

平成26年度 卒業論文

和文題目

**NTMobileによる無線メッシュネットワーク内通信  
方式の提案**

英文題目

**Proposal of Communication method of Wireless  
Mesh Network utilizing NTMobile.**

情報工学科 渡邊研究室  
(学籍番号: 110430089)

新家 悠介

提出日: 平成27年2月12日

名城大学理工学部



## 概要

スマートフォンの普及により、ユーザがネットワークを利用する場面が多様化している。それに伴ってユーザがいつでもどこでも通信を行える通信接続性や移動透過性が求められており、これらに応える技術として我々はNTMobile(Network Traversal with Mobility)を提案している。

ユーザがネットワークを利用する場面は、日常的に使用する場合と非日常的に使用する場合に分けることができる。日常は通信管理者の保守等のサービスにより通信機器が正常に作動され問題無く通信を行うことができる。しかし災害等の非日常的なことが発生すれば、基地局や交換機が故障し通信が行えなくなるという問題が発生する。災害時においてもユーザはスマートフォン等を連絡手段として使用することが考えられ、携帯電話網が繋がらなくなって連絡が取れなくなれば致命的である。このような場合にIPネットワークで確実に通信を行えることができれば、臨時的なネットワークだとしても有用性は高い。

本稿では、災害時でも携帯電話網のように双方向から確実に通信を行うために、NTMobileを取り入れた無線メッシュネットワークを提案する。無線メッシュネットワークはアクセスポイントを適切に配置していくだけで無線LANの通信エリアを用意に広げていくことができるため、災害時においても適したシステムである。



# 目次

第1章	はじめに	1
第2章	NTMobileの概要	4
第3章	WAPLの概要	7
第4章	提案方式	10
4.1	前提条件	10
4.2	通信経路確立手順	10
4.3	ハンドオーバー時の動作	16
4.4	E2Eフラグによる経路最適化	17
第5章	まとめ	18
	謝辞	19



# 第1章 はじめに

スマートフォンをはじめとする携帯端末が急激に普及している。このような携帯端末は、LTE などの携帯電話通信網や Wi-Fi などの無線 LAN を利用してインターネットに接続するため、2つのインターフェースを有している。無線 LAN 接続で通信を行う場合、端末の移動やインターフェースの切り替えにより IP アドレスが変化するため、通信が継続できなくなる場合が発生する。ユーザーがインターネットを利用する場面が多様化している昨今、このような問題に対して、移動しながら通信を行える移動透過性技術が要求されている。また、インターネット利用者数の増加により、IPv4 アドレスの枯渇が問題視されている。この問題に対して、家庭や企業内では NAT を用いてプライベート IP アドレスを使用することで対処してきた。しかし、グローバルアドレス側からプライベートアドレス側に通信を開始できないため (NAT 越え問題) 汎用性を損なう要因となっており、長期的には IPv6 への移行が検討されている。しかし、IPv4 と IPv6 は互換性がないため即座に IPv6 ネットワークに移行することはできない。そのため、当分の間 IPv4 ネットワークが利用され続けると考えられる。このような背景から、IPv4 ネットワークの利用を想定したシステムを検討対象とする。

移動透過性を実現する既存技術として MAT [4], MobilePPC [5], DSMIPv6 [6] がある。MAT (Mobility support Architecture and Technologies) はエンド端末側でアドレス変換を行うことにより移動透過性を実現する技術である。MAT では、移動に対して変化しない HoA (Home Address) と移動先のネットワークから取得する MoA (Mobile Address) の 2つのアドレスを端末に割り当てる。アプリケーションは HoA を用いて通信を行い、端末間で通信を行う際には HoA と MoA を変換して MoA に基づいた通信を行う。しかし、MAT は NAT が存在しないことを前提としているため、NAT に跨った移動を行うことができず、NAT 越え問題の解決が課題となっている。MobilePPC (Mobile Peer-to-Peer Communication) はアプリケーションが認識する IP アドレスと送信時に使用する IP アドレスを変換することにより、移動による IP アドレスの変化をアプリケーションに対して隠蔽することができ、移動透過性を実現している。しかし、この技術は NAT の種類によってはフィルタリング機能により不正なパケットと判断され破棄されることがある。そのため、移動先のネットワークによっては通信を継続できないという課題がある。DSMIPv6 (Dual Stack Mobile IPv6) は IPv4/IPv6 混在環境で移動透過性を実現する技術である。この技術は端末の移動によって変化しない HoA (Home Address) と、端末の移動先で取得する CoA (Care of Address) の 2種類のアドレスを端末に割り当てる。また、端末の管理や通信の中継を行う HA (Home Agent) を設置する。DSMIPv6 は HA を使用してトンネリングを行うことにより、端末間は HoA に基づいた接続を確立している。HoA は移動によって変化しない IP アドレスなので端末の移動を隠蔽でき、端末が移動しても通信を継続できる。しかし、端末が IPv4 ネットワークに接続している場合は常に HA を介した冗長な

経路となる。また、IPv4のHoAをグローバルIPアドレスとして割り当てることはIPv4アドレスの枯渇問題により望ましくない。そのため、NATを利用してHoAをプライベートIPアドレスとして割り当てるのが想定されるが、その場合はNAT越え問題によりHoAに対して通信を行うことができないという問題が発生する。

ユーザがインターネットを利用する場面の中で、災害時ではスマートフォンを連絡の手段として使用することが考えられる。災害により基地局や交換機などの機能が停止した場合、携帯電話網が繋がらなくなり連絡が取れなくなる。このような場面を想定して、IPネットワークを臨時的に構築する手段を考える。その手段として、バックボーンインフラを容易に構築できる無線メッシュネットワークは有用な手段である。無線メッシュネットワークは、携帯端末とアクセスポイント間をインフラストラクチャモードで接続し、アクセスポイントどうしをアドホックモードで接続するシステムである。そのため、アクセスポイントを適切に配置するだけで無線LANの通信エリアを容易に広げることができ、増設や移設が容易であるという特長がある。

無線メッシュネットワークに関連した研究としてM-WLAN [7]がある。M-WLAN(Multihop-Wireless LAN)では、アドホックルーティングプロトコルはOLSRを使用し、これを改造してマッピング情報を生成している。このため、マッピング情報は定期的に交換される。しかし、シームレスハンドオーバーを実現するための処理が行われておらず、パケットロスが発生するという課題がある。シームレスハンドオーバーを特徴とした研究としてSMesh [8]やiMesh [9]、WAPL [10]がある。SMeshではハンドオーバー時にパケットの経路を二重化することでパケットロスを回避している。しかし、端末側がアドホックモードに設定されている必要があり、本論文で記述している無線メッシュネットワークとは異なる。iMeshではハンドオーバーを検出したアクセスポイントが周辺のアクセスポイントにそのとこを通知するメッセージをフラッディングし、必要なパケットをバッファリングする。バッファリングすることにより、パケットの消失を防いでいる。しかし、アドホックネットワークにおけるフラッディングの信頼性が低いため、ハンドオーバーに失敗する可能性があるという課題がある。この課題を解決すべく研究した技術として、我々の研究室ではWAPLを提案してきた。WAPLではこれを実現するために、アクセスポイントが近隣1ホップの通信を常時監視し、通信ペアの端末と各端末が接続するアクセスポイントとの関係を把握する。この情報により、端末のハンドオーバー時にアクセスポイント間をユニキャストでメッセージの交換をし、確実にマッピング情報の更新を行うことができる。これにより、従来のフラッディングを用いたハンドオーバーの通知では不到達率が13%であったのに対し、WAPLではほぼ0%となっている。また、WAPLはマッピング情報の生成機能をアドホックネットワークと完全に独立させている。このため、アドホックルーティングプロトコルを自由に選択でき、汎用性の高い技術となっている。本論文の無線メッシュネットワークでは、汎用性の高さやハンドオーバーの信頼性の高さからWAPLの技術を踏襲する。

