

推薦論文

モバイルインターネット環境に適した 遠隔DLNA通信システムの提案

清水 皓平^{1,a)} 鈴木 秀和¹ 内藤 克浩² 渡邊 晃¹

受付日 2013年5月2日, 採録日 2013年10月9日

概要: 本論文では, IPv4 ネットワークにおいて移動透過性と NAT 越えを実現する NTMobile (Network Traversal with Mobility) を拡張することにより, ホームネットワークと外出先ネットワーク間において簡便なマルチメディアコンテンツ共有を実現する遠隔 DLNA 通信システムを提案する. 提案方式では, 宅外に存在する DMP (Digital Media Player) が NTMobile により, 宅内に設置した DLNA Agent と呼ぶ装置との間に仮想的な UDP トンネルを構築する. これにより, 宅内の DMS (Digital Media Server) に蓄積されたコンテンツへのアクセスを可能とする. 提案方式のプロトタイプシステムを開発して動作確認を行った結果, DMP が宅内の DMS を認識し, DMS が保持するコンテンツを再生できることを確認した. さらに, DMP が通信中にネットワークを切り替えることにより IP アドレスが変化しても, コンテンツの再生を継続することを確認した.

キーワード: DLNA, ホームネットワーク, モバイルインターネット, マルチメディアシステム

A Proposal of a Remote DLNA Communication System for Mobile Internet

KOHEI SHIMIZU^{1,a)} HIDEKAZU SUZUKI¹ KATSUHIRO NAITO² AKIRA WATANABE¹

Received: May 2, 2013, Accepted: October 9, 2013

Abstract: This paper proposes a remote DLNA communication system that makes sharing multimedia contents incredibly easy between a home network and an external network, by expanding functions of Network Traversal with Mobility (“NTMobile”) that can achieve mobility and NAT traversal in IPv4 networks simultaneously. In our proposed method, a Digital Media Player (DMP) which exists outside of the home network creates a virtual UDP tunnel with “DLNA Agent” in the home network by using the NTMobile, and can get access to the contents stored in a Digital Media Server (DMS) in the home network. By implementing our proposed method in a prototype system, we confirmed that the DMP recognizes the DMS within the home network and that we are able to browse the contents held in DMS. In addition, we also confirmed that reproduction of content is maintained even if the IP address changes due to the reason that the DMP switches networks during communication.

Keywords: DLNA, home network, mobile internet, multimedia system

1. はじめに

テレビや HDD レコーダ, PC をはじめとして多くの情報家電が普及している. 特に DLNA (Digital Living Network

本論文の内容は 2012 年 7 月のマルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム 2012 にて報告され, コンシューマ・デバイス&システム研究会主査により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

¹ 名城大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Meijo University, Nagoya, Aichi 468-8502, Japan

² 三重大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Mie University, Tsu, Mie 514-8507, Japan

a) 123430020@ccalumni.meijo-u.ac.jp

Alliance) [1] に準拠した情報家電は、特別な設定をすることなく、また、メーカーや製品の違いに影響されずホームネットワーク (HNW; Home Network) 内においてコンテンツの共有を実現する。このように、利便性の高いコンテンツ共有が行えることから、宅内のみでなく宅外においても簡便なコンテンツ共有を行えることが期待されている。

しかし、DLNA は HNW 内でのコンテンツ共有のみを想定していることや、IPv4 ネットワークにおいては一般的に NAT が導入されていることから、宅外のネットワークから HNW 内に存在する、コンテンツを保持する端末 DMS (Digital Media Server) にアクセスすることができない。

DLNA の宅外利用にまつわる問題を解決し、異なるネットワーク間での遠隔 DLNA 通信を実現する関連研究として、SIP (Session Initiation Protocol) [2] を用いて HNW を相互に接続する方式 [3], [4], [5] や、ホームゲートウェイを改造し、Web ブラウザにより DMS が保持するコンテンツへアクセスする方式 [6], VPN (Virtual Private Network) により HNW を相互に接続する方式 [7], [8] などがある。しかし、これらの方式には一長一短があり、訪問先ネットワークに機器を追加、もしくは機器に改造を加える必要があり、利用場所が制限されてしまったり、コンテンツの伝送時にセキュリティが確保されていないなどの課題がある。さらに、近年の IPv4 アドレス枯渇対策のために、将来 ISP が CGN (Carrier Grade NAT) [9] を導入した場合に、CGN の NAT 越え問題が生じるため、SIP を用いた方式やホームゲートウェイにアクセスを行う方式では利用が困難になることが考えられる。

一方で、スマートフォンやタブレットなど携帯端末の高性能化や LTE, WiMAX といった高速無線通信技術の発達により、モバイルインターネット環境が急激に普及し、ユーザが通信中にネットワークを移動する場合が考えられる。そのため、宅外での簡便なコンテンツ共有という要求に加えて、移動中においてもこれを実現したいという要求が新たに出来た。しかし、前述した関連研究においては、モバイル機器をサポートしている技術は存在するものの、モバイル機器の移動透過性をサポートしている技術はなく、ネットワークの移動や無線インタフェースの切り替えによって IP アドレスが変化した場合に、通信が切断されてしまい、コンテンツの視聴を継続することができない。

IPv4 ネットワークにおける代表的な移動透過性技術として Mobile IPv4 [10] があるが、通信経路上のルータに設定されたイングレスフィルタリング [11] により破棄されることを防止したり、移動端末が NAT 配下に移動することを想定すると、逆方向トンネル [12] や UDP カプセル化 [13] が必須となる。そのため、ヘッダオーバーヘッドやつねに管理端末である HA (Home Agent) を経由した冗長な通信経路により、スループットが低下してしまう。特にモバイルインターネット環境下において、Mobile IPv4 を用いて遠

隔 DLNA 通信を実現した場合には、高ビットレートコンテンツのストリーミング再生が困難になると考えられる。

また、Mobile IPv4 では移動端末から通信相手端末に接続できることを前提としているが、遠隔 DLNA 通信システムでは、通信相手となる DMS は HNW に存在するため、別途 NAT 越え技術や VPN 技術を組み合わせる必要がある。たとえば、STUN (Session Traversal Utilities for NAT) [14] や、TURN (Traversal Using Relays around NAT) [15] などの NAT 越え技術があるが、既設の情報家電機器に新たにプロトコルを追加することはできない。文献 [16] には、Mobile IPv4 と VPN を組み合わせた場合の課題と解決手法が示されているが、Mobile IPv4 のトンネル内で IPsec ESP [17] トンネルを構築したり、NAT 機器の変更や HNW 内に HA と VPN ゲートウェイを設置したりする必要がある。そのため、さらなるスループットの低下や、遠隔 DLNA 通信システムの利用者が専門知識を持たないことを前提とすると、導入や設定は非常に困難であると考えられる。

