NTMobileによるAndroidスマートフォンのための IP Flow Mobilityの提案

松岡 穂[1] 柳瀬 知広[1] 鈴木 秀和[1] 内藤 克浩[2] 渡邊 晃[1]

概要：複数の通信インタフェースを備えたモバイル端末の普及により，LTE や Wi-Fi などの異種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，ネットワークを切り替える場合，全てのトラフィックがオフロードされるため，VoIP（Voice over IP）といったリアルタイム性を要求するフローなどの通信品質が低下する場合が懸念される．この懸念される課題を解決するために，本稿では，ユーザ空間で実装可能な移動透過性技術である NTMobile（Network Traversal with Mobility）を拡張し，通信断絶の発生しない端末主導型の IP Flow Mobility を実現する手法を提案する．また，NTMobile システムの再設計を行い，提案手法を実現するためのモジュール構成等について述べる．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，ユーザの体感品質 QoE（Quality of Experience） の向上が期待できる．

A Proposal of IP Flow Mobility for Android Smartphone Using NTMobile

MINORU MATSUOKA[1] TOMOHIRO YANASE[1] HIDEKAZU SUZUKI[1] KATSUHIRO NAITO[2]
AKIRA WATANABE[1]

1. はじめに

スマートフォンやタブレット端末といったモバイル端末の普及により，モバイルデータトラフィックが増加しており，2022 年には毎月約 77.5 エクサバイトの通信量が発生することが予測されている [1]．このモバイルデータトラフィック増加の対応策の 1 つとして，Wi-Fi オフローディングが挙げられ，現在ユーザは外出時は LTE で通信を行い，自宅や公衆無線 LAN では Wi-Fi で通信を行うなど，異なるネットワークを切り替えながら通信を行っている．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によって通信断絶時間が発生するという課題がある．この課題は移動透過性技術である NTMobile（Network Traversal with Mobility）[2-4] と異種無線ネットワーク間ハンドオーバ支援技術である IEEE802.21[5] を連携するシームレスハンドオーバ手法 [6] により解決することができる．しかし，この手法はフローレベルのオフロードを実行することができないため，VoIP といったリアルタイム性を要求するフローなどの QoE（Quality of Experience）が低下することが懸念される．

この懸念される課題を解決する技術として IP Flow Mobility[7] がある．IP Flow Mobility は端末が複数の通信インタフェースを用いて異種ネットワークに同時に接続し，フローの種類に応じて通信に使用するインタフェースを切り替えることでフローレベルのオフロードを実現する技術である．IP Flow Mobility の実現には，通信相手を認識し続けるために Mobile IPv6[8] などの移動透過性技術の使用が前提となるが，移動先ネットワークの接続による通信断絶が発生し，QoE の低下が発生するという課題がある．

そこで，本稿では，ユーザ空間で実装可能な NTMobile を拡張し，通信断絶の発生しない IP Flow Mobility を実現する手法を提案する．提案手法では，LTE と Wi-Fi の両方に接続した端末が一定間隔で測定した LTE と Wi-Fi の

1 名城大学理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Meijo University
2 愛知工業大学情報科学部
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

