

# NTMobileにおけるIP Flow Mobilityの提案

松岡 穂<sup>1,a)</sup> 柳瀬 知広<sup>2</sup> 田中 久順<sup>2</sup> 鈴木 秀和<sup>1,b)</sup> 内藤 克浩<sup>3</sup> 渡邊 晃<sup>1</sup>

**概要:** 筆者らは移動透過性技術である NTMobile (Network Traversal with Mobility) と異種無線ネットワーク間ハンドオーバーの支援技術である IEEE802.21 を連携することにより, Android スマートフォンでシームレスなハンドオーバーを実現する手法を実証してきた. しかし, 従来手法は特定の通信フローをオフロードすることができないため, アプリケーションによってはハンドオーバー時に QoE (Quality of Experience) が低下してしまう懸念があった. 本稿では, NTMobile を拡張することにより, IP Flow Mobility を実現する手法を提案する. これにより, 特定の通信フローをオフロードすることが可能になり, QoE の向上が期待できる.

## 1. はじめに

スマートフォンやタブレット端末などのモバイル端末の普及により, 外出時は LTE で通信を行い, 自宅や会社にいる場合は Wi-Fi で通信を行うなど, LTE や Wi-Fi などの異種アクセスネットワークを切り替えながら通信する機会が増加している. しかし, モバイル端末にはネットワークの切り替えによる IP アドレスの変化や移動先ネットワークへの接続処理時間によって通信断絶時間が発生する課題がある.

この課題を解決するために, 筆者らは移動透過性技術である NTMobile (Network Traversal with Mobility) [1, 2] と異種無線ネットワーク間ハンドオーバー支援技術である IEEE802.21 [3] を連携することにより Android スマートフォンでシームレスハンドオーバーを実現する手法を実証してきた [4]. この手法 (以後, 従来手法) は一時的にマルチホームになり, 移動後の無線インタフェースでハンドオーバー処理を完了後, 無線インタフェースを切り替えることで通信断絶を削減する. しかし, 従来手法は一時的にマルチホームになるが状態を継続することなく, LTE のみもしくは Wi-Fi のみの状態であるシングルホームに通信を切り替えてしまう. これは, 従来の NTMobile が LTE と Wi-Fi

の同時利用制御機能を持たないことに起因する. これにより, LTE や Wi-Fi の通信特性を考慮して, 信頼性が要求される通信フローは LTE で, 広帯域が要求される通信フローは Wi-Fi で通信を行うといった選択等を行うことで特定の通信フローをオフロードできず, アプリケーションによっては QoE (Quality of Experience) の低下が懸念される.

本稿では, この課題を解決するために NTMobile を拡張して IP Flow Mobility [5] を実現する手法を提案する. 提案手法では, マルチホーム時に一定間隔で測定した LTE と Wi-Fi の RSSI (Received Signal Strength Indicator) および RTT (Round Trip Time) をトリガとしてハンドオーバーを通信断絶前に検知し, 通信相手へのトンネルの追加構築を行い, 構築完了後, 通信フローを各トンネルに振り分けることで, 特定の通信フローをオフロードする. また, マルチホームからシングルホームに切り替える場合は従来の NTMobile におけるシグナリングを不要とするハンドオーバーを行い, LTE/Wi-Fi のトンネルに全ての通信フローを振り分ける. これらの機能により, 通信断絶時間を発生することなく通信フローを動的に制御することを実現する.

以下, 2 章で NTMobile と IEEE802.21 を連携した従来手法の概要および懸念される課題, 3 章で提案手法の動作および考察について述べ, 最後に 4 章でまとめる.