著者らは、IPv4 ネットワークにおいて NAT 越えと移動透過性を同時に実現する NTMobile (Network Traversal with Mobility) [18], [19] を提案している。NTMobile では、エンド端末に仮想 IP アドレスを割り当てることにより、移動時の IP アドレスの変化を隠蔽し、仮想的な通信路を確立する。また、この仮想的な通信を実ネットワーク上で行うために、エンド端末間に UDP トンネルを構築する。そのため、エンド端末間の通信経路に NAT が存在した場合であっても、アドレス体系に影響されない接続性を実現することができる。エンド端末間の UDP トンネルは、端末の存在するネットワークに応じて可能な限りエンドツーエンドでの通信が行えるように構築される。加えて、NTMobile は NAT への機能追加を必要とせず、通信相手端末が HNW 内に存在しても、NAT 越えと移動透過性を同時に実現することができる。そのため、既存技術の組み合わせによる実現方法と比較して、NTMobile を利用して遠隔 DLNA 通信を実現することにより、どのようなネットワークにおいてもユーザが高品質なメディアコンテンツを再生できるシステムを容易に実現することができる。

本論文では、NTMobile の機能を拡張することにより、DLNA の遠隔利用に関わる諸課題を解決し、ネットワークの移動に対応した遠隔 DLNA 通信システムを提案する。提案方式では、コンテンツの再生を行う端末である DMP (Digital Media Player) に NTMobile を実装する。また、HNW 内に NTMobile に対応した DLNA Agent と呼ぶ機器を設置する。HNW 外の DMP は NAT の背後に存在する DLNA Agent との間に UDP トンネルを構築し、DLNA Agent が HNW 内の DMS 間の通信を中継することにより、DMP と DMS のコンテンツ共有を実現する。DMP は NTMobile に対応しているため、移動透過性を有し、DMP

がコンテンツ視聴中にネットワークを移動しても、通信が切断されることなく視聴を継続することができる。

2章でDLNAの概要と遠隔利用時の技術課題を示す。3章で提案方式を実現するための要素技術であるNTMobileについて概説し、4章で提案方式について示す。5章でプロトタイプの動作検証結果と関連研究との比較評価を示し、6章でまとめる。

2. DLNA

DLNAは、HNW内においてPCやテレビなどの情報家電やモバイル機器を相互接続、連携するためのガイドラインを規定している業界団体である。このガイドラインでは通信プロトコルやファイルフォーマットなどが規定されており、ガイドラインに沿った製品であれば、異なるメーカーや機器にであっても容易に相互接続することが可能である。また、DLNAでは独自の技術を利用しておらず、DLNAに対応した機器はUPnP [20] や HTTP などの標準化された技術を用いて、他の機器と通信を行う。

2.1 DLNAの通信シーケンス

図1にDLNAにおけるコンテンツ再生までの一連のシーケンスを示す。

(1) デバイスの探索

DMPはDLNAアプリケーションを起動すると、ネットワーク上にSSDP (Simple Service Discovery Protocol) [21] で定義されているM-SEARCHメッセージをマルチキャストする。このメッセージを受信したDMSは、自身のIPアドレスやポート番号などの情報を含んだURLを200 OKメッセージに載せて応答する。DMPはこの応答を受信することにより、HNW内に存在するDMSを発見する。

(2) デバイス情報の取得

DMPは取得したURLに対してHTTPリクエスト (GETメソッド) を送信し、DMSから200 OKメッセージと機器情報やサービス情報が記載されたDDD

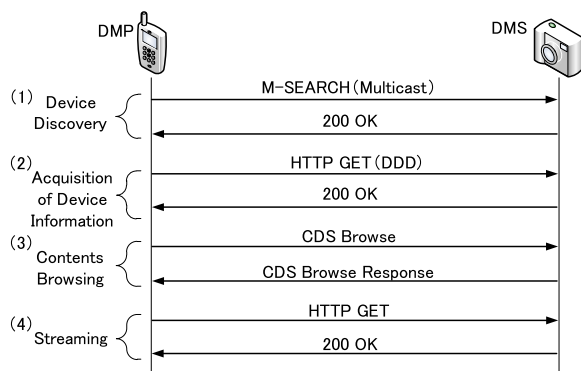


図1 DLNAの通信シーケンス

Fig. 1 Sequence of DLNA communication.

(Device Description Document) を取得する。上記の処理により、DMPのアプリケーション画面にDMSの一覧が表示される。

(3) コンテンツリストの取得

ユーザが表示されたDMSを選択すると、DDDに記載されているCDS (Content Directory Service) のURLに対して、SOAP (Simple Object Access Protocol) によりBrowseコマンドを発行する。コマンドを受信したDMSは、200 OKメッセージとコンテンツリストをXMLデータとして返す。これにより、DMPの画面上にはDMSが保持するコンテンツ一覧が表示される。

(4) コンテンツのストリーム配信

ユーザが再生したいコンテンツを選択すると、DMPはHTTPにより指定されたURLのコンテンツをDMSから取得し、コンテンツのストリーム配信が行われる。以上の処理により、DMPはDMSのコンテンツを視聴することができる。

2.2 遠隔利用における技術課題

DLNAは同一HNW上での利用を想定しており、HNWに存在するDMSに対して異なるネットワークに存在するDMPからアクセスする場合に、次のような課題がある。

課題1：M-SEARCHメッセージの利用範囲

M-SEARCHメッセージはローカルスコープアドレスを用いてマルチキャストされるため、経路途中のルータによって破棄されてしまう。したがって、HNW外に存在するDMPはHNW内のDMSを探索をすることができない。

課題2：NAT越え問題

200 OKメッセージに記載されているDMSのアドレスはプライベートアドレスである。そのため、課題1を解決してDMSの探索ができて、以後のシーケンスにおいてHNW外に存在するDMPからHNW内に存在するDMSへ通信を開始することができない。

課題3：DMSによる送信元IPアドレスのチェック

DMSは異なるサブネットからのアクセスを無視する。そのため、課題2を解決してDMPからDMSへの通信を開始しても、DMSはその要求に対して応答を返すことがない。

3. NTMobile

NTMobileは仮想IPアドレスとUDPトンネルを用いて、グローバルネットワークとプライベートネットワークが混在したIPv4ネットワークにおいて確実な通信継続性と移動透過性を同時に実現する技術である。提案方式はNTMobileを拡張し実現するため、本章でNTMobileについて概説する。以降、端末Nが持つ実IPアドレスを RIP_N 、仮想IPアドレスを VIP_N と定義する。

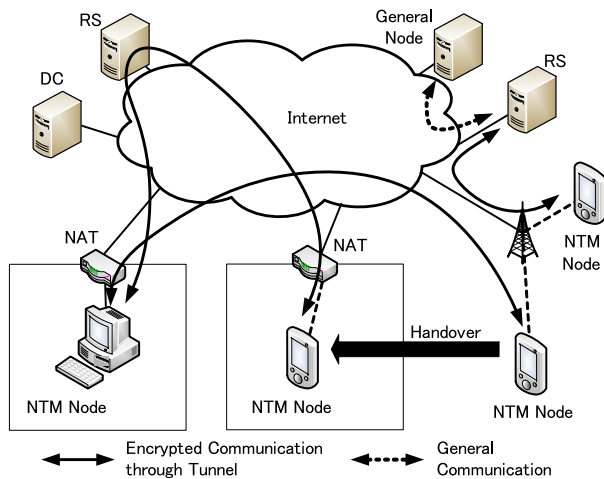


図 2 NTMobile のシステム構成

Fig. 2 System configuration of NTMobile.

