

# NTMobile を応用した 遠隔 DLNA 通信システムの実装手法

清水 皓平<sup>†1</sup> 鈴木 秀和<sup>†1</sup>  
内藤 克浩<sup>†2</sup> 渡邊 晃<sup>†1</sup>

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、外出先ネットワークとホームネットワーク間において簡便な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、コンテンツを再生する端末に NTMobile を実装し、またホームネットワーク内に専用の装置を設置する。コンテンツを再生する端末はコンテンツ閲覧中にネットワークを切り替えても閲覧を継続できる。我々は提案方式のプロトタイプシステムを試作し、コンテンツの伝送と移動時におけるコンテンツ再生の継続を確認した。

## Implementation Method of a Remote DLNA Communication System that Applies NTMobile

KOHEI SHIMIZU,<sup>†1</sup> HIDEKAZU SUZUKI,<sup>†1</sup>  
KATSUHIRO NAITO<sup>†2</sup> and AKIRA WATANABE<sup>†1</sup>

We propose a remote DLNA communication system that realizes an easy sharing of contents between a network system out of home and a home network, by expanding the function of Network Traversal with Mobility (“NTMobile”) that enables mobility and NAT traversal. In our proposed method, we implement NTMobile in the terminal that reproduce contents and set an exclusive-use device in the home network. The terminal which in reproducing contents can continue browsing without interruption even if network zones change during communications. We created a prototype system of our proposed method and confirmed the transmission of contents and the continuous reproduction of contents during relocation.

## 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 Alliance)<sup>1)</sup> 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 (以下 HNW) 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が行えることが期待されている。また、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の需要も増加している。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ある。

しかし、DLNA では HNW 内のデバイスを探索するために SSDP (Simple Service Discovery Protocol)<sup>2)</sup> で規定されているマルチキャストを利用している。このマルチキャストはローカルスコープアドレスを用いているため、通信経路の途中で破棄されてしまう。そのため、インターネットを介して HNW 内のデバイスを探索することができない。また、IPv4 ネットワークにおいては一般的に NAT が導入されているため、HNW 外から HNW 内へ通信を開始することができないという、NAT 越え問題が発生する。加えて、DLNA で規定されているコンテンツを保持する端末 DMS (Digital Media Server) は異なるサブネットからのアクセスを無視するという仕様となっている。したがって、HNW 外からのアクセスに対して DMS は応答を返さない。

これらの課題を解決して異なるネットワーク間での DLNA 通信を実現することを目的とした関連研究として、SIP (Session Initiation Protocol)<sup>3)</sup> を用いて HNW を相互に接続する方式<sup>4)–6)</sup> や、ホームゲートウェイを改造し、HTTP (HyperText Transfer Protocol) 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<sup>7)</sup>、VPN (Virtual Private Network) により HNW を相互に接続する方式<sup>8),9)</sup> などがある。しかし、各技術は一長一短があり、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う問題や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等

---

<sup>†1</sup> 名城大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Meijo University

<sup>†2</sup> 三重大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Mie University

の問題がある。さらに、将来、ISP が IPv4 アドレスの枯渇対策として LSN (Large Scale NAT) を導入した場合に、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想定される。また、モバイル機器をサポートしている技術も存在するが、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。

本稿では、IPv4/IPv6 ネットワークにおいて移動透過性と NAT 越えを同時に実現する NTMobile (Network Traversal with Mobility)<sup>10)-12)</sup> の機能を拡張することにより、DLNA の遠隔利用に関わる問題を解決し、異なるネットワーク間においても DLNA 機器の相互接続を実現する方式を提案する。また、提案方式のプロトタイプを用いた動作検証結果を示し、提案方式の有用性について述べる。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。この機器が HNW 外の DMP と HNW 内の DMS 間の通信を中継して DMP と DMS の相互接続を実現する。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移動しても通信は切断されず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実験結果と提案方式の優位性について示し、6 章でまとめとする。

## 2. DLNA

DLNA (Digital Living Network Alliance) 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<sup>13)</sup> や HTTP 等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 は起動すると、ネットワーク上に SSDP で定義されている M-SEARCH メッ

