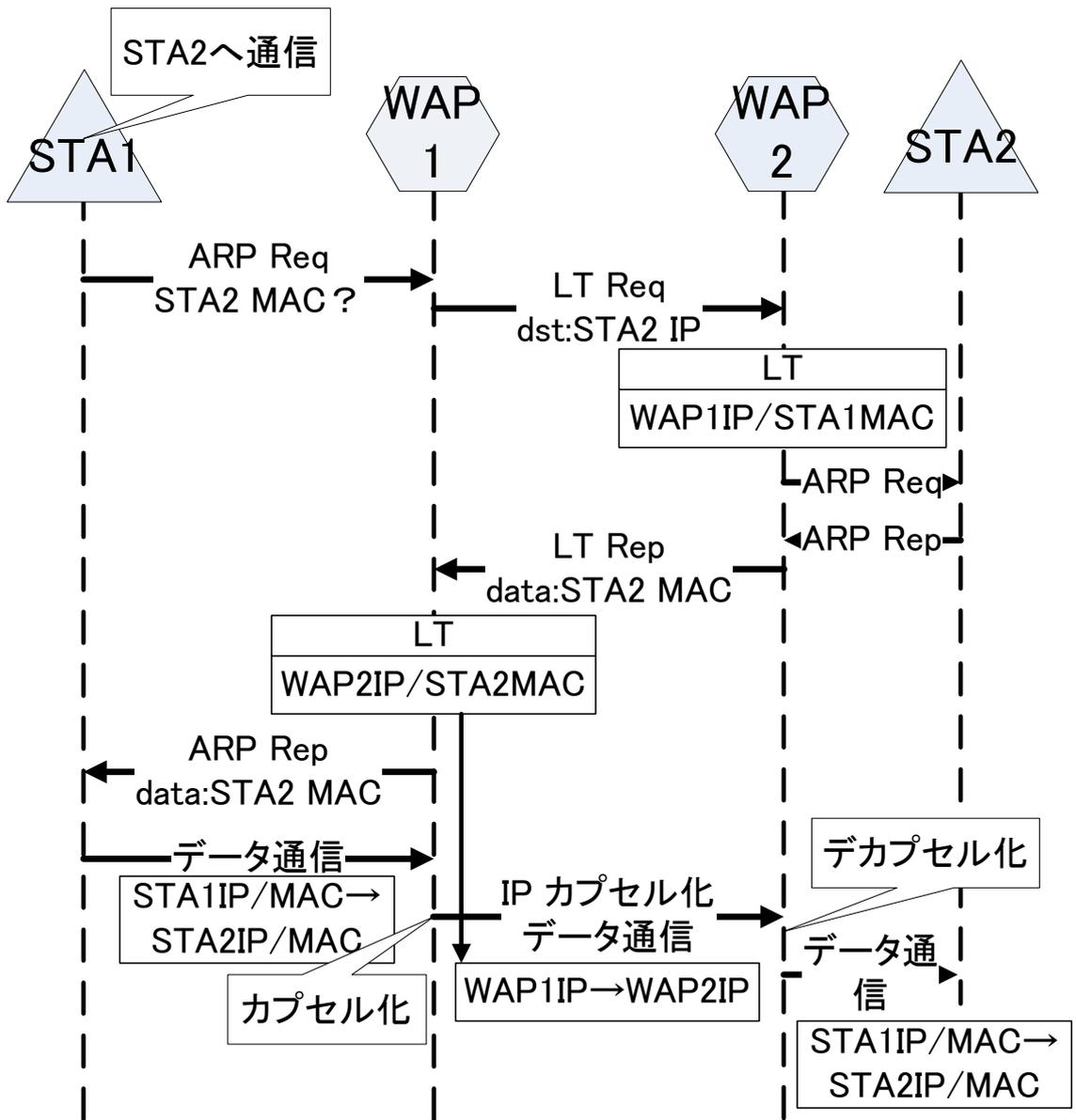


図 5 WAPL 動作シーケンス

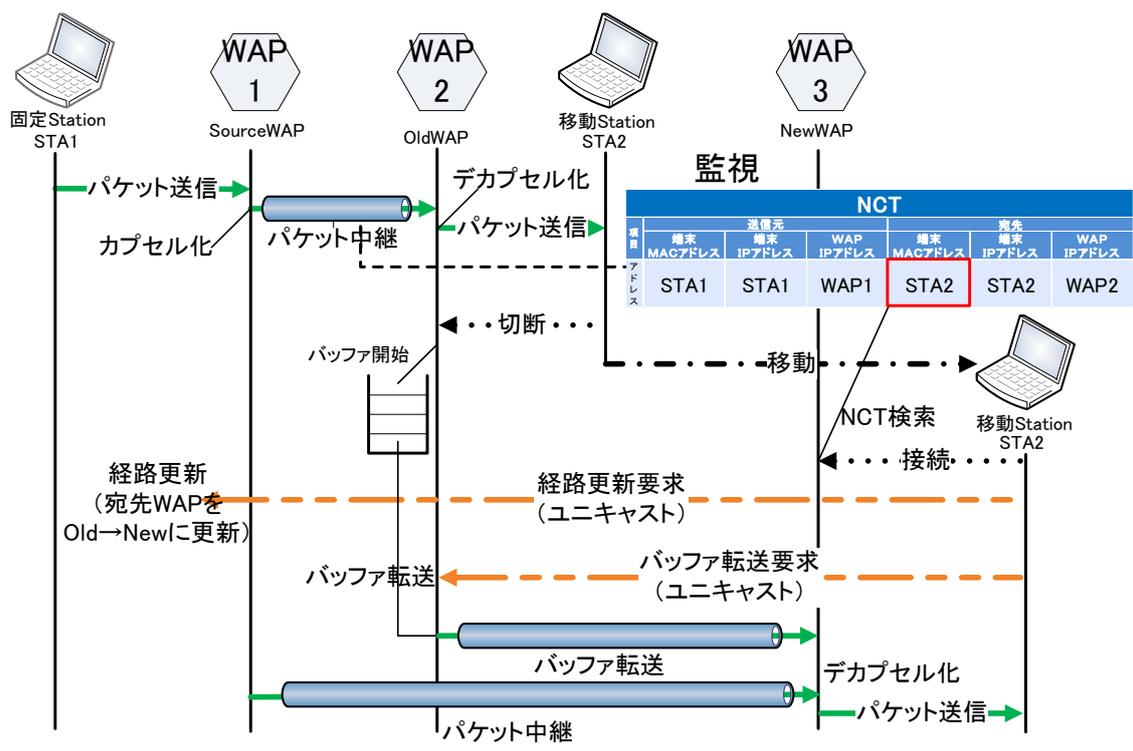


図 6 WAPL のハンドオーバー