3.1 NTMobile のシステム構成

図 2 に NTMobile のシステム構成を示す。NTMobile は NTMobile に対応した端末 (NTM 端末), DC (Direction Coordinator), RS (Relay Server) から構成される。DC は DNS の機能を有しており, NTM 端末の名前とアドレス情報を管理するほか, NTM 端末への仮想 IP アドレスの割当て, 通信ペアのアドレス情報から最適なトンネル経路を決定し, トンネル構築を指示する役割を持つ。RS は異なる NAT 配下に存在する NTM 端末間の通信や, NTM 端末と NTMobile に対応していない一般端末間の通信を中継する役割を持つ。

DC は DNS の仕組みと同様に, NTM 端末の台数に応じてネットワークに複数台設置される。また, RS も中継するトラフィックの増加に対して複数台設置して負荷分散を図っており, NTMobile はスケーラブルなシステムを実現することができる。

3.2 NTMobile の動作

NTM 端末はネットワーク接続時に, 自身の情報を管理する DC へ実 IP アドレスを登録する。このとき, NTM 端末が NAT 配下に存在する場合は, NAT 外側の IP アドレスもあわせて NTMobile 専用レコード (NTM レコード) へ登録する。さらに, NTM 端末には DC から移動によって変化しない一意な仮想 IP アドレスが割り当てられる。NTM 端末はこの仮想 IP アドレスを実 IP アドレスの代わりに上位レイヤに認識させることにより, 通信相手の NTM 端末との間にコネクションを確立する。また, 仮想 IP アドレスのコネクションによるパケットを実際のネットワークで転送するために, 通信相手との間に UDP トンネルを構築する。

NTMobile では, エンド端末の種類や保持する IP アドレスの種類の組合せに応じて, 複数のトンネル構築手順が定義されているが, 本論文では提案方式に関わる手順とし

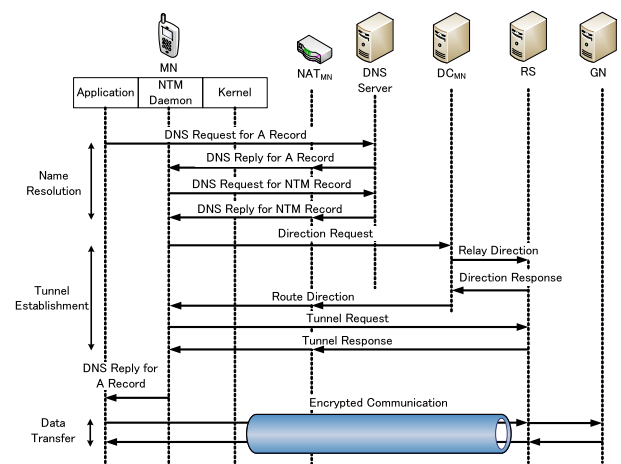


図 3 トンネル構築処理 (通信相手が一般端末の場合)

Fig. 3 Tunnel establishment procedure (for General Node).

て, NTM 端末と一般端末間の通信におけるトンネル構築処理について説明する。図 3 に通信相手が一般端末の場合のトンネル構築シーケンスを示す。ここでは, 通信開始側の NTM 端末を MN (Mobile Node), NTMobile に対応していない一般端末を GN (General Node) と定義する。また, NTM 端末 N を管理する DC を DC_N と表記する。

MN は通信開始時に GN の名前解決処理を行い, A レコードを取得する。また, この処理と並行して GN の NTM レコードの取得処理も行う。ここで, GN は一般端末であるため, MN は NTM レコードを取得することができない。これにより, MN は通信相手が一般端末であると認識する。

次に MN は, 自身のアドレス情報を管理する DC_{MN} へトンネル構築の指示を要求するメッセージ Direction Request を送信する。このメッセージには自体の NTM レコード情報と GN が一般端末であることを示す情報が記載されている。Direction Request を受信した DC_{MN} は, GN の NTM レコードが存在しないことから, RS へ中継指示を行うメッセージ Relay Direction を送信する。RS はこのメッセージに対して応答メッセージ Direction Response を返し, 中継指示が正常に行われたことを DC_{MN} へ通知する。その後, DC_{MN} は, MN に対してトンネル構築経路を指示するメッセージ Route Direction を送信する。なお, Route Direction には, DC_{MN} が GN に対して一時的に割り当てる仮想 IP アドレス VIP_{GN} が記載されている。MN は DC_{MN} からの指示に従って, RS との間でトンネル構築メッセージ Tunnel Request/Response を交換することにより, トンネル経路を構築する。

最後に, MN は DNS の A レコードの問合せ結果に記載された GN の実 IP アドレス RIP_{GN} を DC_{MN} から取得した仮想 IP アドレス VIP_{GN} に書き換えて, アプリケーションへ通知する。以後, GN へ送信されるパケットの宛先は仮想 IP アドレスとなり, MN はこれを構築したトンネル経路を用いて RS へ送信する。RS は受信したパケットを

デカプセル化し、IP ヘッドに設定されている仮想 IP アドレスを実 IP アドレスに変換して転送する。

以上の処理により、MN は RS 経由で GN と通信を開始する。その後、MN が通信中に移動して実 IP アドレスが変化した場合にトンネル経路を再構築するが、MN のアプリケーションが認識している仮想 IP アドレスは変化しない。また、GN は RS と通信しているように見えるため、MN の移動による IP アドレスの変化が隠蔽され、MN と GN は通信を継続することができる。

4. 提案方式

2.2 節であげた DLNA 通信の遠隔利用を実現する際の諸問題を解決するために、NTMobile を応用することにより IPv4 ネットワークにおける NAT 越え問題を解決し、かつ、DMP の移動透過性を実現することができる、モバイルインターネット環境に適した遠隔 DLNA 通信システムを提案する。