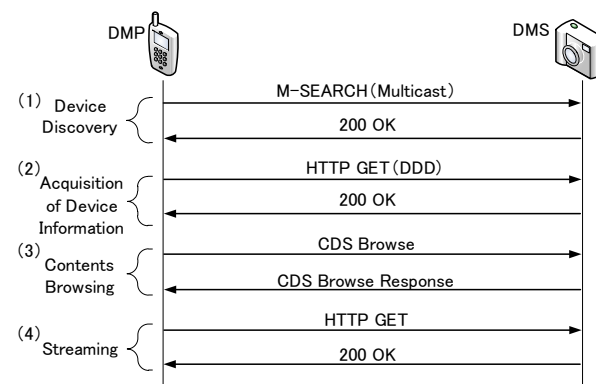


図 1 DLNA の通信シーケンス

Fig.1 Sequence of DLNA communication.

セージをマルチキャストで送信する。このメッセージを受信した DMS は自身の詳細情報の URL (IP アドレスやポート番号) 等を 200 OK メッセージに乗せて応答する。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 (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。DMS はコマンドを受信すると、200 OK メッセージとコンテンツのリストを XML データとして返す。これにより、DMP の画面には 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開始される。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 DMP からの要求に対して応答を返すことがない。

## 3. NTMobile

NTMobile は著者らが提案している独自の移動透過性技術である。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、ノード 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。

### 3.1 NTMobile のシステム構成

NTMobile は仮想 IP アドレスと UDP トンネルを用いて、IPv4/IPv6 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。DLNA は IPv4 に対応した技術であるため、ここでは IPv4 ネットワークに着目して記述する。図 2 に NTMobile のシステム構成を示す。NTMobile は NTMobile に対応したノード (NTM ノード)、DC (Direction Coordinator)、RS (Relay Server) から構成される。DC は NTM ノードのアドレス情報など (NTM レコード) の管理、NTM ノードへの仮想 IP アドレスの割当、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、トンネル構築の指示を出す役割を持つ。RS は異なる NAT 配下に存在する NTM ノード間の通信や、NTM ノードと 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。

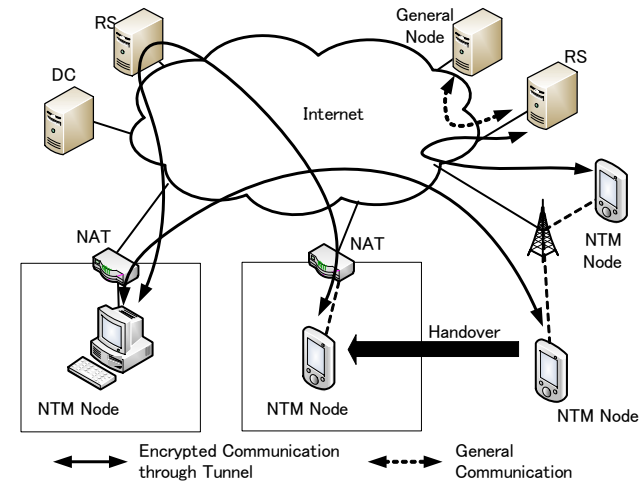


図 2 NTMobile のシステム構成  
Fig. 2 System configuration of NTMobile.

NTM ノード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 アドレスの登録を行う。このとき、NTM ノードが NAT 配下に存在する場合は、NAT 外側の IP アドレスも併せて NTMobile 専用レコード (NTM レコード) へ登録する。さらに、NTM ノードには 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 ノードはこの仮想 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 ノードとの間に接続を確立する。また、仮想 IP アドレスの接続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。

通信相手が一般端末の場合には、NTM ノードは RS との間に UDP トンネルを構築する。この場合、RS は NTM ノードからのパケットを受信すると、パケットのデカプセル化を行なったあと、送信元及び宛先仮想 IP アドレスを、それぞれ RS の実 IP アドレスと一般端末の実 IP アドレスに変換して一般端末へパケットを転送する。

NTM ノードは移動して実 IP アドレスが変化すると、自身の情報を管理する DC にこれを通知し、アドレス情報の更新を行う。このとき、NTM ノードが他端末と通信中の場合には、通信相手との間に再度 UDP トンネルを構築する。NTM ノードの上位レイヤは仮想 IP

アドレスによるコネクションが確立されており、このコネクションは実 IP アドレスの変化による影響を受けない。そのため、NTM ノードは移動しても通信を継続することができる。