## 2. NTMobile と IEEE802.21 の連携手法

### 2.1 NTMobile

NTMobile のネットワークアーキテクチャを図 1 に示す. NTMobile は, DC (Direction Coordinator) や RS (Relay Server), NTMobile 実装端末である NTM 端末で構成される. DC は NTM 端末が通信に使用する仮想 IP アドレス

<sup>1</sup> 名城大学理工学部  
Department of Science and Technology, Meijo University  
<sup>2</sup> 名城大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Meijo University  
<sup>3</sup> 愛知工業大学情報科学部  
Department of Information Science, Aichi Institute of Technology  
a) minoru.matsuoka@ucl.meijo-u.ac.jp  
b) hsuzuki@meijo-u.ac.jp

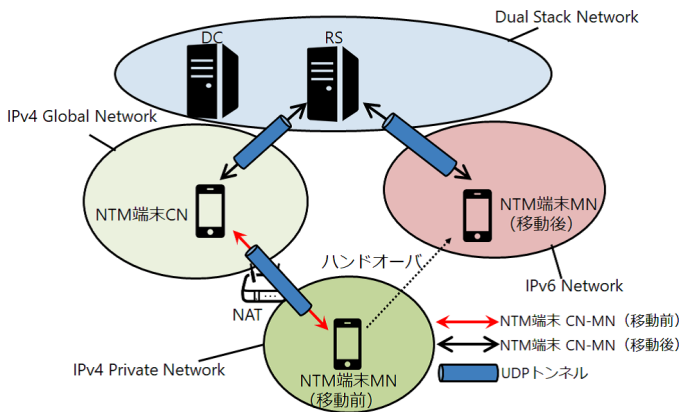


図 1 NTMobile の概要

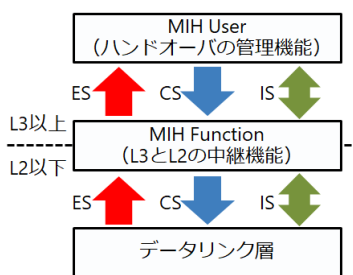


図 2 IEEE802.21 フレームワーク

の割り当ておよび管理, NTMobile 通信に利用される UDP トンネルの経路構築指示を行う. RS は IPv4/IPv6 ネットワーク間の通信など直接通信ができない場合にパケットを中継する. DC や RS はデュアルスタックネットワークに接続し, 複数台設置することが可能である. NTM 端末は, ネットワークにおいて不変である仮想 IP アドレスをアプリケーションに認識させてトンネル通信を行うことで, 移動に伴う実 IP アドレスの変化を隠蔽する.

## 2.2 IEEE802.21

IEEE802.21 のフレームワークを図 2 に示す. IEEE802.21 フレームワークは, MIH User, MIH Function, データリンク層で構成される. MIH User はネットワーク層に位置し, NTMobile などの移動透過性技術として位置づけられる. MIH Function はネットワーク層とデータリンク層の間に新たに定義されるレイヤであり, 無線インタフェースごとの仕様の違いを吸収する機能を持つ. IEEE802.21 はデータリンク層におけるリンクの確立/切断等のイベント (ES : Event Service) を MIH Function を介して MIH User に通知する. また, MIH User からリンクの確立/切断要求等のコマンド (CS : Command Service) を MIH Function を介してデータリンク層に通知する. これらの機能により, 異種無線ネットワーク間シームレスハンドオーバーが支援される.