4.1 提案方式のネットワーク構成

図 4 に提案方式のネットワーク構成を示す。提案方式では、DMP となる端末に NTMobile を実装する。また HNW 内に DLNA Agent (DA) と呼ぶ、NTM 端末と RS の機能を兼ね備えた装置を新たに設置する。DMP と DA には、DLNA に対応するために 4.2 節に示す拡張した NTMobile を実装する。DA は、NTM 端末である DMP と一般の端末である DMS の通信を中継する役割を持つ。また、DMP は HNW 内の DMS と通信を行うために DA との間にトンネルを構築する。

前提条件として、DMP は DA の FQDN をあらかじめ知っているものとし、DA は自身を管理する DC_{DA} に NTM レコードを登録しているものとする。また、NAT_{DA} は一般のプロードバンドルータを想定し、特殊な改造を行わないものとする。

4.2 各端末の拡張機能

従来の NTMobile を利用して遠隔 DLNA 通信システムを実現するに当たり、DMP および DA において下記のよ

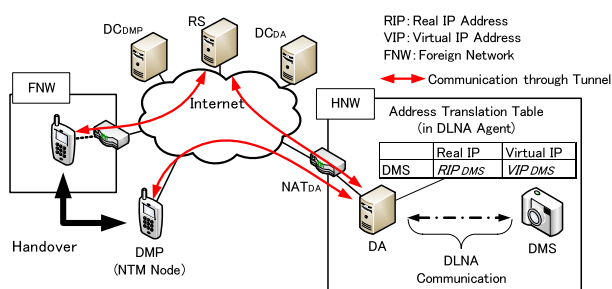


図 4 提案方式のネットワーク構成

Fig. 4 System configuration of proposed method.

うな処理を新たに追加したり、既存機能を拡張する必要がある。

● トンネル構築トリガの追加：

従来の NTMobile は DNS 名前解決処理をトリガにトンネルを構築するが、DLNA による通信シーケンスでは DNS 名前解決処理がない。そこで、DMP が DMS を探索する際にマルチキャストされる M-SEARCH メッセージの送信をトンネル構築のトリガとして追加する。これにより、DMP と DA 間の接続性を確保する。

● DMS の代理探索：

上記により、DA が RS として動作することによって、DMP は DMS と通信することが可能になるが、DMP と DMS は同じサブネットには存在していない。そのため、課題 1 を解決するためには、DA が DMP の代理で DMS を探索し、その結果を DMP へ応答する必要がある。これを実現するために、DMP が DA に対して代理探索を要求する制御メッセージ M-SEARCH Request を定義する。

● 仮想 IP アドレスプールの割当て：

上記機能により、DA は 200 OK メッセージから DMS のプライベート IP アドレスを取得するが、DMP が NTMobile に基づく通信を行うためには、DMP に対して仮想 IP アドレスを通知する必要がある。そこで、DA は複数の仮想 IP アドレスを保持し、これと取得した IP アドレスを対応付け、対応付けた仮想 IP アドレスを DMP に応答する。これにより、DMP は DMS を仮想的に認識して通信を始めるため、課題 2 を解決できる。

● ペイロード内のアドレス書き換えにともなうサイズ調整：

DMP は DMS への通信を、DA を経由して行う。この場合、3.2 節で述べたとおり一般端末に当たる DMS は、RS に当たる DA と通信しているように見えるため、課題 3 を解決できる。ここで、DLNA 通信において DMS から送信されるパケットのペイロードには、DMS の実 IP アドレスが ASCII 文字列として記載されている。そのため、DA において、このアドレスも仮想 IP アドレスに書き換える機能を実装する。また、実 IP アドレスと仮想 IP アドレスの文字列長が異なる可能性があるため、ペイロードサイズおよびパケット長フィールドを調整する機能も追加する。

4.3 通信シーケンス

4.3.1 デバイス探索

図 5 にデバイス探索シーケンスを示す。DMP はアプリケーションが送信する M-SEARCH メッセージを NTMobile カーネルモジュールでフックすると、DC に DA の

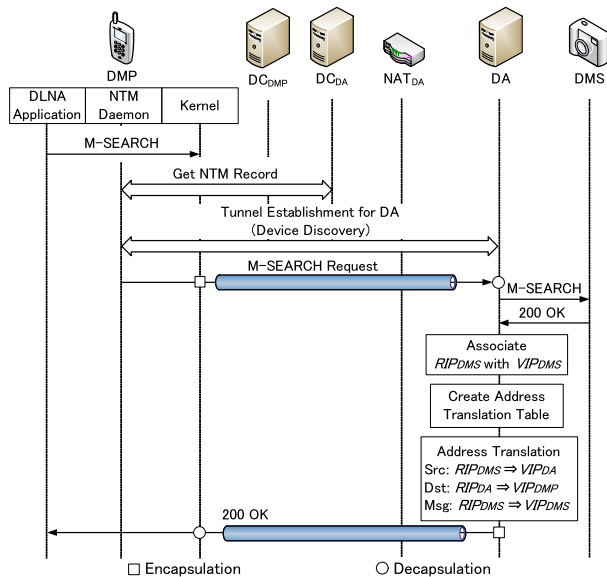


図 5 デバイス探索シーケンス

Fig. 5 Sequence of device discovery.

NTM レコードを問い合わせる。DMP は DC からトンネル構築に必要な DA のアドレス情報を取得すると、通常の NTMobile の手順に従って DA との間にトンネルを構築する。次に、DMP はこのトンネルを用いて、DA に対して M-SEARCH Request を送信する。

DA はこのメッセージを受信すると、DMP の代理として HNW 内に M-SEARCH メッセージを送信し、DMS を探索する。DMS から 200 OK メッセージの応答があった場合、DA はプールしている仮想 IP アドレスから任意の仮想 IP アドレスを選択する。この仮想 IP アドレス VIP_{DMS} と DMS の実 IP アドレス RIP_{DMS} との関連付けを行い、対応関係をアドレス変換テーブルに記録する。その後、200 OK メッセージの宛先を DMP の仮想 IP アドレス VIP_{DMP} に、送信元を DA の仮想 IP アドレス VIP_{DA} に変換する。また、ペイロード内の DMS の実 IP アドレス RIP_{DMS} を関連付けた DMS の仮想 IP アドレス VIP_{DMS} に書き換え、構築したトンネルを用いて DMP へ送信する。

以上の処理により DMP はペイロードから DMS の仮想 IP アドレス VIP_{DMS} を取得し、DMS を仮想的に認識する。

4.3.2 デバイス情報の取得

図 6 にデバイス情報取得シーケンスを示す。DMP はデバイス探索シーケンスにより取得した DMS の仮想 IP アドレス VIP_{DMS} に対して、HTTP GET メソッド (DDD) を送信する。ここで、NTMobile では仮想 IP アドレスにより認識した通信相手ごとにトンネルが構築される。DMP が M-SEARCH Request を送信する際に用いたトンネルは、DA の仮想 IP アドレスに対して構築したものであるため、仮想的に認識した DMS へパケットを送信するために、DMS の仮想 IP アドレス VIP_{DMS} に対してもトンネルを