NTM ノードと自身の情報を管理する DC との間には、トンネル構築の指示などの制御メッセージを交換するための UDP セッションが常に維持されている。通信開始時に、NTM ノードは通信相手との間にトンネルを構築するために DC へ要求メッセージを送信する。DC はこの要求を受信すると両エンドノードへトンネル構築の指示を出す。この指示は通信相手を管理している DC を経由して通信相手へ送信されるため、通信相手が NAT 配下に存在しても通知することができる。以上の方法により、NAT 外部からの通信開始が可能で、NAT 越え問題を解決できる。

NTMobile ではアドレスの更新メッセージやトンネル構築に用いる制御メッセージの交換を行うデーモンプログラムをユーザランドに実装し、カーネルランドにカプセル化/デカプセル化処理や特定の packets をフックするカーネルモジュールを実装する。カプセル化/デカプセル化処理をカーネルで行うことにより、トンネル通信によるオーバーヘッドの増加を抑制し、高スループットを実現できる。

### 3.2 一般端末との通信時におけるトンネル構築処理

提案方式は、NTM ノードと一般端末間での RS を経由した通信シーケンスを応用して実現する。そのため、本節では NTM ノード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、通信開始側の端末を MN (Mobile Node)、GN (General Node) と定義する。ここで MN は NTM ノードであり、GN は NTMobile に対応していない一般端末である。

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 NTM レコードを取得することができない。そこで、MN は中継端末である RS との間にトンネルを構築し、RS を経由して GN と通信を行う。MN は NTM レコードの取得処理を終えると、自身を管理する DC<sub>MN</sub> へトンネル構築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エンドノードの NTM レコードが記載されている。DC<sub>MN</sub> は Direction Request を受信すると、GN の NTM レコードが存在しないことから GN を一般端末と認識し、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<sub>MN</sub> へ通知する。その後、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 を送信し、MN と RS 間でトンネル構築メッセージ Tunnel

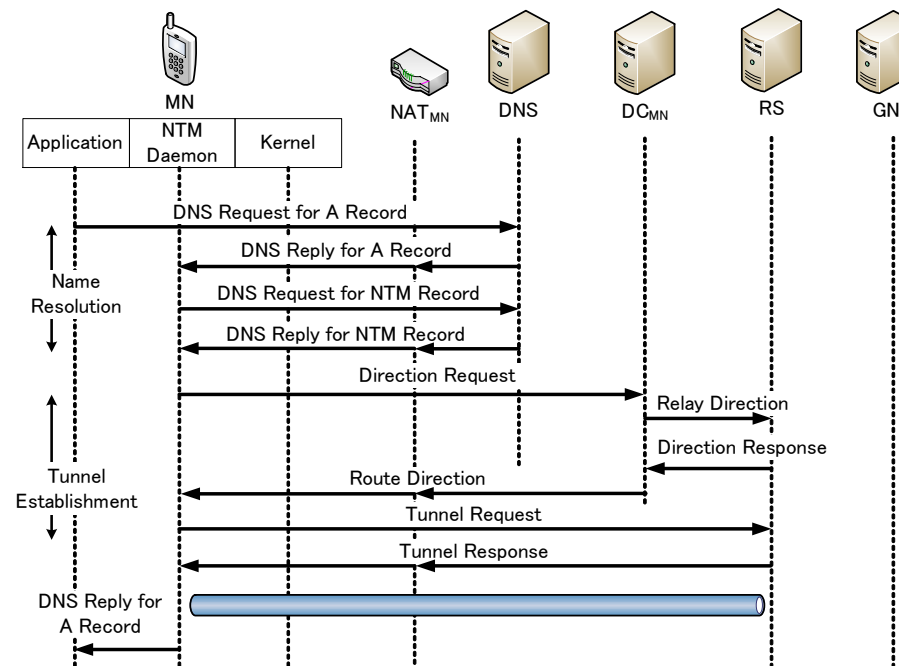


図 3 トンネル構築処理 (通信相手が一般端末の場合)  
Fig. 3 Tunnel establishment procedure (for General Node).