© 2019 Information Processing Society of Japan

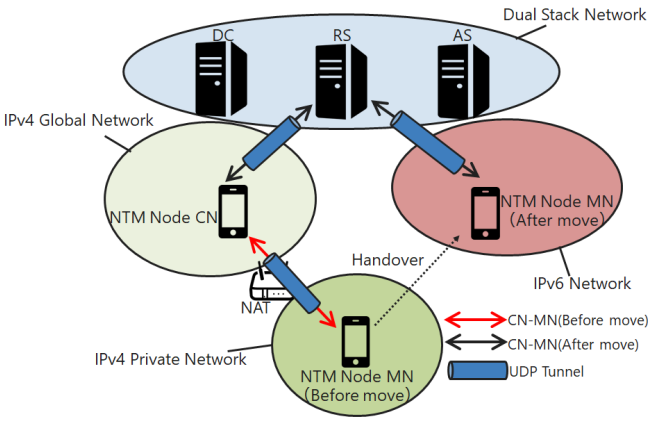

図 1　NTMobile の概要

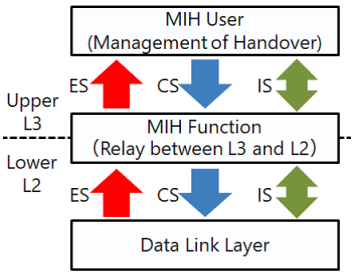

図 2　IEEE802.21 フレームワーク

RSSI（Recieved Signal Strength Indicator）および RTT（Round Trip Time）をトリガとしてハンドオーバ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う．トンネルの構築完了後，フローを各トンネルに振り分ける．また，マルチホームから LTE のみもしくは Wi-Fi のみ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を行い，Wi-Fi もしくは LTE のトンネルに全ての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フローをそれぞれのネットワークに振り分けることを実現する．

以下，2 章で NTMobile と IEEE802.21 を連携した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拡張したモジュール構成などのシステムの拡張点について述べ，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が支援される．

2.3　ハンドオーバシーケンス

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する場合の手順を図 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する場合の手順を図 4 に示す．

NTM 端末におけるハンドオーバ手順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 プライベー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．

© 2019 Information Processing Society of Japan

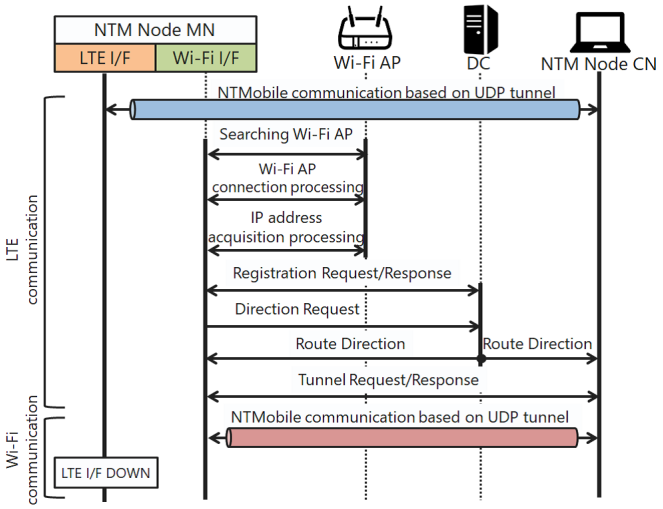

図 3　LTE から Wi-Fi へのハンドオーバシーケンス

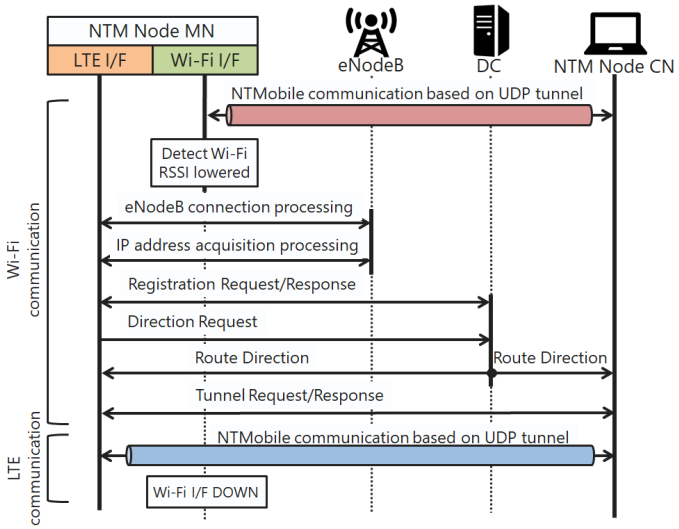

図 4　Wi-Fi から LTE へのハンドオーバシーケンス

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，従来手法は通信を行っていた全てのトラフィックを移動先ネットワークにオフロードする．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，リアルタイム性を要求する VoIP などを利用するアプリケーションによっては通信を最適化できず，QoE が低下する問題が懸念される．