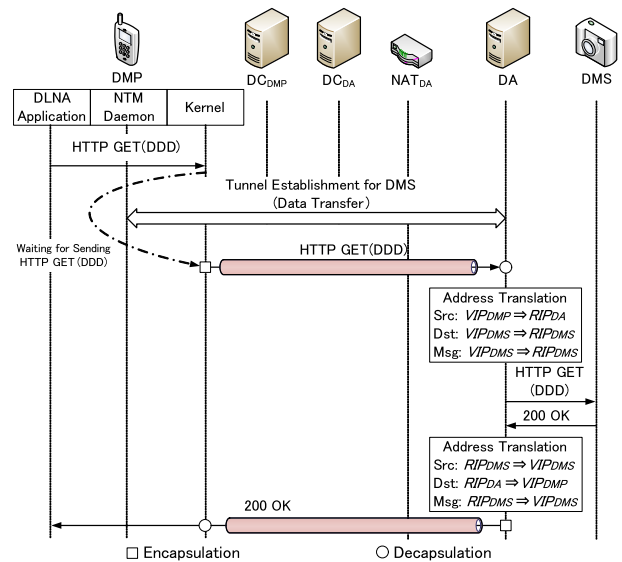


図 6 デバイス情報の取得シーケンス

Fig. 6 Acquisition sequence of device information.

構築する。ここで、DMS は一般端末であるため、RS の役割を担う DA に対してトンネルを構築する。DMP はデバイス探索時にトンネル構築に必要な DA のアドレス情報をすでに取得しているため、NTM レコードの問合せを省略し、DA との間に DMS 宛のデータ転送用トンネルを構築する。その後、トンネルを用いて HTTP GET (DDD) を送信する。

DA は受信したパケットをデカプセル化後、アドレス変換テーブルに従って宛先とペイロード内の DMS の仮想 IP アドレス VIP_{DMS} を実 IP アドレス RIP_{DMS} へ変換する。また、送信元を DA 自身の実 IP アドレス RIP_{DA} に変換し、DMS へ転送する。以上の処理により DMS は通信相手を同一 HNW 内の DA と認識し、DMP は DA を介して DMS へのアクセスを実現する。

DMS からの応答は上記と逆の変換が行われる。すなわち、送信元とペイロードの DMS の実 IP アドレス RIP_{DMS} を仮想 IP アドレス VIP_{DMS} に変換し、宛先を DMP の仮想 IP アドレス VIP_{DMP} に変換して転送する。

4.3.3 コンテンツリストの取得・ストリーム配信

デバイス情報の取得後に行われるコンテンツリストの取得やコンテンツのストリーム配信に関するパケットは、デバイス情報取得時に構築されたデータ転送用トンネルを用いて転送され、DMP はデバイス情報の取得時と同様に DA を介して DMS へのアクセスを行う。

以上の処理により、宅外の DMP と宅内の DMS の間で遠隔 DLNA 通信を実現できる。なお、DMP が訪問先ネットワーク (FNW; Foreign Network) を切り替えた、すなわち DMP が移動した際には、NTMobile と同様に DMP と DA 間のデータ転送用トンネルを再構築するが、DMP のアプリケーションは移動によって変化しない仮想 IP アドレスを用いて通信を行っている。また、DMS は、DA と

通信しているように認識しているため、DMP の移動により IP アドレスが変化しても、DLNA 通信を継続することができる。

5. 実装・評価

5.1 実装

提案方式における DMP と DA のプロトタイプを実装した。なお、DC と RS に関しては拡張を行っていないため、説明は省略する。

5.1.1 DMP

図 7 に DMP のモジュール構成を示す。以下の (A)～(E) および (I)～(V) は、それぞれ図中のモジュールおよび処理手順を示す記号である。DMP はユーザ空間に、従来の NTMobile においてトンネル構築処理などを行う (A) NTM デモンプログラムを実装する。NTM デモンプログラムには、提案方式を実現するための拡張として、NTM デモンプログラムにあらかじめ登録された DA との間にトンネルを構築し、M-SEARCH Request を送信する (B) M-SEARCH モジュールを追加する。また、カーネル空間で動作する (C) トンネルテーブル、(D) パケット操作モジュール、(E) 仮想インタフェースを実装する。

NTM カーネルモジュールは、DLNA アプリケーションから送信される M-SEARCH メッセージを Netfilter よりフックし、NTM デモンプログラムへ渡す (I)。NTM デモンプログラムは、M-SEARCH メッセージを受け取ると、登録されている DA の NTM レコードを問い合わせる (II)。NTM レコードの取得後、トンネル構築処理を行い、このトンネルのエントリをトンネルテーブルに追加する (III)。トンネルの構築後、M-SEARCH モジュールから M-SEARCH Request を生成し (IV)、パケット操作モジュールによりカプセル化後、DA へ送信される (V)。

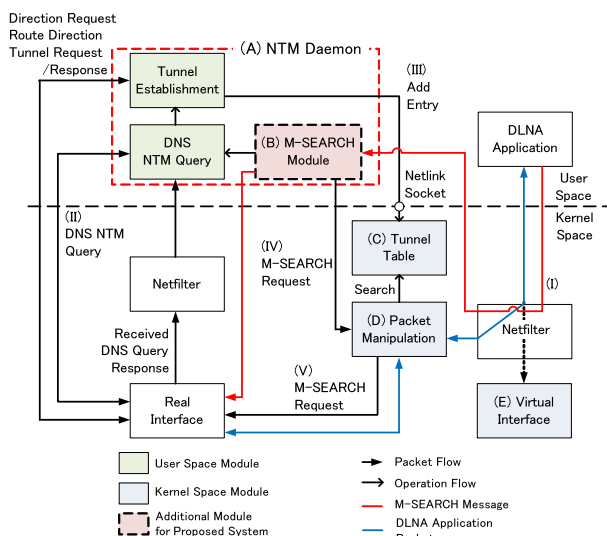


図 7 DMP のモジュール構成

Fig. 7 Module configuration of DMP.