Request/Response を交換することによりトンネルが構築される。

MN が移動して実 IP アドレスが変化した場合には、RS との間のトンネル経路が更新されるが、RS と GN 間の通信には影響を与えない。そのため、一般端末 GN との通信においても、MN は移動透過性を実現することができる。

## 4. 提案方式

NTMobile による通信を応用することにより、異なるネットワーク間においても DLNA によるコンテンツ共有が可能かつ、移動中でもコンテンツの再生を可能とする遠隔 DLNA 通信システムを提案する。

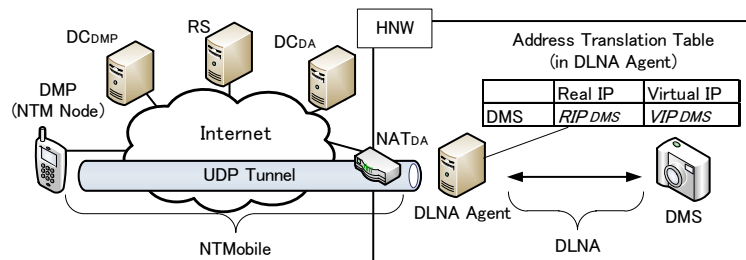


図 4 提案方式のネットワーク構成  
Fig. 4 System configuration of proposed method.

#### 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 ノードを設置する。DMP と DA に実装する NTMobile には DLNA に対応するために 4.2 節に示す独自の拡張を行う。DA は NTM ノードである 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 を予め知っているものとし、DA は自身を管理する DC<sub>DA</sub> に NTM レコードを登録しているものとする。また、NAT<sub>DA</sub> は一般のブロードバンドルータを想定し、特殊な改造を行なわないものとする。

#### 4.2 各端末の拡張機能

一般の NTMobile に対する拡張機能を以下に示す。DMP と DA はそれぞれ異なる拡張が必要である。

- DMP

- トンネル構築のトリガの追加

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、名前解決が行われない DLNA シーケンスにおいても DA との間にトンネルを構築する。

- DA

- 仮想 IP アドレスプール

DA は各 DMS に対応付けるための複数の仮想 IP アドレスを保持する。DA は

HNW 内 DMS の実 IP アドレスとプールしている仮想 IP アドレスを関連付け、この関連付け情報に従ってアドレスの変換と転送を行う。

- アドレス変換・転送

DLNA による通信パケットはペイロード内に DLNA 機器のアドレス情報が記載されているため、パケットの IP ヘッダとペイロード内の IP アドレス情報を書き換える機能を追加する。

デバイス情報やコンテンツリストの XML データは、DMS から DMP へ 200 OK メッセージによって XML データの長さが通知された後、DMP へ送信される。XML データ内には ASCII コードによって IP アドレスが記載されているため、仮想 IP アドレスと実 IP アドレスの文字列長が異なる場合に XML データの長さが変化してしまう。DMP が書き換えられた XML データを受信しないという問題が発生する。そのため、DA では 200 OK メッセージを一時的にキャッシュしておき、XML データを書き換えた後に XML データの長さの変化を 200 OK メッセージに反映する。その後、200 OK メッセージと XML データを DMP へ送信することにより、DMP は各種メッセージを正常に受信することができる。

さらに、共通の拡張として HNW 内の探索を要求するメッセージ M-SEARCH Request を新たに定義する。

#### 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、DA の NTM レコードを DC に問い合わせる。トンネル構築に必要な情報を取得すると、HNW 内の DA との間にトンネルを構築する。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、トンネルを

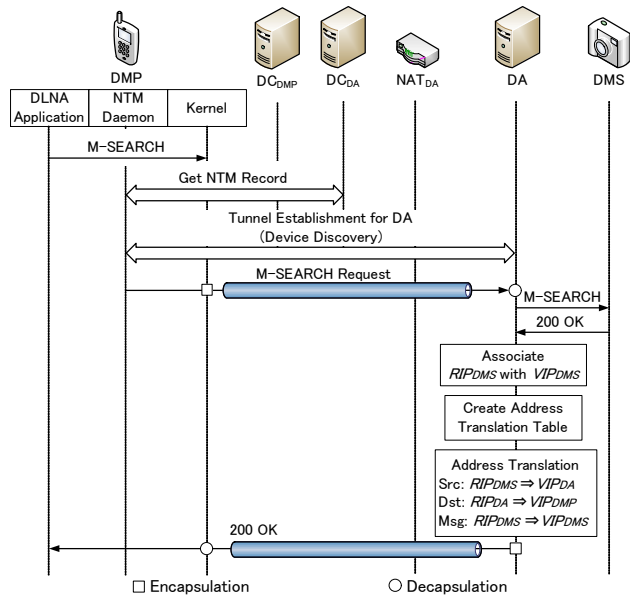


図 5 デバイス探索シーケンス  
Fig. 5 Sequence of device dfiscovery.