3.　提案手法

3.1　概要

提案手法の概要を図 5 に示す．

ユーザ所有端末である UE（User Equipment），その通信相手である CN は拡張 NTMobile が実装された NTM 端末である．DC_N は NTM 端末 N が通信に用いる仮想 IP アドレス割り当ておよび管理，トンネル経路指示を行う．RS は，異なる NAT 配下のプライベートネットワークに属する NTM 端末間の通信など直接通信ができない場合にパケットの中継を行う．UE および CN は LTE 用，Wi-Fi 用のルーティングテーブル（Table LTE，Wi-Fi）を事前に設定しているものとする．UE から CN へのフローを Flow X，Y とする．

提案手法では，LTE もしくは Wi-Fi のみからマルチホームの切り替えに関しては，通信断絶前にハンドオーバ処理を行い，その後各トンネルにフローを振り分ける．マルチホームから LTE もしくは Wi-Fi のみへの切り替えに関しては，従来の NTMobile によるシグナリングを要することなく行う．

3.2　NTMobile における IP Flow Mobility のハンドオーバシーケンス

本提案では，表 3.2.1 に示す通信パターンを想定している．ここでは，パターン 1 に該当する，LTE もしくは Wi-Fi に接続した CN に対して，LTE で通信を行っていた UE が Wi-Fi に接続してマルチホームになる場合の通信シーケンスについて述べる．この場面における通信シーケンスを図 6 に示す．

3.2.1　ネットワーク接続処理およびアドレス登録処理

UE は CN に対して LTE で RS 経由のトンネルを構築し，Flow X，Y の NTMobile 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．それらが閾値以上であり続けた場合，UE は Wi-Fi インタフェースを使用して DC_{UE} 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_{UE} 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．

© 2019 Information Processing Society of Japan

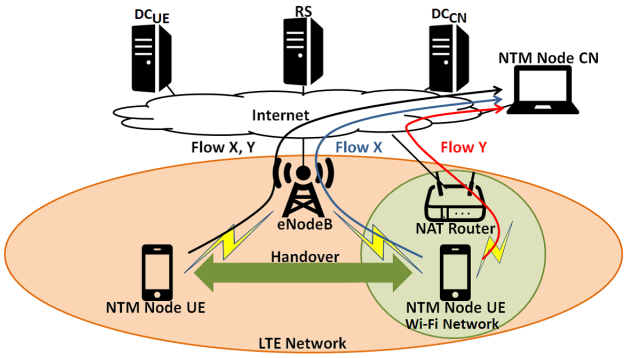

図 5　NTMobile における IP Flow Mobility の概要

表 1　想定する提案手法における通信パターン

Pattern	UE's connection status		CN's connection status
	Before move	After move	
1	LTE/Wi-Fi	Multihomed	LTE/Wi-Fi
2	Multihomed	LTE/Wi-Fi	LTE/Wi-Fi
3	LTE/Wi-Fi	Multihomed	Multihomed
4	Multihomed	LTE/Wi-Fi	Multihomed
5	LTE	Wi-Fi	LTE/Wi-Fi
6	Wi-Fi	LTE	LTE/Wi-Fi
7	LTE	Wi-Fi	Multihomed
8	Wi-Fi	LTE	Multihomed

3.2.2　トンネル追加構築処理

アドレス登録を完了した UE は，DC_{UE} に対し Direction Request を送信し，トンネル経路指示要求を行う．トンネル経路指示要求を受けた DC_{UE} は，このとき CN を管理していなかったため，DC_{CN} に対し，CN のアドレス情報を要求する Node Information Request を送信する．DC_{CN} から Node Information Response を受信して，CN のアドレス情報を取得した DC_{UE} は，UE-CN 間のトンネル経路を決定し，UE および CN（DC_{CN} 経由）へ Route Direction を送信し，トンネル構築経路指示を行う．DC_{UE} 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で，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_{UE} からのトンネル構築経路指示を受けた場合，受信した Route Direction に対する Tunnel Request を送信する．なお，UE は既に構築されたトンネルにおける Route Direction を受けた場合，Tunnel Request は送信しない．