5.1.2 DA

図 8 に DA のモジュール構成を示す。以下の (A)～(F) および (I)～(V) は、図 8 中の記号に対応する。DA はユーザ空間で動作する (A) NTM デモンプログラムを実装する。また、DMP からの M-SEARCH Request を受けて HNW 内に M-SEARCH メッセージをマルチキャストする (B) M-SEARCH モジュールを追加で実装する。カーネル空間には、(C) トンネルテーブル、(D) パケット操作モジュール、(E) 仮想インタフェースを実装する。さらに、DMP と DMS 間のパケットをアドレス変換し転送を行う (F) 転送モジュールをカーネル空間に実装する。

NTM カーネルモジュールは DMP からの M-SEARCH Request を受信すると (I)、パケット操作モジュールによりデカプセル化処理を行い、M-SEARCH Request をユーザ空間の NTM デモンプログラムへ渡す (II)。これをトリガとして M-SEARCH モジュールが動作し、M-SEARCH メッセージをネットワークへマルチキャストする (III)。DMS からの 200 OK を受信すると、パケットは Netfilter によりフックされ、転送モジュールへと渡される (IV)。パケットを受け取った転送モジュールは、ヘッダのアドレス変換を行い、DMP へパケットを転送する (V)、(IV)。DMP からのパケットも同様に受信後に転送モジュールへと渡され、アドレス変換を行った後に DMS へ転送する。

5.2 動作検証・評価

図 9 に動作検証を行ったネットワーク構成を示す。VMware ESXi 4.1 を利用して、DC および RS を仮想マシンとして構築した。DMP はオープンソースである VLC media player 1.0.6^{*1}を使用し、HNW 内の DMS へアクセスを行う。DMS はオープンソースである uShare^{*2}により実

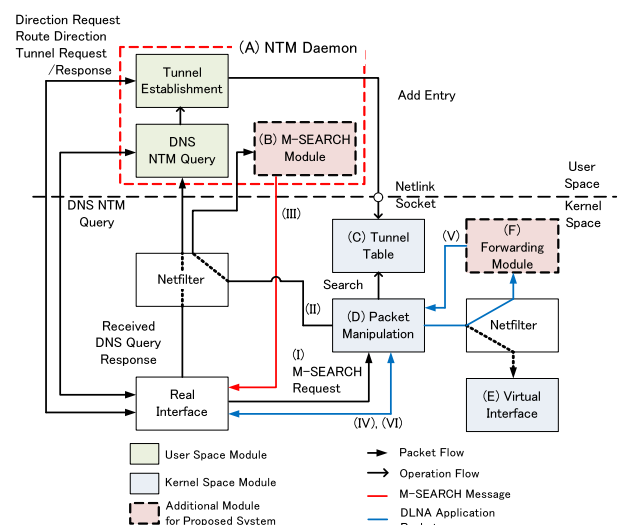


図 8 DA のモジュール構成

Fig. 8 Module configuration of DA.

^{*1} <http://www.videolan.org/>

^{*2} <http://ushare.geexbox.org/>

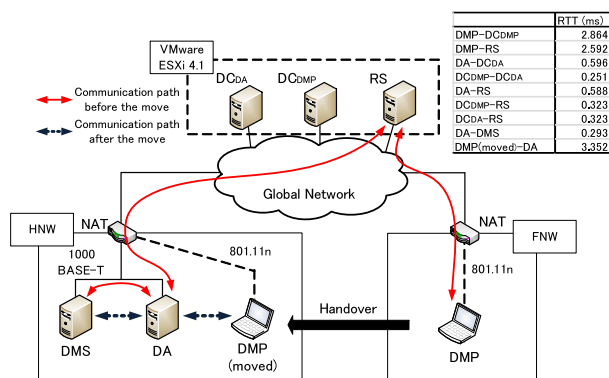


図 9 動作検証のネットワーク構成

Fig. 9 Network configuration for validation.

現した。各装置間の RTT は図 9 中に示したとおりである。なお、一般に国内の HNW と FNW 間の平均 RTT は 20 ms 以下であるが、今回は大学内の異なる研究室ネットワーク間で測定を行ったため、物理的な距離が近く、HNW と FNW 間の平均 RTT は 0.3 ms と非常に小さい値となっている。

DMP と DA 上で Wireshark を用いて、DMP と DMS 間で交換されるパケットをキャプチャして解析した。その結果、DA は DMP から M-SEARCH Request を受信すると、DMP の代理で DMS を探索しており、2.2 節であげた課題 1 の解決を確認した。また、DA から DMP へ送信される 200 OK のペイロードに含まれる DMS の実 IP アドレスが仮想 IP アドレスに変換され、DMP がこの仮想 IP アドレスとの間に UDP トンネルを構築および通信を開始しており、課題 2 の解決を確認した。最後に、DA から DMS へ送信される HTTP GET の送信元 IP アドレスが DA の実 IP アドレスとなっており、DMS が DA に対して 200 OK を返信していること（課題 3 の解決）を確認した。以上により、FNW に存在する DMP が HNW 内の DMS を認識し、コンテンツの再生までの一連のシーケンスが正常に動作することを確認した。また、コンテンツの再生中に無線 LAN アクセスポイントを切り替え、FNW から HNW への移動を行った。その結果、DMP の IP アドレスが変化してもコンテンツの再生を継続できることを確認した。

次に、各トンネル構築とデバイス探索、デバイス情報取得に要する時間、すなわち通信開始時に発生するオーバーヘッドの計測を行った。また、FNW から HNW に移動した際に発生するアクセスポイントへの接続とトンネル再構築に要する時間、すなわちハンドオーバー性能を計測した。

表 1 に通信開始時に発生するオーバーヘッドの計測結果を示す。計測結果は提案方式に基づいた遠隔 DLNA 通信を 10 回試行し、その平均値である。デバイス探索を行うためのトンネル構築処理には 21.96 ms を要した。その後、M-SEARCH Request の送信から 200 OK メッセージの受信までに 6.86 ms を要した。DMS に対するデータ転送用

表 1 通信開始時のオーバーヘッド

Table 1 Results of overhead at the beginning of communication.

	Time (ms)
Tunnel establishment for device discovery	21.96
Device discovery	6.86
Tunnel establishment for data transfer	10.12
Acquisition of device information	8.36

表 2 DMP 移動時に発生する処理時間

Table 2 Processing time in the case of DMP moving.