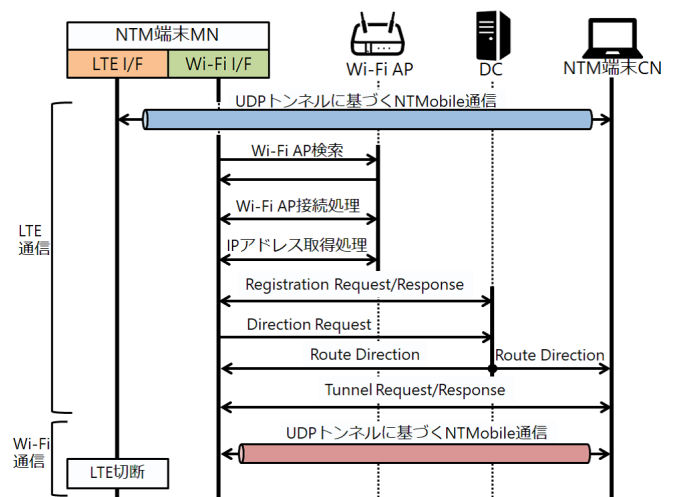


図 3 LTE から Wi-Fi へのハンドオーバーシーケンス

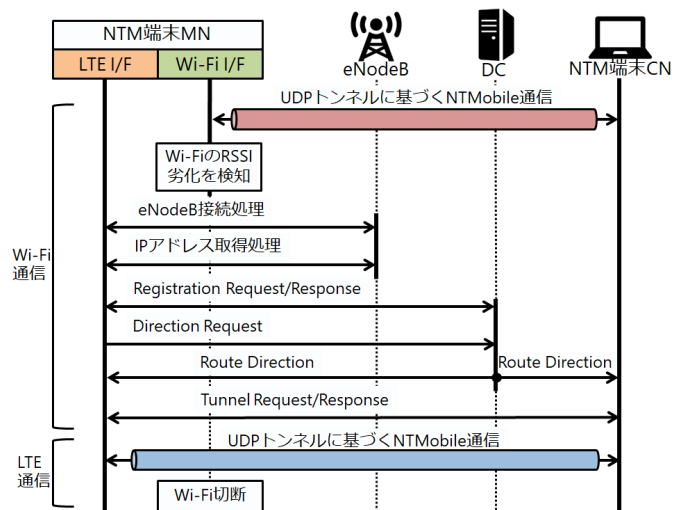


図 4 Wi-Fi から LTE へのハンドオーバーシーケンス

## 2.3 ハンドオーバー処理

LTE ネットワークに接続した NTM 端末 MN (Mobile Node) が Wi-Fi ネットワークにハンドオーバーする場合の処理を図 3 に示す. また, MN が Wi-Fi ネットワークから LTE ネットワークにハンドオーバーする場合の処理を図 4 に示す.

NTM 端末におけるハンドオーバー処理は移動先ネットワーク接続処理, アドレス登録処理, トンネル再構築処理からなる. MN は IEEE802.21 の機能を利用することで Wi-Fi の RSSI を監視し, 移動前の無線インタフェースで通信断絶が発生する前に, 移動後の無線インタフェースで NTMobile のハンドオーバー処理を行う. 以下, 処理の詳細を述べる.

### 2.3.1 移動先ネットワーク接続処理

IEEE802.21 の機能により監視している RSSI が閾値を下回った場合, 移動先ネットワークへの接続処理を行う. MN は LTE の基地局である eNodeB や Wi-Fi のアクセスポイントへ接続し, 実 IP アドレスを取得する. IPv4 プラ

イベントネットワークに接続する場合は DHCP により実 IPv4 アドレスを取得する。IPv6 ネットワークに接続する場合は、ネットワークプレフィックスとインタフェース ID により実 IPv6 アドレスを自動生成し、端末に設定する。

### 2.3.2 アドレス登録処理

MN は実 IP アドレスを取得後、自身を管理する DC に IP アドレス情報を登録する。MN が DC に対し Registration Request メッセージを送信することで登録する。DC は MN から取得したアドレス情報を既に登録されていた移動前のアドレス情報に上書きする。

### 2.3.3 トンネル再構築処理

DC からアドレス情報登録完了メッセージである Registration Response を受信した MN はトンネルの再構築処理を開始する。MN は DC に対し、Direction Request メッセージを送信して最適なトンネル経路指示を要求する。経路指示要求を受信した DC は MN とその通信相手である CN (Correspondent Node) に対し、Route Direction を送信し経路指示を行う。経路指示を受信した MN は CN に対し Tunnel Request を送信しトンネル構築要求を行う。CN からトンネル構築応答である Tunnel Response を受信した MN は IEEE802.21 の機能により移動先ネットワークにハンドオーバーし、新たに再構築したトンネルで NTMobile による通信を行う。