3.2.3　フロー振り分け

CN から Tunnel Response を受信し，トンネル追加構築を完了した UE は，ルーティングポリシーから CN に対する 2 本の RS 経由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 はルーティングポリシーより，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．

マルチホーム状態の CN に対して，UE がマルチホームから Wi-Fi にハンドオーバする場合の通信シーケンスについて考える（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．

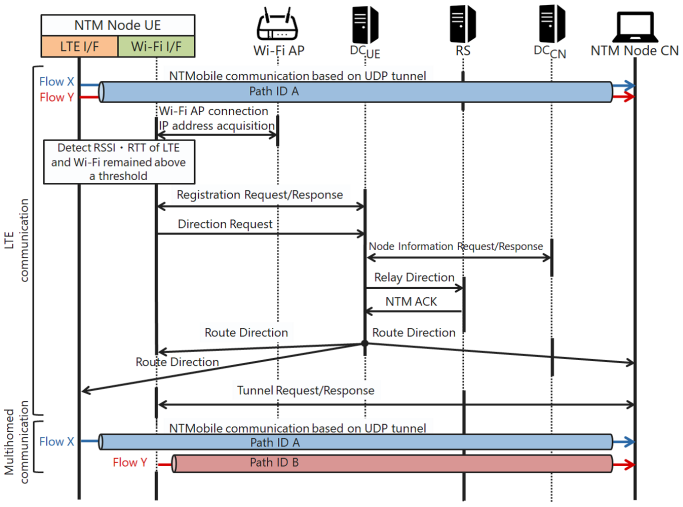

図 6　提案手法におけるハンドオーバシーケンス，パターン 1（CN: LTE/Wi-Fi，UE: LTE からマルチホーム）

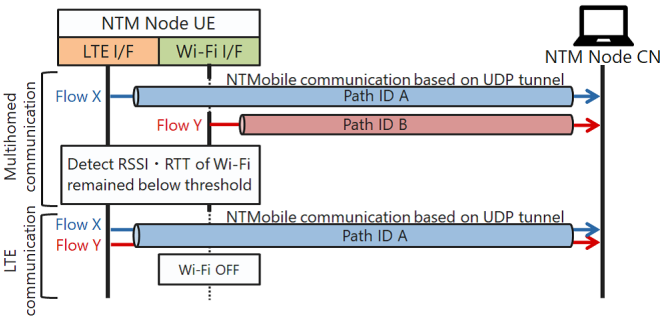

図 7　提案手法におけるハンドオーバシーケンス，パターン 2（CN: LTE/Wi-Fi，UE: マルチホームから LTE）

Wi-Fi の RSSI と RTT が閾値より小さくあり続けたことを検知した UE は Path ID A のトンネルキープアライブを利用して 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．また UE は DC_{UE} に対して，Registration Request を送信し，Wi-Fi 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．ここでは，Path ID A のトンネルに Flow X，Y を割り当てたものとする．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は従来の NTMobile のハンドオーバ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　NTM 端末のモジュール拡張

提案手法におけるシーケンスの実現のためには，自身の接続状況に応じたトンネル構築とルーティングポリシーに基づいた各トンネルへのフロー振り分け機能を持つように NTM 端末のモジュールを拡張する必要がある．NTM 端末の拡張した NTMobile のモジュール構成を図 8 に示す．