我々は、通信接続性と移動透過性を兼ね備えた技術としてNTMobile(Network Traversal with Mobility) [1,2]を提案している。NTMobileはNAT越え技術を有しており、NAT配下のNTMobile端末に対して接続性を確保できる。そこで、本論文ではNTMobileの技術を無線メッシュネットワークに取り入れたシステムを提案する。これは、無線メッシュネットワークの通信エリアを容易に広



げることができるという特長と、WAPLのシームレスハンドオーバーやNTMobileの通信接続性、移動透過性を生かしたシステムである。NTMobileとWAPLの技術を取り入れた無線メッシュネットワークによって、災害で携帯電話網が繋がらなくなった時でもスマートフォンどうしで通信が行える環境を構築し、通信中であっても被災地内外に自由に移動できるシステムを実現する。

以下、2章でNTMobileの概要、3章でWAPLの概要を説明し、4章で提案方式を述べ、5章でまとめる。

## 第2章 NTMobileの概要

本章では、NTMobileで通信接続性と移動透過性を実現する技術について説明する。

図1にNTMobileを用いて構成したネットワークを示す。NTMobileでは、NTMobileを実装した端末をNTM Node(NTM 端末)と呼ぶ。構成機器としてNTM 端末の他に、DC(Direction Coordinator), RS(Relay Server)がある。DCやRSはグローバル上に設置し、ネットワークの規模に応じて複数台設置して負荷分散を行うことができる。

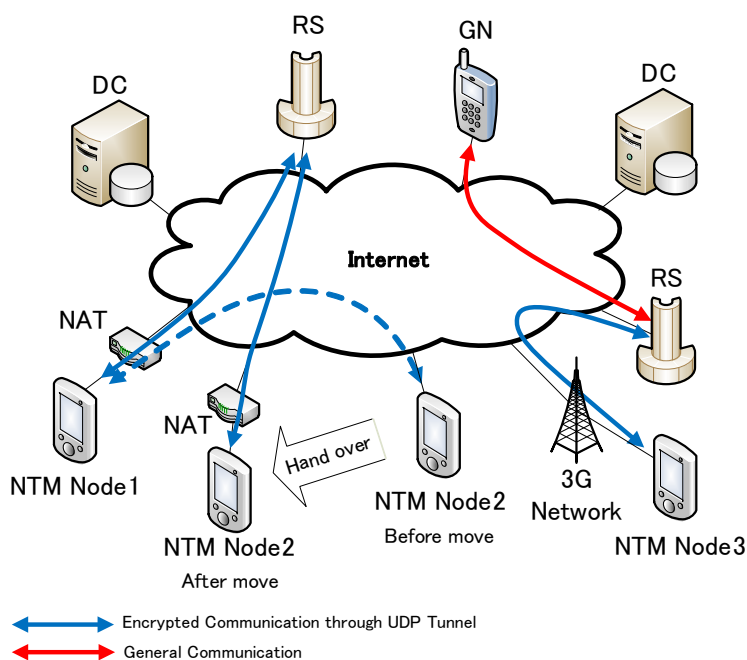


図1 NTMobileの構成

- NTM 端末

NTM 端末は移動先から割り当てられる実 IP アドレスと、DC から割り当てられる仮想 IP アドレスの 2 種類の IP アドレスを保持する。アプリケーションは仮想 IP アドレスに基づいた通信を行う。仮想 IP アドレスは移動に依らず変化しない IP アドレスであるため、移動によって接続先のネットワークが切り替わっても仮想 IP アドレスは変化しない。そのため、通信中にネットワークを切り替えても通信を継続できる。NTM 端末間は UDP トンネルが構築され、仮想 IP アドレスによるアプリケーションの通信は実ネットワーク上を UDP トンネルによって送信される。UDP トンネルは、どちらか一方の NTM 端末がグローバルネットワークに接続している場合は必ずエンドツーエンドで構築できる。

- DC(Direction Coordinator)

DCはNTM端末に仮想IPアドレスやFQDNを割り当てたり、トンネル構築の指示を出したりする装置である。仮想IPアドレスやFQDNは、NTM端末が実IPアドレスをDCに登録した後、DCからNTM端末に割り当てられる。ここで割り当てられる仮想IPアドレスは一意なアドレスであり、DCは自身のアドレス空間から重複が起きないように割り当てを行う。DCに登録される内容は、NTM端末の実IPアドレスおよびNTM端末に割り当てる仮想IPアドレスとFQDNであり、DCのデータベースによって管理される。また、NTM端末がNAT配下にいる場合はNATの外側のIPアドレスも登録される。DCはDNSサーバの機能を有しており、DCごとに異なるドメインを管理している。そのため、自身のDCで名前解決ができなかった場合はDNSの仕組みに従って他のDCに名前解決を依頼することができる。DCはNTM端末の実IPアドレスが変化した場合、動的にFQDNとIPアドレスの対応を管理する。

- RS(Relay Server)

RSは、図1のように通信を行う2つのNTM端末が異なるNAT配下に位置する場合や、General Node(GN：一般端末)のようなNTMobile非対応の端末と通信を行う場合にパケットを中継する装置である。RSはグローバルネットワーク上に複数設置することができ、負荷分散や経路が冗長にならないための最適なRSを選択することができる。

NTMobileは仮想IPアドレスに基づいたアプリケーションの通信を行う。仮想IPアドレスはネットワークに依存しないため、NTM端末がネットワークを切り替えて実IPアドレスが変化しても通信を継続できる。また、端末の移動先がNAT配下であっても通信の継続性は保たれる。NTM端末どうしで通信する場合、どちらか一方がグローバルネットワーク上に位置していればエンドツーエンドでUDPトンネルが構築されるため、常に最適な経路でトンネル通信を行うことができる。しかし、通信端末が一般端末である場合や、両NTM端末がNAT配下に位置する場合はRSを経由した経路となる。

NTMobileでは、全ての通信パケットの送受信はUDPトンネルによって行われる。具体的には、NTM端末に割り当てられた仮想IPアドレスをNTM端末の移動先で割り当てられた実IPアドレスでカプセル化して送信する。カプセル化を行う際には、IPヘッダ、UDPヘッダの他にNTMobile特有のNTMヘッダが付加される。受信側のNTM端末はパケットを受信すると、NTMobileの機能によってデカプセル化を行い、仮想IPアドレスを取り出す。これを上位アプリケーションに渡すことで、仮想IPアドレスに基づいた通信を実現する。