### 2.3.4 懸念される課題

NTMobile と IEEE802.21 を連携することでシームレスハンドオーバーを実現することができる。一時的にマルチホームになり、ハンドオーバー処理開始前の無線インタフェースで NTMobile による通信を、移動先の無線インタフェースでハンドオーバー処理を行うことで通信断絶時間を削減する。しかし、従来手法は NTMobile が LTE と Wi-Fi の同時利用制御機能を持たないため、マルチホーム状態を継続せずシングルホーム状態に遷移する。これにより特定の通信フローをオフロードすることができないため、アプリケーションによっては通信を最適化できず、QoE を向上できない課題が懸念される。

## 3. 提案手法

### 3.1 概要

本稿では、NTMobile の仕組みを拡張することで IP Flow Mobility を実現する手法を提案する。提案手法のネットワークアーキテクチャを図 5 に示す。提案手法では、シングルホームからマルチホームへの切り替えは、ハンドオーバー処理後に各トンネルに通信フローを振り分けて通信を行い、マルチホームからシングルホームへの切り替えは従来の NTMobile によるシグナリングを要することなく行う。これらの機能により通信断絶時間の発生しない IP Flow Mobility を実現する。

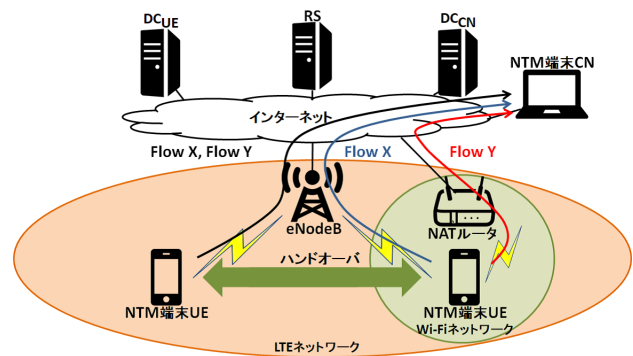


図 5 NTMobile における IP Flow Mobility の概要

表 1 本提案で想定する通信パターン

パターン	UE の通信状態		CN の通信状態
	移動前	移動後	
1	LTE/Wi-Fi	マルチホーム	LTE/Wi-Fi
2	マルチホーム	LTE/Wi-Fi	LTE/Wi-Fi
3	LTE/Wi-Fi	マルチホーム	マルチホーム
4	マルチホーム	LTE/Wi-Fi	マルチホーム
5	LTE	Wi-Fi	LTE/Wi-Fi
6	Wi-Fi	LTE	LTE/Wi-Fi
7	LTE	Wi-Fi	マルチホーム
8	Wi-Fi	LTE	マルチホーム

### 3.2 IP Flow Mobility

IP Flow Mobility は、3GPP (3rd Generation Partnership Project) において議論がされており、通信フローに対してセルラーネットワークと Wi-Fi のどちらを優先して利用するか記載されたルーティングポリシーやネットワークの混雑度などを考慮して、特定の通信フローをオフロードし、ユーザに好ましい QoE を提供する技術である。なお、通信フローは、送信元 IP アドレス、宛先 IP アドレス、送信元ポート番号、宛先ポート番号、トランスポートプロトコルの 5 つの値を持つ組である。

IP Flow Mobility の応用例として例えば、監視カメラを搭載したセキュリティロボットの遠隔制御が考えられる。セキュリティロボットは、監視カメラ映像を映像処理サーバへ、センシングした情報を遠隔制御サーバに送信するものとする。監視カメラ映像の通信フローは広帯域である Wi-Fi で、センシング情報の通信フローは信頼性のある LTE で通信されることが望ましい。IP Flow Mobility はこの要求を満たすことができるので、QoE の向上が期待できる。

### 3.3 NTMobile における IP Flow Mobility のハンドオーバー時の動作

本提案では、表 1 に示す通信パターンを想定しており、パターン 1~4 に該当する、LTE/WiFi (以後、シングルホーム) もしくはマルチホームである CN に対して、UE (User Equipment) が LTE から Wi-Fi にハンドオーバーし