用いて DMP へ送信する。これにより、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ことができる。

#### 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、NTM Mobile 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。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構築する。M-SEARCH メッセージをトリガとしてトンネル構築を行った際に DA のアドレス情報等を取得しているため、NTM レコードの問い合わせを省略し、保持している情報から DA との間に DMS へのデータ転送用トンネルを構築する。

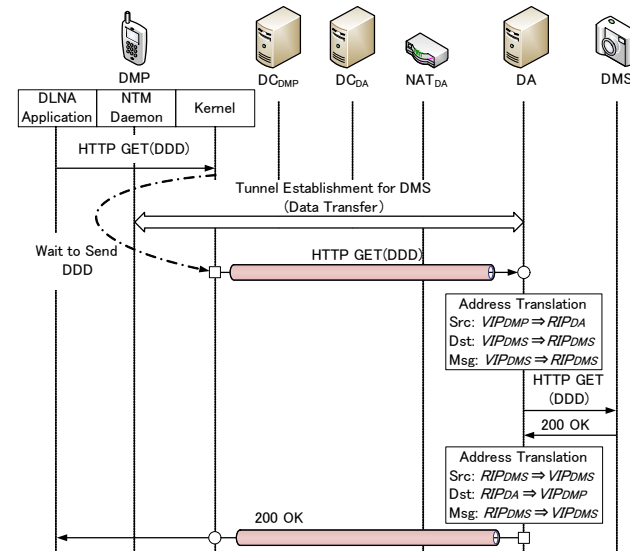


図 6 デバイス情報の取得シーケンス  
Fig. 6 Acquisition sequence of device information.

DMP は DMS 宛のパケットをデータ転送用のトンネルを用いて DA へ送信する。このとき、元パケットの宛先とペイロード内の DMS のアドレスは仮想 IP アドレス  $VIP_{DMS}$  である。そのため、DA は受信したパケットをデカプセル化後、宛先とペイロード内の DMS の仮想 IP アドレス  $VIP_{DMS}$  を、アドレス変換テーブルに従って実 IP アドレス  $RIP_{DMS}$  へ変換する。また、送信元を自身の実 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 を介した 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

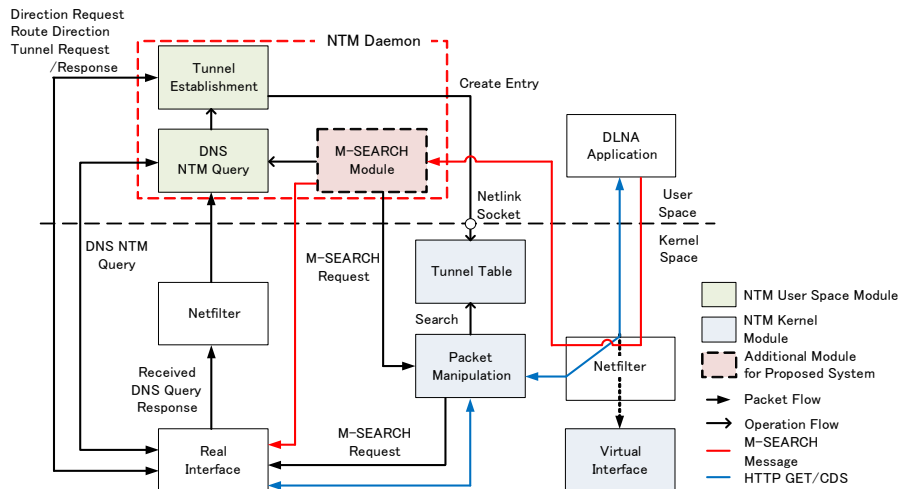


図 7 DMP のモジュール構成  
Fig. 7 Module configuration of DMP.