NTMobileは経路が冗長になる場合がある。通信する両NTM端末が同一のNAT配下にいる場合でも、グローバルネットワーク上のRSに経路が構築される。これはNATが多段構成であった場合の対策であるが、このような経路冗長化を受け経路を最適化する手法[3]が提案されている。図2はこの手法に基づいてNTM端末が無線メッシュネットワーク内で経路を構築する時の動作シーケンスである。前提条件として、NTM端末1はAP1の、NTM端末2はAP2の配下に位置しており、両端末は同一のDCへ端末情報の登録を行ったものとする。NTM端末1はNTM端末2の端末情報を得るためにDCに対してDirection Requestを送信し、名前解決を依頼する。DCはDirection Requestを受信すると、自身のデータベースにより通信を行う両端末の位置関係を把握

し、RS に中継を依頼する Relay Direction を送信する。DC はトンネル構築先を示す情報を載せた Route Direction を両端末に送信し、RS に Tunnel Request を送信するように指示する。両端末は Tunnel Request を RS に送信し、応答が返れば RS を経由した UDP トンネルが構築される。その後、Autonomous Tunnel Request を両端末で投げ合い、到達性をチェックする。このパケットに対する応答が返れば、自律的にエンドツーエンドのトンネル経路に切り替える。しかし、この手法ではエンドツーエンドの通信経路が確立されるものの一時的に RS を経由した経路になるため、やはり冗長である。

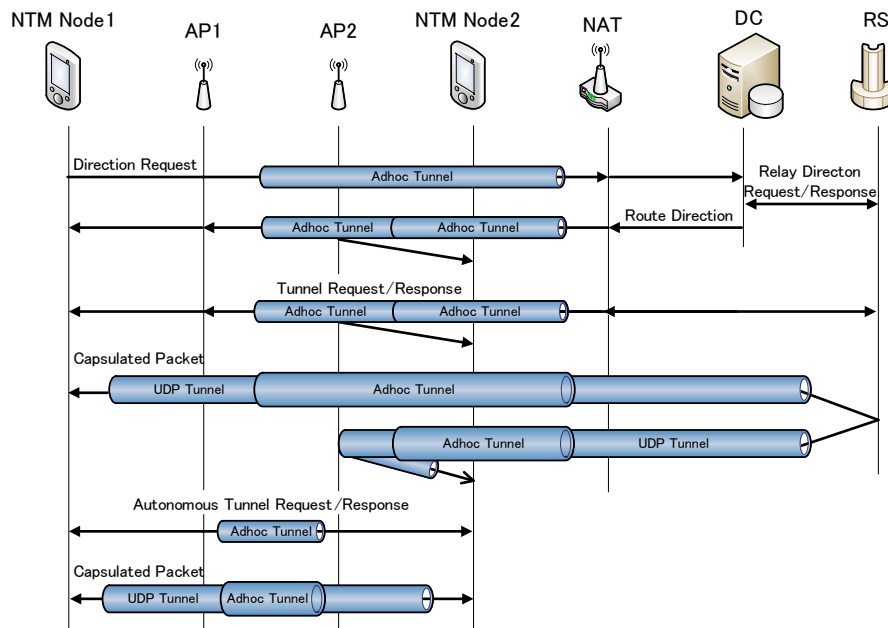


図 2 同一 NAT 内に NTM 端末がいる場合の動作シーケンス

## 第3章 WAPLの概要

図3に WAPL で構成した無線メッシュネットワークを示す. WAPL では無線化したアクセスポイントを WAP(Wireless Access Point) と呼び, WAP にルータの機能を付加したものを GWAP(Gateway WAP) と呼ぶ. 各 WAP および GWAP を直接電波の届く適切な位置に設置し, 無線メッシュネットワークを構築する. WAP はインフラストラクチャモードで配下の通信端末と接続され, WAP 同士をアドホックモードで接続する. GWAP は WAP とアドホックモードで接続し, 外部 IP ネットワークとの接続を行う. そのため, WAP 配下の端末から送出されるパケットは WAP や GWAP を中継して通信相手に送られる.

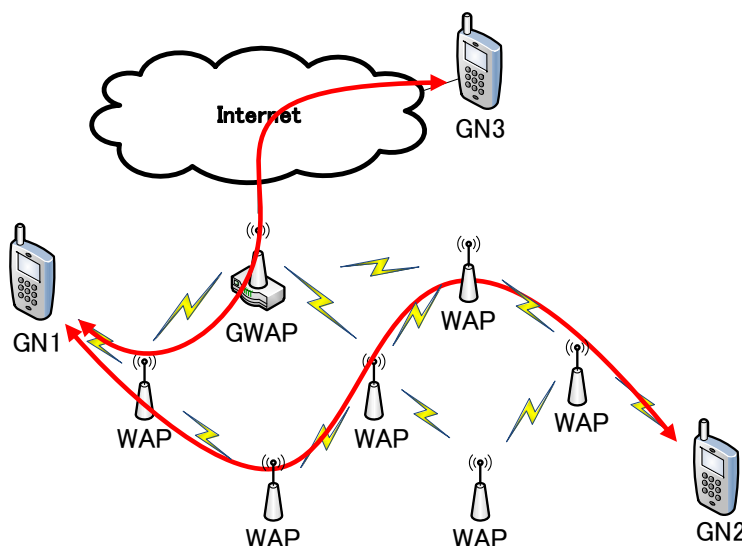


図3 WAPLの構成

- WAP(Wireless Access Point)

WAP は無線化したアクセスポイントである. WAP 間はアドホックモードで接続し, 既存のアドホックルーティングプロトコルを使用する. アドホックルーティングプロトコルは自由に選択することが可能であるため, 環境に適したルーティングプロトコルを使用することができる. WAP と端末のマッピング情報は, ルーティングテーブルと独立させ, LT(Link Table) と呼ぶ独自のテーブルを保持する.

図4に LT が生成されるシーケンスを示す. WAP は端末から ARP 要求を受信すると, 他の WAP へ LT Request をフラッディングする. LT Request には宛先端末の IP アドレスと送信元端末の IP アドレス, MAC アドレスが記載されている. なお, 同一の LT Request を2度以上

受信した WAP はそのパケットを中継せずに廃棄する. LT Request を受信した全ての WAP は自身の LT に送信元端末の IP アドレス, MAC アドレスおよび送信元 WAP の IP アドレスの関係を記述する. 宛先端末を収容する WAP(宛先 WAP) は LT Request を受信すると配下に ARP Request を送信する. これにより目的の端末が存在することを検知した WAP は, ユニキャストで送信元 WAP に LT Response を返送する. 送信元 WAP は LT Response を受信すると, 宛先端末の IP アドレス, MAC アドレスおよび宛先 WAP の IP アドレスの関係を LT に記述する. その後, 送信元端末に ARP Response を返送する. 以上の動作により, 各 WAP に LT が生成される. 以後, 端末が送信したデータパケットは送信元 WAP が自身の IP アドレスで MAC ヘッダを含めてカプセル化を行い, 宛先 WAP まで中継する. 無通信状態が一定時間続くと通信が終了したものと見なし LT を削除する.