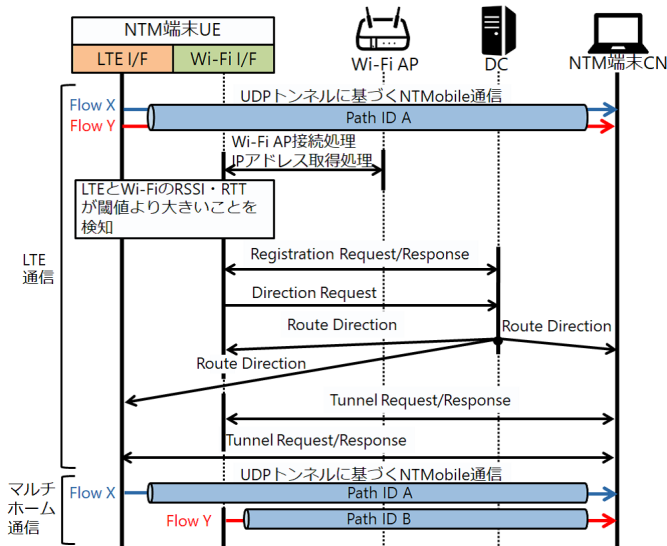


図 6 シングルホームの CN に対して UE が LTE から WiFi にハンドオーバーしてマルチホーム状態になる場合の通信シーケンス (パターン 1)

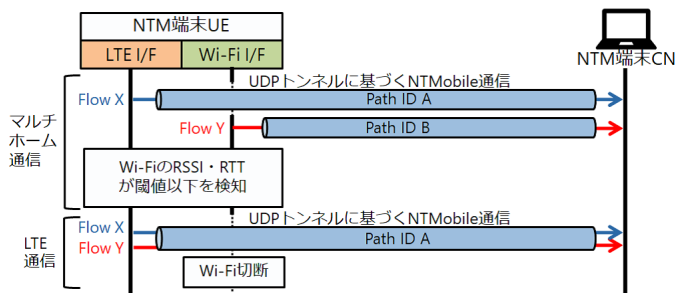


図 7 シングルホームの CN に対して UE がマルチホームから LTE にハンドオーバーする場合の通信シーケンス (パターン 2)

てマルチホーム状態になるもしくはマルチホームから LTE にハンドオーバーする場合を中心に取り上げて、通信シーケンスを示す。パターン 5~8 はハンドオーバトリガやトンネルの構築本数が異なるが従来手法と同様のアプローチであり、図 3, 4 と同様のシーケンスとなる。

ユーザが所有する端末である UE、その通信相手である CN はマルチホーム通信をサポートする拡張 NTMobile が実装された端末である。UE および CN は LTE 用、Wi-Fi 用のルーティングテーブル (Table LTE, Table Wi-Fi) をそれぞれ事前に設定しているものとする。アプリケーションに対する UE から CN への通信フローを Flow X, Y とする。

### 3.3.1 シングルホームの CN に対して UE が LTE から Wi-Fi にハンドオーバーしてマルチホーム状態になる場合

シングルホーム状態の CN に対して LTE で通信を行っていた UE が、LTE と Wi-Fi を同時使用して通信するシナリオを考える (パターン 1)。この場面における通信シーケンスを図 6 に示す。

UE は CN に対して LTE でトンネルを構築し、Flow X,

Y の通信を行っているものとする。UE が移動して LTE に加えて Wi-Fi に接続したとき、UE は LTE と Wi-Fi の RSSI と RTT を一定間隔で取得する。それらが閾値より大きい場合、UE は DC に対して Registration Request を送信し、Wi-Fi アドレス登録処理を行う。このとき、DC は UE の LTE および Wi-Fi のアドレス情報を保持することになる。アドレス登録を完了した UE は、DC に対し Direction Request を送信し、トンネル経路指示要求を行う。DC は UE からのトンネル経路指示要求を受け、トンネル経路を決定し、UE および CN へ Route Direction を送信しトンネル構築経路指示を行う。DC は UE および CN に対して、それぞれが使用している無線インタフェースに対して経路指示を行うこと、考えられる全ての通りのトンネル構築経路指示を行う。UE は DC からのトンネル構築経路指示を受け、LTE および Wi-Fi インタフェースから CN へ計 2 つの Tunnel Request を送信し、トンネル構築要求を行う。その後、トンネル構築応答である Tunnel Response を受信し、トンネル構築を完了した UE はルーティングポリシーから CN に対する 2 本のトンネルに対して通信フローを振り分ける。このとき、UE と CN は Tunnel Request/Response を利用してトンネル優先度情報を交換する。トンネル優先度情報は UE、CN のそれぞれの LTE と Wi-Fi の RTT の比較結果である。以後、定期的に交換が行われる。ここでは、UE はルーティングポリシーとトンネル優先度により、Flow X を Path ID A のトンネルに、Flow Y を Path ID B のトンネルに振り分けたものとする。