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。

## 5. 実装・評価

提案方式に基づき、プロトタイプの実装と検証を行った。本章では実装概要、動作検証結果について示し、提案方式の優位性について述べる。

### 5.1 実装

提案方式では DMP と DA に実装する NTMobile に異なる拡張を行なっているため、各々の実装について説明する。DC と RS に関しては拡張を行なっていないため、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。DMP に実装する NTMobile カーネルモジュールに、M-SEARCH メッセージを Netfilter によりフックしてデーモンプログラムへ渡すよう拡張する。また、デーモンプログラムは NTMobile カーネルモジュールによりフックされた M-SEARCH メッセージを受け取ると、予め登録されている DA との間にトンネルを構築するモジュールを追加する。また、このモジュールはトンネル構築後に M-SEARCH

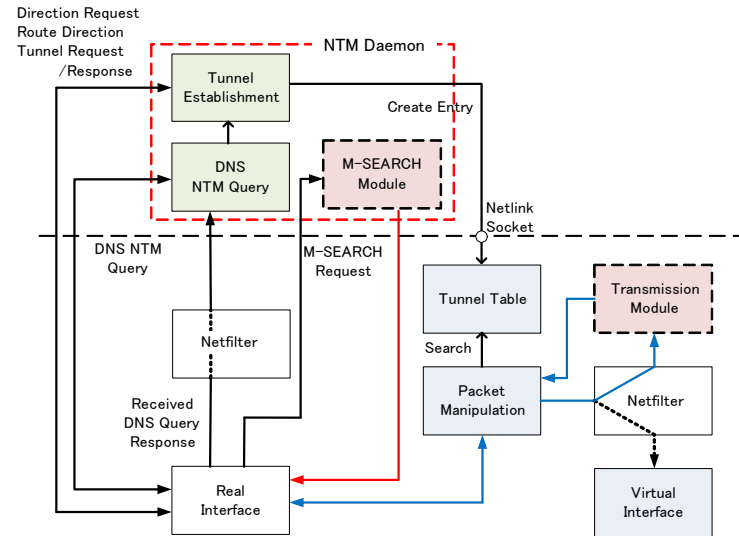


図 8 DA のモジュール構成  
Fig. 8 Module configuration of DA.

Request を生成し、DA へ送信する機能も持つ。

#### 5.1.2 DA

図 8 に DA のモジュール構成を示す。DA は NTMobile カーネルモジュールに、DMP からの M-SEARCH Request をフックする機能を拡張する。また、DMP と DMS 間のパケットをアドレス変換して転送を行うモジュールを、NTMobile カーネルモジュールに追加する。ユーザランドには DMP からの M-SEARCH Request を受けて HNW 内に M-SEARCH メッセージを送信するモジュールを追加する。

プロトタイプでは転送モジュール内に IP アドレスのアドレスの関連付け情報が静的に設定されており、この情報に基づいてアドレス変換と転送を行う。そのため、動的な関連付け情報の設定には対応していない。

### 5.2 動作検証・評価

図 9 に動作検証を行なったネットワーク構成を示す。各 DC と RS は VMware ESXi4.1 を利用し、仮想マシンとして構築している。DMP はアプリケーションとしてオープンソー

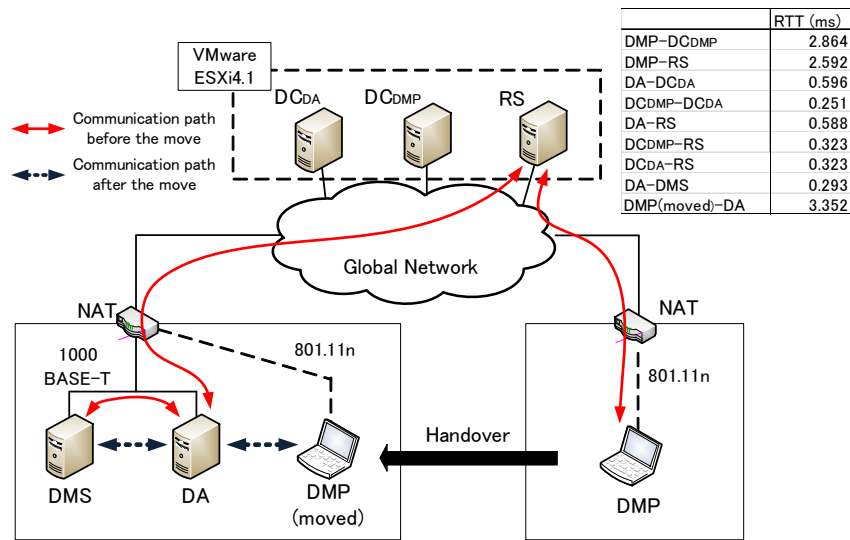


図9 動作検証のネットワーク構成  
Fig.9 Network configuration for validation.