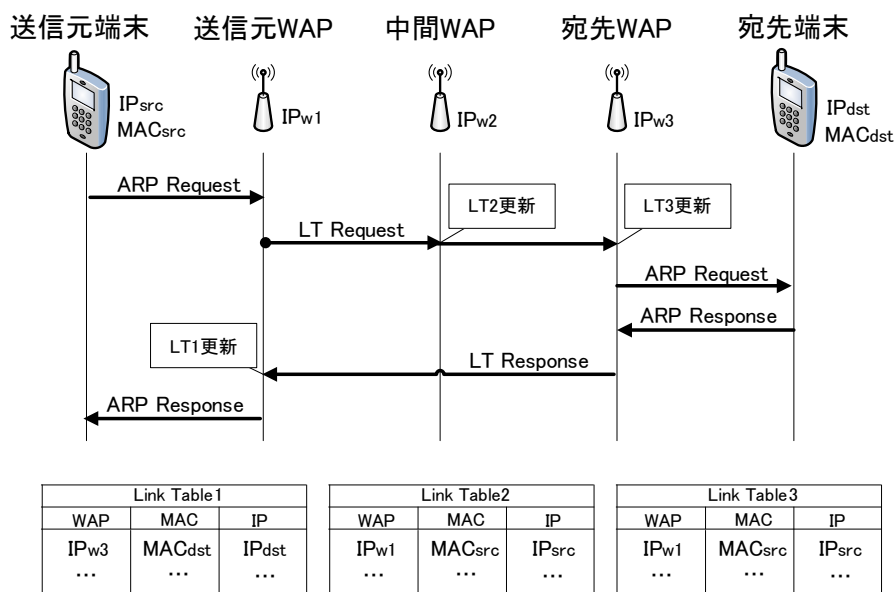


図 4 LT 生成シーケンス

- GWAP(Gateway WAP)

GWAP は WAP にルータの機能を付加した装置である. GWAP と WAP はアドホックモードで接続され, 外部ネットワークには有線で接続される. GWAP は通常の WAP と同様に, プライベートネットワーク内において自身のプライベート IP アドレスでパケットのカプセル化/デカプセル化を行う. GWAP はゲートウェイとして動作するため, 外部ネットワーク向けのパケットが全て GWAP に集約され, トラフィックが集中する部分である. そのため, GWAP は WAP と違い, 配下に端末を収容しない.

WAPL は信頼性の高いハンドオーバーを実現している. ここで, ハンドオーバーによって接続先が切り替わる前の WAP を旧 WAP, 切り替わった後の WAP を新 WAP と呼ぶことにする. WAPL ではハンドオーバーを確実にを行うために, 旧 WAP から新 WAP へのハンドオーバーの通知をユニキャストで行う. これを可能にしているのが近隣通信テーブルである. このテーブルは 1 ホップ先

の WAP を中継する通信端末の IP アドレスと MAC アドレス、およびその WAP の IP アドレスを関連付けたテーブルである。WAP はプロミスキャスモードで常時 WAP が送出するパケットをモニターすることで、1 ホップ先の WAP の IP アドレスや、カプセル化された通信端末の IP ヘッダ、MAC ヘッダを取得している。取得したアドレス情報を近隣通信テーブルのフィールドである、DstSTA、SrcSTA、DstWAP、SrcWAP に記録する。

図 5 に、GN2 が通信中に WAP3 の配下に移動した時に行われるハンドオーバー処理のシーケンスを示す。ハンドオーバー処理のトリガは移動端末から送信される Deauthentication/Reassociation Request である。GN2 は移動する際に接続中の WAP に Deauthentication Request を送信する。旧 WAP はこれを受信すると、通信中のパケットのバッファリングを行う。GN2 は新 WAP に参入すると Reassociation Request を新 WAP に送信する。新 WAP はこれを受信すると近隣通信テーブルを参照し、移動してきた端末の MAC アドレスを持つ記録が存在すれば通信中であると判断する。通信中であると判断すれば、旧 WAP にパケット解放要求、送信元 WAP に経路更新要求メッセージをユニキャストで送信する。それぞれの WAP が要求メッセージを受信すると、新 WAP に応答メッセージを返す。一定時間応答が返らなければ、新 WAP は再送処理を行う。パケット解放要求メッセージを受信した旧 WAP はバッファリングしていたパケットを新 WAP に転送し、経路更新要求メッセージを受信した送信元 WAP は LT を書き換えることでパケットの経路を更新する。以上によりハンドオーバーが完了する。

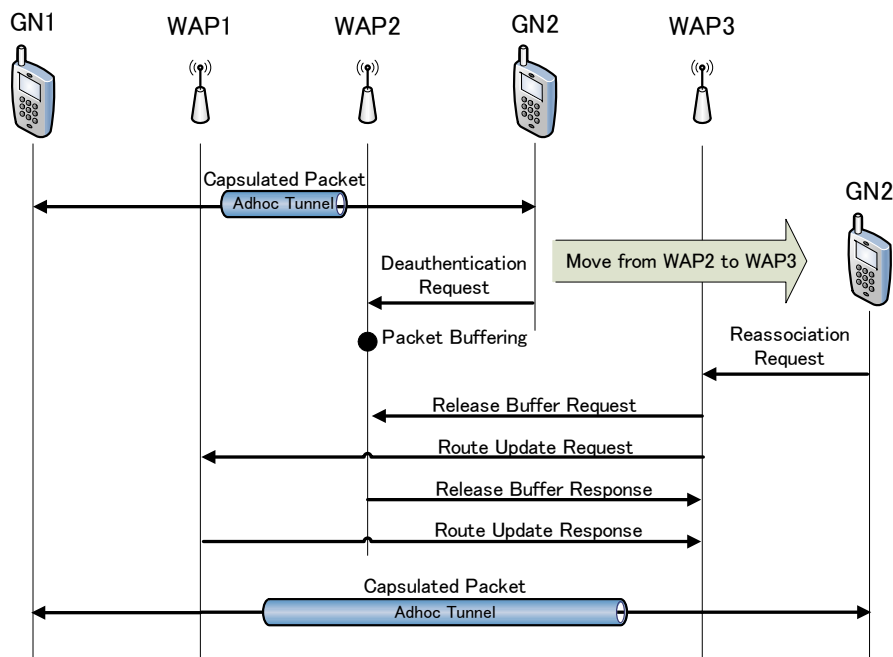


図 5 ハンドオーバー時の経路生成シーケンス

## 第4章 提案方式

本方式は WAPL と NTMobile を融合した方式である。NTMobile で用いる NTM Node(NTM 端末) や DC(Direction Coordinator), RS(Relay Server) の他に, WAP(Wireless Access Point) や NGWAP(NTMobile Gateway WAP) を用いる。NGWAP は GWAP に NTMobile の機能を付加した装置である。

### 4.1 前提条件

図6は提案方式で想定する構成図を示す。各 WAP および NGWAP を直接電波の届く適切な位置に設置し, 無線メッシュネットワークを構築する。WAP はインフラストラクチャモードで配下の NTM 端末や GN を收容し, WAP どうしをアドホックモードで結合する。NGWAP は WAP とアドホックモードで結合し, 外部 IP ネットワークとの接続を行う。また, NGWAP は NAT の機能を有しているため, NGWAP 内に位置する端末が外部ネットワークと通信を行う時には NGWAP を中継する。それゆえに, 外部ネットワーク上に設置される DC と通信を行う場合は NGWAP を中継したり, 端末の位置によっては RS を経由した通信経路になったりする。なお, 本方式は災害地での利用を想定し, 災害時に IP ネットワークに接続して通話アプリケーションで連絡を取り合うの他に, メールで安否確認を行うことを想定している。そのため, メールサーバと通信を行うことも視野に入れ, 図6の構成図にメールサーバを加えた。