### 3.3.2 シングルホームの CN に対して UE がマルチホームから LTE にハンドオーバーする場合

LTE と Wi-Fi を同時使用してシングルホームの CN と通信を行っていた UE が再度 LTE のみの通信を行うシナリオを考える (パターン 2)。この場面における通信シーケンスを図 7 に示す。

Wi-Fi の RSSI と RTT が閾値以下となることを検知した UE はトンネル優先度情報交換を利用して自身の Wi-Fi インタフェースを切断することを CN に通知する。UE は通知完了後、全ての通信フローを LTE インタフェースに割り当て、その後 Wi-Fi を切断する。これによりシングルホームである CN に対する UE のマルチホームから LTE のみへのハンドオーバーは従来の NTMobile のハンドオーバーによるシグナリングを必要とすることなく即座に切り替えることができる。

### 3.3.3 マルチホームの CN に対して UE が LTE から Wi-Fi にハンドオーバーしてマルチホーム状態になる場合

マルチホーム状態の CN に対して LTE で通信を行っていた UE が、LTE と Wi-Fi を同時使用して通信するシナリオを考える (パターン 3)。この場面における通信シーケンスを図 8 に示す。

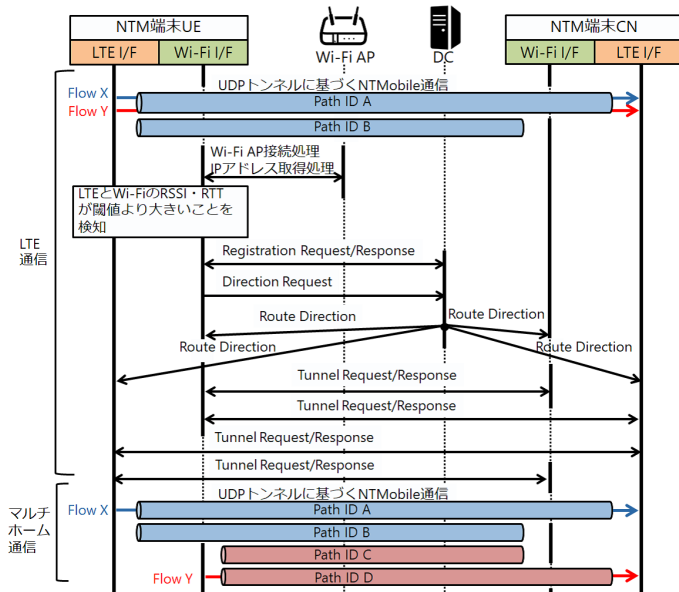


図 8 マルチホームの CN に対して UE が LTE から Wi-Fi にハンドオーバーしてマルチホーム状態になる場合の通信シーケンス (パターン 3)

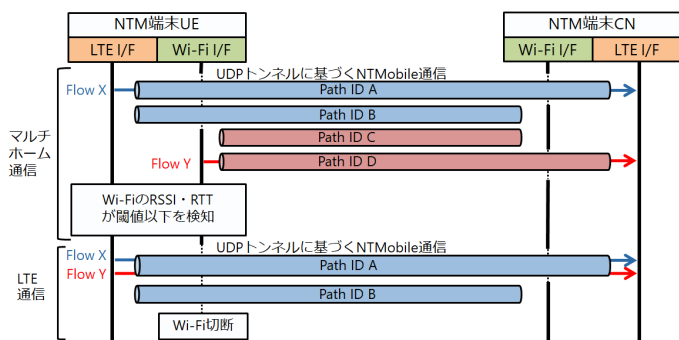


図 9 マルチホームの CN に対して UE がマルチホームから LTE にハンドオーバーする場合の通信シーケンス (パターン 4)