拡張した NTMobile は Handover Detection Module

© 2019 Information Processing Society of Japan

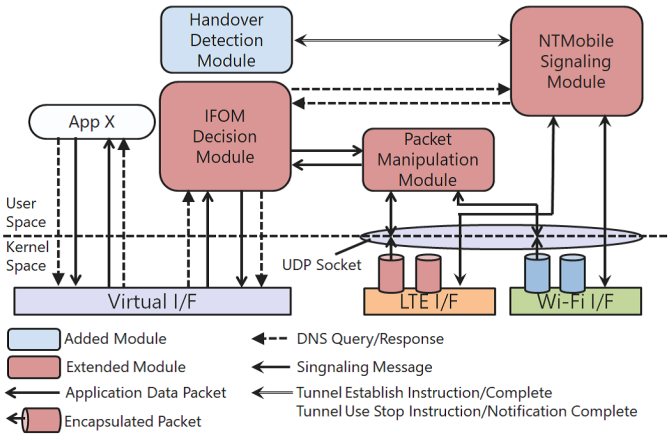

図 8　提案手法における NTM 端末のモジュール構成

(HDM), NTMobile Signaling Module (NSM), IFOM Decision Module (IDM), Packet Manipulation Module (PMM) の 4 つのモジュールで構成される．以下，各モジュールの概要を述べる．

Handover Detection Module（HDM）

HDM は既存の NTMobile に対して追加されたモジュールであり，マルチホーム時に一定間隔で測定した LTE と Wi-Fi の RSSI および RTT からハンドオーバを通信断絶前に検知し，NSM にトンネル構築指示を行うモジュールである．取得した LTE と Wi-Fi の RSSI および RTT が閾値以上である場合，トンネル追加構築を NSM に指示する．

端末がマルチホームから LTE もしくは Wi-Fi のみにハンドオーバする場合，切断する通信インタフェースで構築されたトンネルの利用停止通知を NSM に指示する．取得した LTE と Wi-Fi の RSSI および RTT によるハンドオーバ検知は，適応的ヒステリシスハンドオーバ手法 [9] を LTE-Wi-Fi 間に適用することで行う．この手法は，eNodeB 間の RSSI と RTT により変化する条件式を一定時間（time-to-trigger）満たし続けた場合ハンドオーバを検知する手法である．また，ピンポンハンドオーバを抑制することが可能となる．

NTMobile Signaling Module（NSM）

NSM は，NTMobile のシグナリングを行うモジュールであり，HDM の指示を受けて，指定された通信インタフェースで DC へのアドレス登録や CN へのトンネル構築やトンネル利用停止通知を実行することが可能であるように拡張されている．

IFOM Decision Module（IDM）

IDM は仮想 IP パケットをフックし，パケット解析を行い，DNS クエリである場合は NSM にトンネル構築を指示し，アプリケーションのデータパケットである場合は PMM にパケットの送信指示を行うモジュールである．IDM はマルチホーム時にパケット解析により取得したフロー情報をキーとしてルーティングポリシーを検索し，どの通信インタフェースを使用するか決定し，その決定に基づくパケットの送信を PMM に指示するように拡張されている．

Packet Manipulation Module（PMM）

PMM はトンネルテーブルを参照して，カプセル化パケットの送信および受信処理を行うモジュールである．PMM はマルチホーム時に IDM から指定された通信インタフェースで構築されたトンネルを使用してパケットを送信するように拡張されている．なお，トンネルテーブルには，明示的にカプセル化を行うため，新たに UE の I/F，UE の実 IP アドレス，UE のポート番号，トンネルの優先度に関するフィールドが追加される．トンネルの優先度において，CN に対して UE の LTE インタフェースに複数のトンネルがある場合は UE-CN 間で LTE 同士で構築されているトンネルを優先し，Wi-Fi インタフェースに複数のトンネルがある場合は UE-CN 間で Wi-Fi 同士で構築されているトンネルを優先する．なお，CN に対して，LTE インタフェース，Wi-Fi インタフェースのそれぞれに 1 つ/複数のトンネルが構築されている場合かつルーティングポリシーに使用インタフェースの指定が無い場合，RTT 値が低いインタフェースを採用することが検討されているが，ルーティングポリシーに該当しないフローの扱いは今後の検討課題とする．