想定する通信パターンは NGWAP 内の NTM 端末どうしが通信を行う場合, NGWAP 内と外の NTM 端末どうしが通信を行う場合, NGWAP 内の一般端末と外の NTM 端末が通信を行う場合, NGWAP 内の一般端末がメールサーバーに通信を行う場合とし, 順に説明する。

### 4.2 通信経路確立手順

図7に WAP, NGWAP および NTM 端末が起動した時の動作シーケンスを示す。NGWAP は起動時にグローバル IP アドレス(実 IP アドレス)を取得した後, 自身を管理する DC に登録処理を行う。DC は NGWAP のアドレス情報を登録後, NGWAP に仮想 IP アドレスを割り当てる。以降, DC には NGWAP の実 IP アドレス, 仮想 IP アドレス, FQDN がデータベースによって管理される。NGWAP は仮想 IP アドレスを取得した後, AutoIP によりアドホック通信用のプライベート IP アドレスを生成する。その後, NGWAP は自身のプライベート IP アドレスを宛先にしてパケットを送信し応答の有無を確認する, アドレス重複チェックを行う。一方, WAP は起動時に AutoIP を行い, アドホック通信用のプライベート IP アドレスを生成する。その後, NGWAP と同様にアドレス



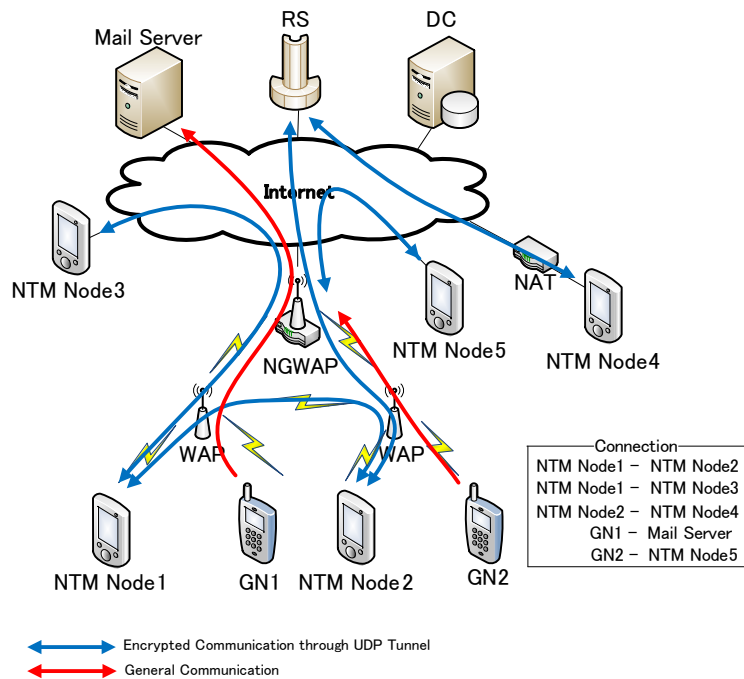


図 6 提案方式の構成

重複チェックを行う。各 WAP や NGWAP がプライベート IP アドレスを持つと、アドホックネットワークのルーティングテーブルの生成を行う。NTM 端末は起動時に、DHCP の機能により直近の WAP からプライベート IP アドレス (実 IP アドレス)、ゲートウェイの IP アドレス、および本方式で新たに導入した E2E (End to End) フラグを取得する。E2E フラグとは NTM 端末どうしが直接通信できることを示すフラグである。NTM 端末は起動時に自身を管理する DC にアドレス登録を行う。この時 DC はグローバルネットワーク上に位置しているため、NTM 端末はゲートウェイである NGWAP のアドレス解決を行い、NGWAP に向けて ARP Request を送信する。WAP は ARP Request をトリガとして MNT (Mesh Network Table) 生成処理を行う。MNT は 3 章で記述した LT と同様のテーブルであるが、本方式と区別するために別の名前にした。そのため MNT の生成処理は LT と同様であり、ここではシーケンスの説明を割愛する。NGWAP のアドレス解決が終われば、NTM 端末は DC 宛に Registration Request を送信する。NGWAP は NAT の機能を有しており、アドレス変換された後 DC に送られる。DC はアドレス登録処理後、Registration Response を返信し、NGWAP、WAP を中継して送信元 NTM 端末に送られる。

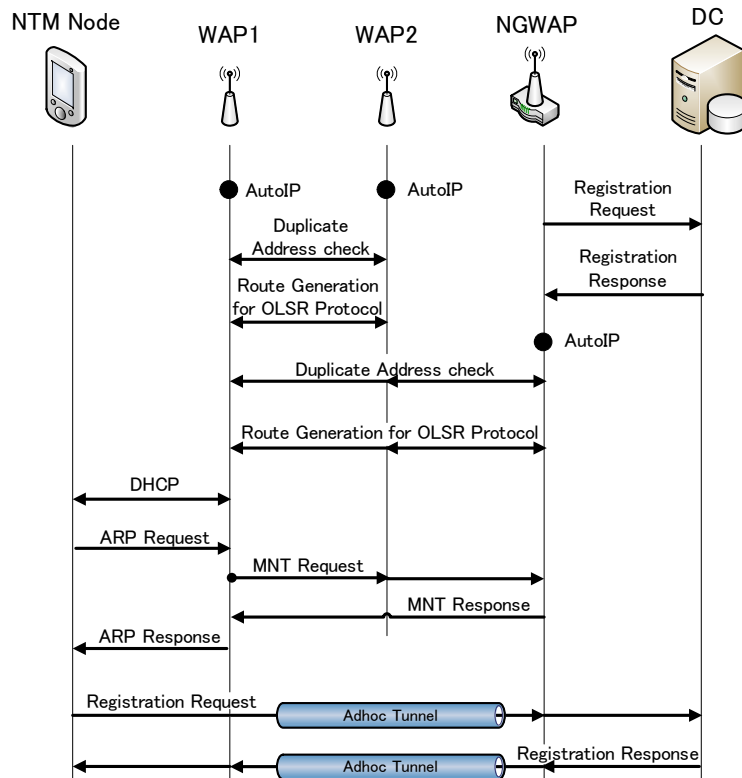


図7 NTM 端末および WAP, NGWAP の起動時の処理

次に、通信を開始する時に行われる処理について説明する。前提として、NTM 端末 1 は WAP1 と、NTM 端末 2 は WAP2 と接続している。また、NTM 端末 1 と NTM 端末 2 は事前に DC への登録処理が完了しており、両端末は同一の DC に管理されているものとする。