UE は LTE インタフェースで CN の LTE および Wi-Fi インタフェースと 2 本のトンネルを構築して NTMobile による通信を行っているものとする。UE は最もトンネル優先度の高い Path ID A のトンネルを用いて Flow X, Y の通信を行っているものとする。

UE が移動して LTE に加えて Wi-Fi に接続したとき、UE はパターン 1 と同様にハンドオーバー検知、Wi-Fi アドレス登録処理、DC へのトンネル経路指示要求を行う。DC からのトンネル経路指示を受けた UE は、LTE および Wi-Fi インタフェースから CN へ計 4 つの Tunnel Request を送信し、トンネル構築要求を行う。その後、トンネル構築応答である Tunnel Response を受信し、トンネル構築を完了した UE はルーティングポリシーとトンネル優先度から CN に対する 4 本のトンネルに対して通信フローを振り分ける。ここでは、UE は Flow X を Path ID A のトンネルに、Flow Y を Path ID D のトンネルに振り分けたものとする。

### 3.3.4 マルチホームの CN に対して UE がマルチホームから LTE にハンドオーバーする場合

LTE と Wi-Fi を同時使用してマルチホームの CN と通信を行っていた UE が再度 LTE のみの通信を行うシナリオを考える (パターン 4)。この場面における通信シーケンスを図 9 に示す。

Wi-Fi の RSSI と RTT が閾値以下となることを検知した UE はパターン 2 と同様にトンネルの優先度交換を利用して CN に対して自身の Wi-Fi インタフェースを切断することを通知する。UE は通知完了後、全ての通信フローを LTE インタフェースに割り当て、その後 Wi-Fi を切断する。これによりマルチホームである CN に対する UE のマルチホームから LTE のみへのハンドオーバーは従来の NTMobile のハンドオーバーによるシグナリングを必要とすることなく即座に切り替えることができる。

### 3.4 IP Flow Mobility 時の UE の動作

UE はアプリケーションから送信された仮想 IP アドレス宛パケットをフックし、通信フローをもとにルーティングポリシーを検索することで送信元インタフェースを決定する。その後、UE はトンネルの優先度を考慮して、最も優先度の高いトンネルを決定する。例えば、通信フローに対する優先度が Priority LTE であった場合は、最も優先度の高い LTE のトンネルを決定し、Table LTE を参照してカプセル化および暗号化を行う。その後、これを UE は CN へ LTE を用いて送信する。Priority LTE と同様に Priority Wi-Fi の仮想 IP パケットは Table Wi-Fi を参照してカプセル化および暗号化して Wi-Fi を用いて送信する。CN が UE から受信したパケットは、CN によりデカプセル化され、復号し、該当アプリケーションにデータが渡される。なお、UE と CN の間に構築されているトンネルは全て同じ共通鍵で暗号化される。

### 3.5 考察

#### 3.5.1 通信フローに対する優先度

UE はルーティングポリシーに記載されている通信フローに対する優先度を考慮することで適切に通信フローを振り分ける。LTE を優先する Priority LTE、Wi-Fi を優先する Priority Wi-Fi に加えて、RTT が最小のトンネルを優先する Priority RTT を考慮することで、通信フローのリアルタイム性の要求に対応可能であると思われる。また、M2M 通信における遅延耐性パケットに着目して通信路的・空間的・時間的に 3 次元オフロードする MDOP (Mobile Data Offloading Protocol) [6, 7] に対応して通信フローを LTE や Wi-Fi のトンネルにスケジューリングすることで、LTE ネットワークの混雑度を考慮したフロー振り分けが可能になると思われる。なお、ルーティングポリシーに該当しない通信フローの扱いは今後の検討課題とする。