	Time (sec)
Wi-Fi AP connection and DHCP process	6.91
Tunnel re-establishment	0.08

のトンネル構築には 10.12 ms、その後のデバイス情報の取得完了までに 8.36 ms を要した。上記処理が終了した段階で DMP の画面に発見できた DMS が表示される。以後のデータ伝送時のオーバーヘッドは、デバイス情報取得時に発生する処理時間と同等であった。

本計測結果は RTT が十分に小さい環境での計測結果である。そのため、実際の利用環境を想定した場合には、DMP と HNW の間はモバイルインターネット環境となるため、トンネル構築処理にかかる時間は増加する。通信開始時には 8 往復のインターネットアクセスが発生する^{*3}ため、DMP が 3G ネットワークを利用して、200 ms の RTT が発生すると仮定すると、約 1.6 sec のオーバーヘッドを推計できる。この場合でも、ユーザの待機時間は十分に短く、提案方式は実用上問題なく利用できる。

次に、表 2 に DMP 移動時に発生する処理時間を示す。この結果はコンテンツ再生中の移動を 3 回試行した平均値である。アクセスポイントの再接続処理および DHCP によるアドレス取得に 6.91 sec かかった。一方、トンネル再構築処理は 0.08 sec と十分に短い時間で完了している。移動時に発生する提案方式特有の処理時間は、切断時間全体の約 1% であった。一般に、DMP アプリケーションはコンテンツをバッファリングしてから再生するため、この中断時間はコンテンツ再生の継続に深刻な影響を与えるものではない。

しかし、わずかでも移動にともなう中断時間を発生させないためには、別途シームレスにハンドオーバーが行える手法を適用する必要がある。NTMobile では Android 端末への実装が行われており、3G インタフェースと無線 LAN インタフェースを用いてシームレスにハンドオーバーを行う手法が提案されている [22]。本提案方式も同様に Android 端末への実装を想定しており、この手法を併用することによ

^{*3} DNS 名前解決処理で 2 往復、デバイス探索用およびデータ転送用のトンネル構築処理でそれぞれ 2 往復、M-SEARCH によるデバイス探索と DDD によるデバイス情報取得でそれぞれ 1 往復必要となる。

表 3 関連研究との比較

Table 3 Comparison with related works.

	W-DLNA	WD/Mobile-WD	モバイル GW	Mobile IPv4 + VPN	提案方式
訪問先ネットワークへの機器の追加	必要	必要/不要	不要	不要	不要
端末への移動透過性のサポート	無し	無し	無し	有り	有り
Carrier Grade NAT への対応	非対応	非対応	非対応	非対応	対応
コンテンツ伝送時のスループット	高	高/低	高	低	高
コンテンツ伝送時のセキュリティ	無し	IPsec ESP	SSL	IPsec	AES-CBC
特殊なサーバの有無	SIP サーバ	SIP サーバ	無し	HA, VPN サーバ	DC, RS

り、通信断絶時間が発生することなく、ネットワークの移動がコンテンツの視聴に悪影響を及ぼすことを回避できると考えられる。

5.3 関連研究との比較評価

表 3 に提案方式と関連研究の比較を示す。W-DLNA [3] は W-DLNA ゲートウェイと呼ばれる機器を HNW や訪問先ネットワークに設置し、W-DLNA ゲートウェイ間で相互に連携することにより、異なる HNW 間を広域接続する方式である。この方式では訪問先ネットワークのゲートウェイを W-DLNA ゲートウェイに置き換える必要があるため、利用できるネットワークは大きく制限される。また、コンテンツ伝送時の暗号化を考慮していないため、パケットの盗聴や改ざんによる情報の漏洩などの危険がある。

WD (Wormhole Device) [4] は各 HNW に WD と呼ばれる機器を設置し、HNW の WD と訪問先ネットワークの WD が相互に接続することにより、異なる HNW 間を広域接続する方式である。そのため、W-DLNA と同様に利用できるネットワークに制限がある。M-WD (Mobile-Wormhole Device) [5] では WD の機能をモバイル機器に実装し、訪問先ネットワークにおける WD として動作させるため、利用できる訪問先ネットワークの制限はなくなった。しかし、コンテンツの転送時に、WD 間で IPsec ESP を用いて暗号化通信を行うため、パケットフィルタリングにより NAT を越えることができない場合がある。IPsec ESP を用いた場合に確実な NAT 越えを実現するためには、IPsec ESP によりカプセル化されたパケットをさらに UDP によってカプセル化する必要がある [23], [24]。そのため、スループットの低下により、バッファリングが多く発生することが懸念される。

モバイル GW [6] は HNW のゲートウェイを改造し、DMS が送信する XML データを HTML データに変換する。HNW 外の再生端末は Web ブラウザを用いてモバイル GW にアクセスすることにより、変換された HTML データを取得し、コンテンツへのアクセスを行う。モバイル GW は HNW のゲートウェイを改造するだけで導入できるため、訪問先ネットワークの制限はない。しかし、再生端末は、宅外では Web ブラウザを用い、宅内では DMP アプ

리케이션を用いて DLNA 通信を行う必要があり、ユーザは位置の違いによってアプリケーションを使い分けなければならない。

また、VPN 技術により宅外の DMP と宅内の DMS を同一ネットワークに存在させ、遠隔 DLNA 通信を実現する方法が考えられる。1 章で述べたとおり、VPN と Mobile IPv4 を併用することにより、提案方式と同様に移動透過性を有した遠隔 DLNA 通信を実現できると考えられる。この場合、2.2 節に示した課題 3 に対応するために、HA から移動端末である DMP に割り当てられる HoA (Home of Address) のネットワークアドレスは DMS のサブネットと同一である必要がある。また、VPN により DMP に配布するアドレスの管理は HNW に存在する VPN ゲートウェイが行うことになる。すなわち、HA と VPN ゲートウェイを統合してアドレス管理をしなければならず、専門知識を持たない一般ユーザが導入するには困難である。また、Mobile IPv4 のヘッダに加えて、IPsec ESP などを利用した VPN トンネリングヘッダもパケットに付与されるため、スループットが低下することも考えられる。

今後、IPv4 アドレスの枯渇対策として CGN が導入された場合に、各関連研究で宅内に導入される機器に対して、DMP が直接アクセスすることができなくなる。すなわち、従来の関連研究では、CGN が適用された環境において遠隔 DLNA 通信が成立しないと考えられる。

提案方式は訪問先ネットワークに変更を加えることがなく、NTMobile による移動透過性を実現する。したがって、利用可能なネットワークに制限がなく、ユーザの自由な移動を可能にする。DMP と DC_{DMP} 間、DA と DC_{DA} 間にはつねに制御メッセージの交換のための UDP セッションが維持されている。そのため、DC を経由することによって DMP および DA に対して CGN の外部から制御メッセージを送信することができ、多段の NAT 配下に DMP および DA が存在しても、トンネルの構築が可能である。また、DMP と DA 間のパケットはカプセル化されているため、元パケットは NAT によるアドレス変換の影響を受けることなく通信相手に到達する。これにより、IP ヘッダとペイロードの整合性が保証され、CGN が導入されているネットワークにおいても遠隔 DLNA 通信が実現できる。加え

て、NTMobile によるトンネル通信においては、パケットは AES-CBC 方式による暗号化や HMAC-MD5 による改ざん検出などの対策がなされており、コンテンツ伝送時のセキュリティが確保される。

NTMobile ではパケットのカプセル化/デカプセル化や暗号化をすべてカーネル空間で実装している。よって、ユーザ空間へのメモリコピーなどの処理を削減でき、高スループットを維持できる [19]。DMP がプライベートネットワークに存在する場合には RS を経由した通信となり、エンドエンドでの通信時と比較してスループットは低下する。しかし、HNW と訪問先ネットワークの NAT の種類によっては、DMP と DA 間で RS を経由しないエンドエンドの経路を構築することが可能であり、この場合、スループットの向上が見込める [25]。