スである VLC media player 1.0.6<sup>14)</sup> 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<sup>15)</sup> を起動させて実現した。各装置間の RTT は図9中に示した通りである。

動作検証の結果、訪問先ネットワークに存在する 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実行可能であることを確認した。また、コンテンツの再生中にアクセスポイントを切り替え、訪問先ネットワークから HNW への移動を行った。その結果、コンテンツの再生が継続できることを確認した。

提案方式ではデバイス探索時とデバイス情報取得時に、トンネル構築に要する時間によって結果の取得までの時間に影響が出るのが想定される。そのため、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の計測を行った。また、移動時にはアクセスポイントの切替とトンネルを再構築する必要があり、その間は通信の断絶が発生する。そのため、訪問先ネットワークから HNW に移動した際の、アクセスポイントへの接続とトンネルの再構築に要する時間を計測した。

表1 提案方式に基づく処理時間

Table 1 Processing time of the proposed method.

	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 移動時に発生する処理時間

Table 2 Processing time that occurs when device move.

	Time (sec)
Connection to Access Point	6.91
Tunnel establishment	0.08

表1に各シーケンス別の計測結果を示す。計測結果は提案方式に基づいた処理を10回試行し、その平均値を記載している。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のアプリケーションではDMSを認識し、DMPの画面にDMSが表示される。

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、実利用環境を想定した場合には各端末間のRTTによる通信への影響がある。特にDCやRSはインターネット上に存在するため、トンネル構築処理の必要時間は増加する。しかし、この時間を考慮しても、アプリケーションによるM-SEARCHメッセージの送信からデバイス情報の取得までには数百ms程度の時間に収まると考えられる。よって、ユーザの待機時間は少なく、提案方式は実用上問題なく利用できる。

次に、表2に端末移動時のアクセスポイントへの接続とトンネルの再構築に要した時間を示す。この結果はコンテンツ再生中の移動を3回行い、その平均値を記載している。移動時のトンネル構築に要した時間は0.08 secで、アクセスポイントからのアドレス取得などに6.91 secの時間を要した。また、コンテンツの再生は移動時に一時的に停止し、移動先のアクセスポイントに接続完了後、停止した箇所からコンテンツの再生が行われた。

移動時にはトンネル構築処理に要する時間は切断時間全体の約1%となった。DLNAでは一般にアプリケーションがバッファリングを行うことが想定されるため、この値はコンテ



コンテンツの再生に大きな影響を与えるものではない。したがって、アクセスポイントの切替時に発生するアソシエーションや DHCP によるアドレス取得の時間により、コンテンツの再生が一時的に停止してしまったりと考えられる。そのため、移動中においてもコンテンツを停止することなく視聴するには、別途シームレスにハンドオーバーが行える手法を検討する必要がある。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<sup>16)</sup>。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って、アクセスポイントの切り替えに要する時間がなくなり、端末移動時においてもコンテンツの再生が停止することなく行えると考えられる。

### 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<sup>4)</sup> 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等の危険がある。

WD (Wormhole Device)<sup>5)</sup> は各ホームネットワークに 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)<sup>6)</sup> 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、WD ではコンテンツの転送時に、WD 間で IPsec ESP を用いて VPN を構築して暗号化通信を行うため、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<sup>17),18)</sup>。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<sup>7)</sup> 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 HTTP 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、コンテンツ伝送時のセキュリティは考慮されておらず

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	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
端末への移動透過性のサポート	無し	無し	無し	有り
Large Scale NAT への対応	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	高
コンテンツ伝送時のセキュリティ	無し	IPsec ESP	無し	AES-CBC
特殊なサーバの有無	SIP サーバ	SIP サーバ	無し	DC, RS