### 3.5.2 非対称な通信経路

提案手法において、UE および CN はそれぞれ異なるルーティングポリシーを持ち、それぞれが通信フローをトンネルに割り振る。これにより、1つのセッションにおいて非対称な通信経路が発生する。しかし、NTMobile では構築したトンネルに対し、UE と CN が制御パケットを投げ合うことで通信到達性を確保している。また、NTMobile を利用して通信するアプリケーションは端末の位置によらず不変である仮想 IP アドレスを認識する。以上より、非対称な通信経路によるパケットロスを発生することなく UE と CN において IP Flow Mobility を実現することが可能である。なお、対称な通信経路を要求する通信フローへの対応は今後の検討課題とする。

### 3.5.3 ハンドオーバー検知

UE は LTE および Wi-Fi の RSSI, RTT を一定間隔で測定することでハンドオーバーを通信断絶前に検知する。これは、3GPP LTE システムにおける eNodeB 間の適応的ヒステリシスハンドオーバー手法 [8] を LTE-Wi-Fi 間に適用することで実現される。この手法は、測定した RSSI と RTT により変化する場合を一定時間 (time-to-trigger) 満たし続けた場合にハンドオーバーする。これにより、ピンポンハンドオーバー [9] を抑制することが可能となる。適応的ヒステリシスハンドオーバー検知に関するパラメータは今後の検討課題とする。

以上の機能により、NTMobile を拡張することでシームレスな IP Flow Mobility を実現できる。これにより、QoE の向上が期待できる。

## 4. まとめ

本稿では、NTMobile を拡張することでシームレスな IP Flow Mobility を実現する手法を提案した。提案手法により、NTMobile と IEEE802.21 の連携手法において懸念される特定の通信フローをオフロードできないことによる QoE の低下を解決する。

今後は、UE のフロー振り分け動作の詳細設計を行い、Android スマートフォンに提案手法を実装する予定である。検討課題である適応的ヒステリシスハンドオーバーのパラメータは実装段階において実機で動作検証することで確定させる予定である。また、ルーティングポリシーに該当しない通信フローの扱いはモバイルデータ増加予測 [10] や QoE への影響を考慮して定める予定である。

## 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 NTMobile の実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 10, pp. 2288-2299

- (2013).
- [3] : IEEE 802.21 Standard, "Local and Metropolitan Area Networks - Part 21: Media Independent Handover Services", Technical report, IEEE Computer Society (2009).
- [4] Okubo, Y., Suzuki, H., Naito, K. and Watanabe, A.: A Seamless Handover Method Using IEEE 802.21 and NT-Mobile for Android Smartphones, *Proceedings of The Ninth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking*, Vol. 2016, No. 12, pp. 1-2 (2016).
- [5] G.Giaretta: IP flow mobility and seamless Wireless Local Area Network (WLAN) offload; Stage 2, TS 23.261, 3GPP (2018).
- [6] 西岡哲朗, 木谷友哉, 太田剛, 峰野博史: モバイルデータオフローディングプロトコル (MDOP) の提案, マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol. 2014, pp. 613-620 (2014).
- [7] 町田樹, 望月大輔, 安孫子悠, 大岸智彦, 峰野博史: 空間的オフローディングを用いたモバイルデータオフローディングプロトコルの評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 1, pp. 168-178 (2018).
- [8] LEE, D.-W., GIL, G.-T. and KIM, D.-H.: A Handover Decision Strategy with a Novel Modified Load-Based Adaptive Hysteresis Adjustment in 3GPP LTE System, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E94.D, No. 6, pp. 1130-1136 (online), DOI: 10.1587/transinf.E94.D.1130 (2011).
- [9] Su, D., Wen, X., Zhang, H. and Zheng, W.: A Self-Optimizing Mobility Management Scheme Based on Cell ID Information in High Velocity Environment, *2010 Second International Conference on Computer and Network Technology*, pp. 285-288 (2010).
- [10] Cisco: Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021 (2017). <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf>.