図 8 に同一の NGWAP 内に位置する NTM 端末が通信を行う時の動作シーケンスを示す。通信開始側は NTM 端末 1 とする。NTM 端末 1 は名前解決処理を検出すると、NTM 端末 2 の端末情報を得るために DC に対して Direction Request を送信し、名前解決を依頼する。この時、Direction Request のオプションに E2E フラグを付加する。また、エンド端末が NTM 端末の場合は NGWAP は通常の NAT として動作し、Direction Request は NGWAP でアドレス変換された後 DC に送られる。Direction Request を受信した DC は自身のデータベースから NTM 端末 2 のアドレス情報を検索する。NTM 端末 2 は NTM 端末 1 と同一の NAT 配下にいるため、NTM 端末 1 と同一の NAT の IP アドレスがヒットする。この結果、NTM 端末 1 および NTM 端末 2 の位置関係は同一の NAT 配下にいると判断できる。また、オプションに付加された E2E フラグから NGWAP 内にいると判断し、直接通信が行えると判断できる。DC は NTM 端末 1 に NTM 端末 2 の、NTM 端末 2 に NTM 端末 1 のアドレス情報を記載した Route Direction をそれぞれ送信しトンネル構築の指示を行う。Route Direction を受信した NTM 端末 1 は NTM 端末 2 宛に Tunnel Request を送信する。この時 NTM 端末 2 のアドレス解決処理および MNT 生成処理が行われるが、ここの処理は 3 章と同様であるため説明を割愛する。Tunnel Request に対する応答が返ればトンネル構築処理が完了し、データの送受信は NTMobile によるカプセル化と WAPL によるカプセル化により二重のトンネルで行われる。

図 9 に同一 NGWAP 内の NTM 端末どうしがトンネル通信を行う様子を示す。通常の NTMobile

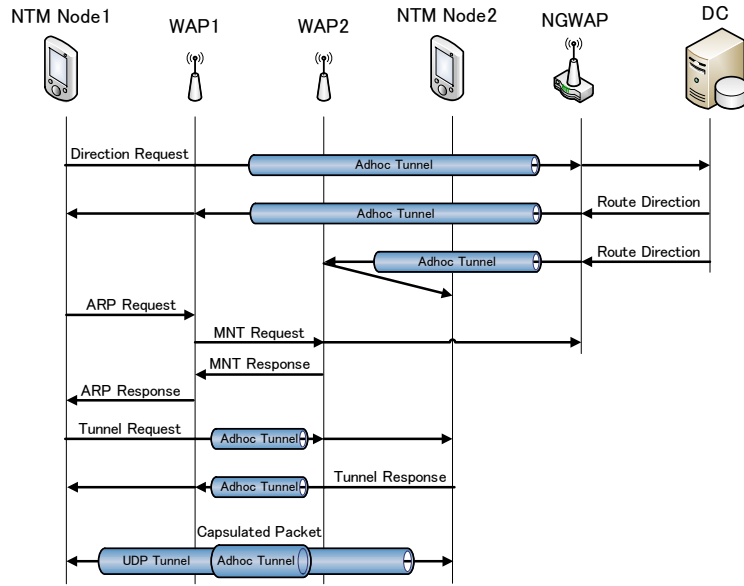


図 8 同一 NGWAP 内の NTM 端末どうしの通信シーケンス

と同様に，NTM 端末 1 と NTM 端末 2 の間には仮想 IP アドレスに基づいた通信が行われる．NTM 端末 1 は NTM 端末 2 の仮想 IP アドレスを宛先にして，実 IP アドレスでカプセル化した後に送信する．WAP は配下の端末からデータパケットを受信すると，MNT を参照して宛先 WAP を決定する．図 9 の場合は NTM 端末 2 と接続される WAP2 が宛先となり，宛先 IP アドレスは WAP2 の実 IP アドレスとなる．WAP1 は宛先を WAP2 とし，配下の端末から受信したパケットを自身の実 IP アドレスでカプセル化して送信する．WAP2 はカプセル化されたパケットを受信するとデカプセル化を行い，元の端末から送信されたパケットを取り出す．その後 NTM 端末 2 に送られ，NTM 端末 2 はパケットから抽出した仮想 IP アドレスを認識し上位アプリケーションへ渡す．逆に，NTM 端末 2 から NTM 端末 1 のパケットを送信する場合も同様のカプセル化/デカプセル化処理が行われる．このように，エンド端末では仮想 IP アドレスに基づいた通信が行われるので，仮に端末が別のネットワーク内に移動して実 IP アドレスが変わっても通信を継続することができる．

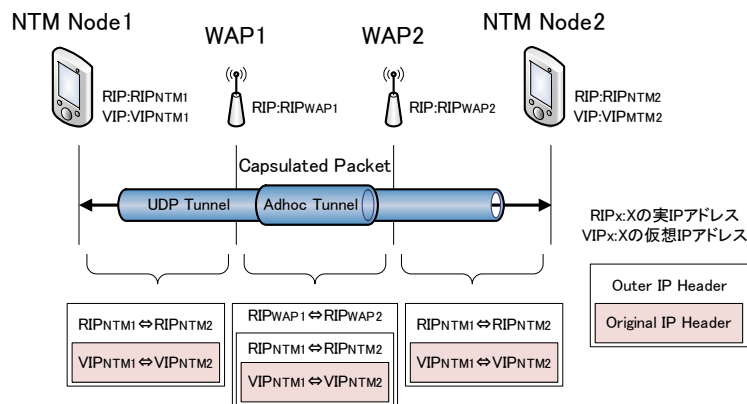


図 9 トンネル通信時のアドレス遷移

図 10 に NGWAP 配下の NTM 端末 1 がグローバルネットワーク上の NTM 端末 2 に通信を行う時の動作シーケンスを示す。NTM 端末 1 は DC に Direction Request を送信し、NTM 端末 2 の名前解決およびトンネル構築指示の要求を行う。DC はデータベースの登録情報から両端末の位置関係を把握し、互いの通信相手の IP アドレスを付加した Route Direction を両端末に送信する。これを受信すると、NAT 配下の NTM 端末 1 から NTM 端末 2 に Tunnel Request が送信され、NTM 端末 2 から応答が返される。以上によりトンネル構築が完了し、エンドツーエンドの通信が行われる。