ハンドオーバ時のモジュール連携

マルチホーム状態を検知した HDM は LTE と Wi-Fi の RSSI および RTT を一定間隔で測定開始する．それらが閾値以上であり続けたことを検知した HDM は，新たに使用する通信インタフェースによるトンネル追加構築を NSM に指示する．NSM は HDM により指定された通信インタフェースでトンネル追加構築処理を実行する．

トンネルの追加構築完了後，各トンネルに通信フローが割り当てられる．IDM はフックしたデータパケットからフロー情報を取得し，それをキーとしてルーティングポリシーを検索し，割り当てる通信インタフェースを決定する．その決定とデータパケットを PMM に渡し，PMM は決定した通信インタフェースで構築されたトンネルをトンネルテーブルから検索し，得られた自身と CN のアドレス情報，暗号化鍵からパケットをカプセル化，暗号化して送信する．受信パケットはデカプセル化され，復号された後，該当アプリケーションに渡される．

RSSI と RTT が閾値より小さくあり続けたことを検知した HDM は NSM に切断する通信インタフェースで構築されたトンネルの使用停止を送信するように指示する．指示を受けた NSM は継続して使用する通信インタフェースでトンネルの使用停止を CN に通知する．NSM から通知完了を受けた HDM はハンドオーバを行う．

3.4　DC の拡張

NTMobile における IP Flow Mobility の実現のためには，DC が NTM 端末の接続状況を管理してトンネル構築指

© 2019 Information Processing Society of Japan

示を行うことができる必要がある．すなわち，NTM ノードに対する複数のアドレス情報登録を可能にする必要がある．これは，従来の NTMobile における DC が管理するアドレス情報に関するテーブルの扱い方を拡張することで実現できる．

表 2 に従来の NTMobile の DC が持つ管理ノードのアドレス情報に関するテーブルを示す．なお，主要なフィールドのみを示し，フィールド値は簡単な表現にして示されている．

表 2 従来の NTMobile で DC によって管理されるアドレス情報

id	node_id	if_id	rip4	nat_ip4	nat_port
1	nodeA	0	rip4_wifi	nat_ip4_wifi	portA

従来の NTMobile では表 2 の if_id フィールドは使用されておらず，0 が代入されている．NTM 端末が DC に対して Registration Request を送信した場合，DC は if_id に LTE の場合は 1，Wi-Fi の場合は 2 としてアドレス情報を登録することにより，DC は LTE のみ，Wi-Fi のみ，マルチホームといった NTM 端末の接続状態を把握することができる．これにより，DC は NTM 端末の接続状態に基づいた全ての場合のトンネル構築指示が可能となる．

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フローレベルのハンドオーバができないことによる QoE の低下を解決する．今後は，Android スマートフォンに提案手法を実装する予定である．また，ルーティングポリシーに該当しないフローの扱いは QoE への影響を考慮して検討していく予定である．

参考文献

[1] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022 (2018). https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf.

[2] 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).

[3] 内藤克浩，上醉尾一真，西尾拓也，水谷智大，鈴木秀和，渡邊　晃，森香津夫，小林英雄：NTMobile における移動透過性の実現と実装，情報処理学会論文誌，Vol. 54, No. 1, pp. 380393 (2013).

[4] 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).

[5] IEEE 802.21 Standard, ”Local and Metropolitan Area Networks - Part 21: Media Independent Handover Services”, Technical report, IEEE Computer Society (2009).

[6] Okubo, Y., Suzuki, H., Naito, K. and Watanabe, A.: A Seamless Handover Method Using IEEE 802.21 and NTMobile for Android Smartphones, Proceedings of The Ninth International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking, Vol. 2016, No. 12, pp. 1-2(2016).

[7] G.Giaretta: IP ow mobility and seamless Wireless Local Area Network (WLAN) offload; Stage 2, TS 23.261, 3GPP (2018).

[8] C. Perkins, E.: Mobility Support in IPv6, RFC 6275, IETF (2011).

[9] LEE, D.-W., GIL, G.-T. and KIM, D.-H.: A Handover Decision Strategy with a Novel Modi
ed 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).

© 2019 Information Processing Society of Japan