6. まとめ

本論文では、移動透過性と NAT 越えを同時に実現する NTMobile を拡張することにより、通信中にネットワークの移動が可能な遠隔 DLNA 通信システムを提案した。提案方式のプロトタイプを試作し、動作検証を行った。その結果、提案方式は実用上問題のない遅延での利用が可能で、移動後にもコンテンツの視聴が継続されることを確認した。

今後は、提案方式を Android 端末に実装し、実利用環境を想定したネットワークでの動作検証を行う。

謝辞 本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の支援を受けて実施された。

参考文献

- [1] Consumer Home, available from <http://www.dlna.org/>.
- [2] Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnston, A., Peterson, J., Sparks, R., Handley, M. and Schooler, E.: SIP: Session Initiation Protocol, RFC 3261, IETF (2002).
- [3] Motegi, S., Tasaka, K., Idoue, A. and Horiuchi, H.: Proposal on Wide Area DLNA Communication System, *Proc. IEEE CCNC2008*, pp.233-237 (2008).
- [4] 武藤大悟, 吉永 努: ルールベースアクセス制御機能を持つ DLNA 情報家電の遠隔共有支援機構, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.12, pp.3985-3996 (2008).
- [5] 小山卓視, 呉 敬源, 武藤大悟, 吉永 努: Mobile-Wormhole Device: DLNA 情報家電の相互遠隔接続支援機構の携帯端末への応用, 情報処理学会研究報告, Vol.2008-MBL-044, No.1, pp.1-8 (2008).
- [6] 吉川 貴, 三宅基治, Nakatsuchi, M., 竹下 敦: モバイル連携ホームゲートウェイシステム, 情報処理学会研究報告, Vol.2006-MBL-039, No.14, pp.97-102 (2006).
- [7] Haruyama, T., Mizuno, S., Kawashima, M. and Mizuno, O.: Dial-to-Connect VPN System for Remote DLNA Communication, *Proc. IEEE CCNC2008*, pp.1224-1225 (2008).
- [8] 春山敬宏, 水野伸太郎, 山田孝二, 水野 修: VPN を介した情報家電サービス利用方式の提案, 情報処理学会研究報告, Vol.2006-UBI-12, No.1, pp.1-6 (2006).
- [9] Perreault, S., Yamagata, I., Miyakawa, S., Nakagawa, A. and Ashida, H.: Common Requirements for Carrier-Grade NATs (CGNs), RFC 6888, IETF (2013).
- [10] Perkins, C.: IP Mobility Support for IPv4, Revised, RFC 5944, IETF (2010).
- [11] Ferguson, P. and Senie, D.: Network Ingress Filtering: Defeating Denial of Service Attacks which employ IP Source Address Spoofing, RFC 2827, IETF (2000).
- [12] Montenegro, G.: Reverse Tunneling for Mobile IP, Revised, RFC 3024, IETF (2001).
- [13] Levkowetz, H. and Vaarala, S.: Mobile IP Traversal of Network Address Translation (NAT) Devices, RFC 3519, IETF (2003).
- [14] Rosenberg, J., Mahy, R., Matthews, P. and Wing, D.: Session Traversal Utilities for NAT (STUN), RFC 5389, IETF (2008).
- [15] Mahy, R., Matthews, P. and Rosenberg, J.: Traversal Using Relays around NAT (TURN): Relay Extensions to Session Traversal Utilities for NAT (STUN) RFC 5766, IETF (2010).
- [16] Adrangi, F. and Levkowetz, H.: Problem Statement: Mobile IPv4 Traversal of Virtual Private Network (VPN) Gateways, RFC 4093, IETF (2005).
- [17] Kent, S.: IP Encapsulating Security Payload (ESP), RFC 4303, IETF (2005).
- [18] 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).
- [19] 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.380-393 (2013).
- [20] UPnP Forum, available from <http://www.upnp.org/>.
- [21] Goland, Y.Y., Cai, T., Leach, P., GU, Y. and Albright, S.: Simple Service Discovery Protocol/1.0 Operating without an Arbiter, Internet draft, IETF (online) (1999), available from <http://tools.ietf.org/html/draft-cai-ssdp-v1-03>.
- [22] 福山陽祐, 上醉尾一真, 鈴木秀和, 旭 健作, 内藤克浩, 渡邊 晃: Android 端末における Wi-Fi/3G 間のシームレスハンドオーバーの提案と実装, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-MBL-65, No.27, pp.1-8 (2013).
- [23] Kivinen, T., Swander, B., Huttunen, A. and Volpe, V.: Negotiation of NAT-Traversal in the IKE, RFC 3947, IETF (2005).
- [24] Huttunen, A., Swander, B., Volpe, V., DiBurro, L. and Stenberg, M.: UDP Encapsulation of IPsec ESP Packets, RFC 3948, IETF (2005).
- [25] 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).

推薦文

本論文はモバイル環境におけるコンテンツ共有に際し、NTMobile を実装した遠隔 DLNA 通信システムを提案している。閲覧中のモバイルネットワーク回線の切替えにも対応した実用的な提案を行っており、本研究会の趣旨にも沿った優れた論文であるため推薦する。

(コンシューマ・デバイス&システム研究会主査
石川憲洋)



清水 皓平 (学生会員)

2012 年名城大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科情報工学専攻在学中。ホームネットワークに関する研究に従事。IEEE 会員。



鈴木 秀和 (正会員)

2004 年名城大学理工学部情報科学科卒業。2006 年同大学大学院理工学研究科情報科学専攻修了。2009 年同大学院理工学研究科電気電子・情報・材料工学専攻博士後期課程修了。2008 年日本学術振興会特別研究員。2010 年より名城大学理工学部助教。博士(工学)。ネットワークセキュリティ、モバイルネットワーク、ホームネットワーク等の研究に従事。電子情報通信学会、IEEE、ACM 各会員。



内藤 克浩 (正会員)

1999 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。2004 年名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程後期課程修了。同年三重大学工学部電気電子工学科助手。2007 年同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻助教。2011 年カリフォルニア大学ロサンゼルス校客員研究員。博士(工学)。無線ネットワーク、ネットワークモビリティの研究に従事。電子情報通信学会、IEEE 各会員。



渡邊 晃 (正会員)

1974 年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1976 年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年三菱電機株式会社入社後、LAN システムの開発・設計に従事。1991 年同社情報技術総合研究所に移籍し、ルータ、ネットワークセキュリティ等の研究に従事。2002 年より名城大学理工学部教授。情報処理学会モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会主査。博士(工学)。電子情報通信学会、IEEE 各会員。