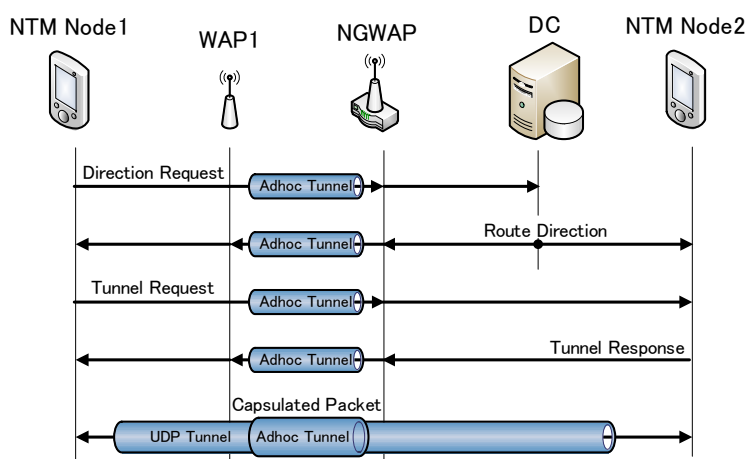


図 10 NGWAP 内の NTM 端末とグローバル上の NTM 端末の通信シーケンス

図 11 は NGWAP 内にある一般端末 GN が起動し、グローバルネットワーク上の NTM 端末に通信を行う時の動作シーケンスである。前提として、GN は起動前の状態であり、NGWAP は DCgw に、NTM 端末は DC<sub>NTM</sub> に管理されているものとする。GN は起動時に接続先の WAP から DHCP によりプライベート IP アドレスを取得する。GN は NTM 端末と通信を行う際に通信相手の名前解決を行うため DNS クエリを行う。通信相手はグローバル上に位置しているため NGWAP に対しアドレス解決を行う。この時 3 章に記述した LT 生成処理と同様の方法で MNT 生成処理を行う。GN は DNS クエリを NGWAP に送信し、これを受信した NGWAP は端末からの名前解決処理をフックして、一時的にカーネルに待避する。その後 DCgw に名前解決とトンネル構築指示の依頼を行うための Direction Request を送信する。DCgw は自身のデータベースから NTM 端末の登録情報を検索し、ヒットしなければ NTM 端末を管理する別の DC に名前解決を依頼する。DC<sub>NTM</sub> の名前解決によって NTM 端末のアドレス情報を取得すると、DCgw はこの情報を元にトンネル構築を指示する Route Direction を NGWAP と NTM 端末に送信する。Route Direction を受けて、NGWAP と NTM 端末間で Tunnel Request/Response のやり取りを行い、トンネルを構築する。この後、NGWAP は待避していた DNS クエリの応答として、NTM 端末の実 IP アドレスを仮想 IP アドレスに書き換えて GN に送信する。これにより、仮想 IP アドレスを GN の通信相手の IP アドレスとして認識することができる。以上により、NGWAP と NTM 端末間を UDP トンネルで構築した通信が行われる。

図 12 は図 11 の場合で通信が行われた時のアドレス遷移を示す。GN は通信相手の仮想 IP アドレスを宛先にしてパケットを送信する。これを受信した WAP は MNT を参照して中継先の WAP を

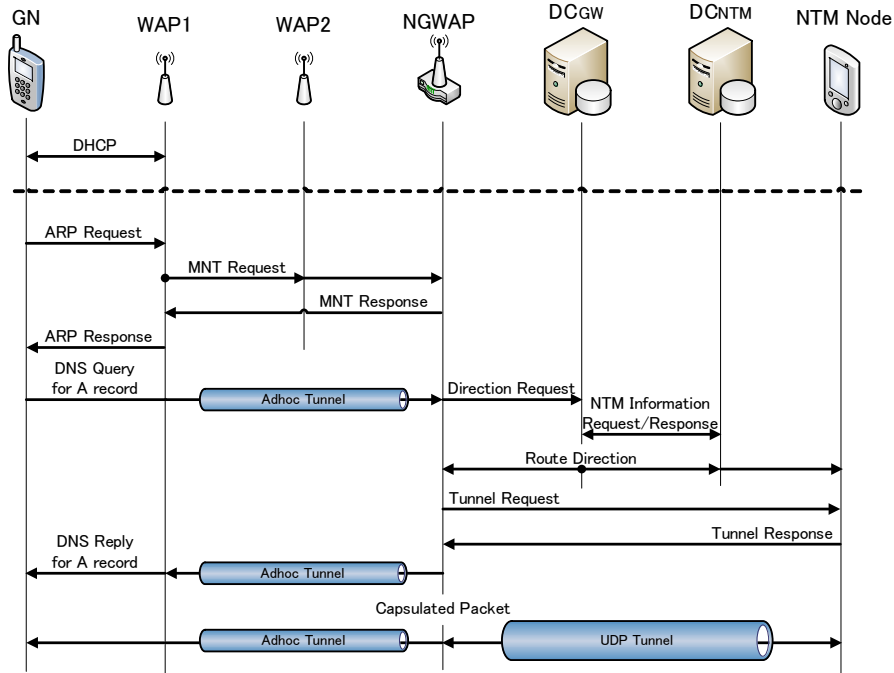


図 11 NGWAP 内の一般端末がグローバル上の NTM 端末に通信を開始する時の動作シーケンス

決定し、自身の実 IP アドレスでカプセル化して送信する. NGWAP はエンド端末が GN の場合は NTMobile として動作し、送られてきたパケットのカプセル化/デカプセル化を行う. NGWAP は送られてきたパケットをデカプセル化し、送信元 IP アドレスを自身の仮想 IP アドレスに書き換える. この時 NGWAP は IP アドレスを対応付けるためのテーブルを生成する. その後自身の実 IP アドレスでカプセル化して通信相手に送信する. このように、NGWAP と NTM 端末間では仮想 IP アドレスに基づいた通信が行われる.

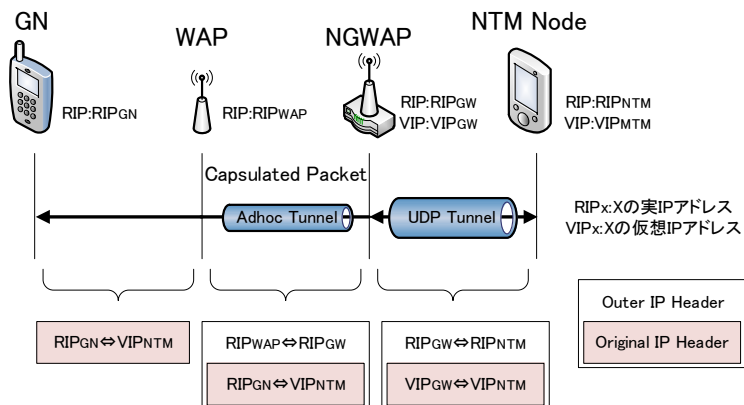


図 12 NGWAP 内の一般端末とグローバル上の NTM 端末のトンネル通信のアドレス遷移

図 13 に NGWAP 内の GN がメールサーバに通信を行う時の動作シーケンスを示す. 前提として、GN は起動前の状態であり、NGWAP は DC に登録処理が完了しているものとする. GN は起動すると接続先の WAP から DHCP によりプライベート IP アドレスを取得する. その後、図 11 の場合と

同様に MNT 生成処理が行われ、GN は DNS クエリを送信し、NGWAP から Direction Request が送信される。DC はデータベースを検索した結果自身で名前解決ができないと判断し、DNS サーバに問い合わせを行う。DC は NS レコードや A/AAAA レコード、更に NTMobile 専用となる TXT レコードの問い合わせを行う。通信相手が一般端末の場合や TXT レコードの応答を得ることができないため、通信相手が一般端末だと判断できる。名前解決が終われば送信元端末に通信相手のアドレス情報が送られ、メールサーバにデータパケットを送信することが可能となる。