情報漏洩等の危険がある。

W-DLNA や WD, M-WD のようにホームネットワーク間の機器の相互接続に SIP を用いている方式では、今後 IPv4 アドレスの枯渇対策として LSN が導入された場合に、LSN の NAT 処理により IP ヘッダのアドレス情報とペイロード内のアドレス情報に不整合が生じる場合がある。そのため、相互接続ができなかったり NAT を越えることができない可能性がある。モバイル GW では HNW のゲートウェイにアクセスする必要があるため、LSN が導入されると、ネットワーク構成が多段の NAT 環境へ変わってしまい、HNW 外の再生端末からモバイル GW へのアクセスが困難になる。

いずれの関連研究においても機器の移動透過性をサポートする技術はなく、移動中にコンテンツを途切れず再生するには携帯電話網を利用する必要がある。

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。従って、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<sub>DMP</sub> 間、DA と DC<sub>DA</sub> 間には常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、DMP および DA に対して LSN 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、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、LSN 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 方式により暗号化されており、コンテンツの伝送時にセキュアな通信路が確保される。

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スペースで実装している。よって、ユーザランドへのメモリコピー時間などの処理時間を削減で

き、高スループットを維持できる。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、スループットの向上が見込める<sup>19)</sup>。

## 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、HNW 外から HNW 内のへのアクセスを実現する遠隔 DLNA 通信システムを提案した。

提案方式では、DMP に NTMobile の機能を実装する。さらに、HNW 内に DMP の代理として一般の DMS と通信を行う DA (DLNA Agent) を設置する。DA が DMP と DMS の通信を中継することにより、DMP は遠隔地から DMS とのコンテンツ共有を行うことができる。DMP と DA 間は NTMobile による通信が行われるため、DMP が移動して実 IP アドレスが変化しても、仮想的なコネクションが維持され移動透過性を実現できる。

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、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。また、提案方式を Android 端末に実装し動作検証を行う。

## 参 考 文 献

- 1) Consumer Home. <http://www.dlna.org/>.
- 2) Goland, Y.Y., Cai, T., Leach, P., GU, Y. and Albright, S.: Simple Service Discovery Protocol/1.0 Operating without an Arbiter (draft-cai-ssdp-v1-03.txt), Internet draft, IETF (1999).
- 3) 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).
- 4) Motegi, S., Tasaka, K., Idoue, A. and Horiuchi, H.: Proposal on Wide Area DLNA Communication System, *Proc. of IEEE CCNC2008*, pp.233-237 (2008).
- 5) 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, pp.3985-3996 (2008).
- 6) 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).
- 7) 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).
- 8) Haruyama, T., Mizuno, S., Kawashima, M. and Mizuno, O.: Dial-to-Connect VPN System for Remote DLNA Communication, *Proc. of IEEE CCNC2008*, pp.1224-1225 (2008).
- 9) 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).
- 10) 鈴木秀和, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTMobile における相互接続性の確立手法と実装, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, Vol.2011, No.1, pp.1339-1348 (2011).
- 11) 内藤克浩, 西尾拓也, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡邊 晃, 森香津夫, 小林英雄: NT-Mobile における移動透過性の実現と実装, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, Vol.2011, No.1, pp.1394-1359 (2011).
- 12) 西尾拓也, 内藤克浩, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡邊 晃, 森香津夫, 小林英雄: NT-Mobile における端末アドレスの移動管理と実装, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, Vol.2011, No.1, pp.1139-1145 (2011).
- 13) UPnP Forum. <http://www.upnp.org>.
- 14) VideoLAN - VLC: Official site - Free multimedia solutions for all OS! <http://www.videolan.org/>.
- 15) GeeXboX uShare UPnP A/V Media Server HomePage. <http://ushare.geebox.org/>.
- 16) 福山陽祐, 鈴木秀和, 渡邊 晃: IPv4 移動体通信において携帯電話網と無線 LAN 間をシームレスに移動する方式の提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, Vol.2011, No.1, pp.1115-1120 (2011).
- 17) Kivinen, T., Swander, B., Huttunen, A. and Volpe, V.: Negotiation of NAT-Traversal in the IKE, RFC 3947, IETF (2005).
- 18) Huttunen, A., Swander, B., Volpe, V., DiBurro, L. and Stenberg, M.: UDP Encapsulation of IPsec ESP Packets, RFC 3948, IETF (2005).
- 19) 納堂博史, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTMobile の経路最適化の検討, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-MBL-61, No.33, pp.1-8 (2012).