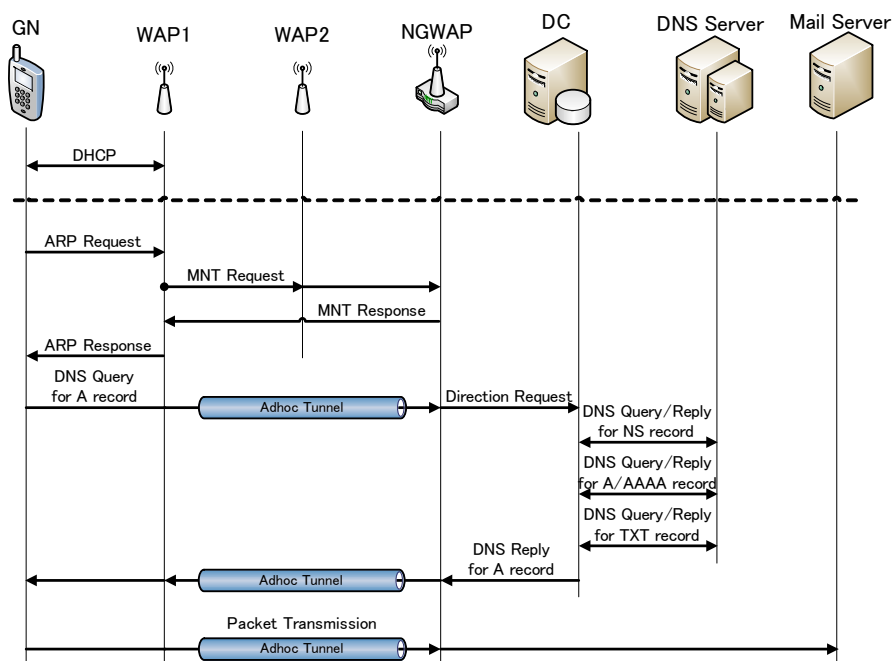


図 13 NGWAP 内の一般端末がメールサーバに通信を開始する時の動作シーケンス

### 4.3 ハンドオーバー時の動作

ハンドオーバーのパターンは、通信端末が無線メッシュネットワーク内を移動することによって接続先の WAP が切り替わることや、外から無線メッシュネットワーク内に移動すること、逆に無線メッシュネットワーク内から外に移動することが考えられる。通信端末が無線メッシュネットワーク内を移動する場合は 3 章と同様の方法で行われる。

NTM 端末が外から無線メッシュネットワーク内に移動する場合は、変化したアドレス情報を DC<sub>NTM</sub> に送信し、端末情報を更新する。その後、4 章 4.2 と同様の方法でトンネル構築処理を行うことによりトンネルを再構築する。NTM 端末が無線メッシュネットワーク内から外に移動する場合も同様の方法でトンネル再構築を行う。NTM 端末の場合は常に仮想 IP アドレスに基づいた通信が行われるため、ネットワークの切り替えにより実 IP アドレスが変化してもトンネル再構築を行うことにより通信を継続することができる。

一方、エンド端末が一般端末の場合は実 IP アドレスに基づいた通信が行われるため、無線メッ

シユネットワーク内や外に移動する場合は通信を継続できない。この点において、NTM 端末を使用することによる利点となっている。一般端末が NGWAP 内にいる場合は NGWAP が NTMobile として動作し、仮想 IP アドレスに基づいた通信が行われる。そのため、NGWAP が移動によって実 IP アドレスが変化してもトンネルの再構築を行うことにより通信は継続できる。一方、一般端末が NGWAP 内を移動しても WAP が切り替わるだけで実 IP アドレスは変わらない。したがって、一般端末は NGWAP の移動を知る必要性はなく、NGWAP 内であれば移動しても通信は継続できる。

## 4.4 E2E フラグによる経路最適化

本方式では新たに E2E(End to End) フラグを導入する。E2E フラグは DHCP の機能により NTM 端末が WAP から取得し、Direction Request のオプションに付加する。Direction Request を受信した DC はこのフラグを認識し、両 NTM 端末にエンドツーエンドの経路構築を指示する。

図 2 は一般的な無線メッシュネットワーク内で NTM 端末が通信を行った時の動作シーケンスであり、図 8 は本方式における動作シーケンスである。NTMobile では、通信する両 NTM 端末が同一の NAT 内にいる場合は最初に RS を経由した経路が構築され、その後にエンド端末側でエンドツーエンドの経路に切り替える。これは、NAT が多段構成である場合に DC からエンドツーエンドの指示を行うと NAT 越え問題により通信が行えないため、これを解決するための対策である。しかしこの方式は、NAT が多段構成ではない場合は RS への経路構築が冗長となる。本方式は無線メッシュネットワークをベースとした提案方式であるため、NAT の多段構成を想定した処理を考える必要はない。そのため、E2E フラグによって直接通信可能であることを DC に示せば、DC は RS へ中継指示を出すことなく両端末にエンドツーエンドの経路指示を出すことができる。

このように、本方式では E2E フラグの導入によって通信する両 NTM 端末が同一の NAT(NGWAP) 内においても RS を一切経由しない経路を構築する。この方式によって、RS の有無に関係なく経路が構築されることから通信の接続性が高まることや、エンドツーエンドの経路構築によってスループットの改善が見込まれる。

## 第5章 まとめ

本研究では、通信接続性と移動透過性を兼ね備えた NTMobile とシームレスハンドオーバーを実現した WAPL を組み合わせることで、NTMobile と WAPL の特長を生かした無線メッシュネットワークを実現する手法を提案した。無線メッシュネットワークは増設によって通信エリアを容易に広げることができるため、災害時の代替的なネットワークとして有用である。他にも、例えば広大なイベント会場で無線メッシュネットワークを構築することによって、携帯電話網に流れるデータをオフロードできる。提案方式では E2E フラグを導入したことによって、同一 NAT 内の NTM 端末どうしが通信する場合に RS を一切経由しない通信経路を構築することができる。NGWAP の実 IP アドレスが変化しても NGWAP は仮想 IP アドレスに基づいた通信が行われるため、配下の一般端末は通信を継続することができる。今後は実用化に向け更に検討を重ね、実装や評価を行う予定である。



## 謝辞

本研究を遂行するに当たり，多大なる御指導と御教授を賜りました渡邊晃教授に心から感謝いたします。

また，本研究を進めるにあたり，御意見ならびに御助言を承りました，名城大学理工学研究科 鈴木秀和助教，三重大学工学研究科 内藤克浩助教に心から感謝いたします。



## 参考文献

- [1] 鈴木秀和, 上醉尾一真, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊晃, NTMobile における通信接続性の確立手法と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.367-379 (2013).
- [2] 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, IPv4/IPv6 混在環境で移動透過性を実現する NT-Mobile の実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.10, pp.2288-2299 (2013).
- [3] 納堂博史, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃, NTMobile における自律的経路最適化の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.394-403 (2013).
- [4] 相原玲二, 藤田貴大, 前田香織, 野村嘉洋, アドレス変換方式による移動透過インターネットアーキテクチャ, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.3899-3897 (2002).
- [5] 寺澤圭史, 鈴木秀和, 渡邊晃, IPv4/IPv6 混在環境で移動透過性を可能にする MobilePPC の実現, 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.1560-1565 (2009).
- [6] Soliman, H., Mobile Ipv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers, RFC5555, IETF (2009).
- [7] 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).
- [8] Amir, Y., Danilov, C., Hilsdale, M. et al., Fast Handoff for Seamless Wireless Mesh Networks, ACM MobiSys (2006).
- [9] 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).
- [10] 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, pp.1859-1871 (2008).
- [11] 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 (DICOMO2006) シンポジウム論文集, Vol.2006, No.6, pp.681-684 (2006).
- [12] 廣瀬達也, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃, NTMobile を用いたネットワークモビリティの提案, 情報処理学会研究報告, 2013-MBL-69(8), pp.1-5 (2013).

