

ECHONET Lite機器のセキュア遠隔制御システムの実装

田中 久順¹ 鈴木 秀和¹ 内藤 克浩² 渡邊 晃¹

概要: 宅内のエネルギーを効率的に管理したり, 家電機器や住宅設備を制御するために, ECHONET Lite に対応した HEMS (Home Energy Management System) 機器が一般家庭に普及し始めている. ECHONET Lite はホームネットワークでの利用を想定した通信規格であるため, 宅外から宅内の家電機器を直接制御することができない. そのため, メーカーはインターネット上に専用のサーバを設置し, Web 技術を併用することにより, 宅外から宅内の家電機器を遠隔制御するサービスを提供している. しかし, この遠隔制御システムではメーカーのサポートがなくなると遠隔制御サービスが終了することや, 遠隔制御サーバに蓄積されている操作ログが流出することによるプライバシーの侵害に繋がるなどの課題がある. 本論文では, NAT 越えと安全なエンドツーエンド通信を実現する技術である NTMobile (Network Traversal with Mobility) を応用することにより, メーカーの遠隔制御サーバを必要とすることなく, 操作端末が宅外から宅内に存在する ECHONET Lite 機器を安心・安全に遠隔制御できるシステムを提案する. 提案システムのプロトタイプ実装を行った結果, 実環境において NAT 配下に設置された ECHONET Lite 対応家電機器を外部から直接制御できることを確認した.

Implementation of Secure Remote Control System for ECHONET Lite Home Appliances

HISAYOSHI TANAKA¹ HIDEKAZU SUZUKI¹ KATSUHIRO NAITO² AKIRA WATANABE¹

1. はじめに

近年, 宅内のエネルギーを管理し, 効率的に運用できるシステム HEMS (Home Energy Management System) が一般家庭に普及し始めている [1]. 宅内に設置された家電機器や住宅設備などから送信される情報を HEMS コントローラが受信することで, エネルギーの使用状況を数値やグラフにより可視化することができる. これにより, ユーザはエネルギーの使用状況を直感的に把握しやすくなり, 省エネルギーを意識的に取り組めるようになることが期待されている. 日本におけるコントローラと家電機器間の通信規格には ECHONET Lite が採用されており, 家電機器等の情報を収集するだけでなく, HEMS コントローラから ECHONET Lite 対応家電機器を制御することも可能である [2].

しかし, ECHONET Lite はホームネットワークでの利用を想定した通信仕様となっていること, またホームネットワークには NAT (Network Address Translator) が設置されていることから, ホームネットワークの外部に存在する HEMS コントローラから宅内の家電機器と直接通信することができない. そこで, 多くのメーカーはインターネット上に専用のサーバを設置し, ホームネットワークに設置されるホームゲートウェイ (以後, HGW と表記) と連携することにより, 宅外から宅内の ECHONET Lite 家電機器を遠隔制御するサービスを展開している. 遠隔制御サービスは宅外から戸締りの確認や家電機器の電源をオフにしたり, 帰宅前にエアコンを稼働させたりすることができるため, 省エネルギーや防犯の実現, QoL (Quality of Life) の向上などに繋がるものである.

一方で, メーカーは遠隔制御サービスを提供するために専用のサーバを安定して運用することが必須である. そのため, メーカーのサポートが終了してしまうと, コントローラおよび家電機器が使用できる状態でも, ユーザは宅外か

¹ 名城大学大学院理工学研究科
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

ら遠隔制御することができなくなってしまう。また、宅外のコントローラが送信した制御メッセージは必ずメーカーのサーバを経由し、その際、サーバに蓄積されることもある。そのため、サーバがハッキングされてログ情報が流出してしまうと、時刻情報を含んだ家電機器の操作履歴からユーザの生活パターンを読み取ることが可能で、第三者に悪用される恐れがある。従って、現在の遠隔制御システムはユーザのプライバシーを侵害する危険をはらんでいると言える。

筆者らは NAT 越え問題を解決しエンドツーエンドの接続性と移動透過性を同時に実現できる技術として、NTMobile (Network Traversal with Mobility) を提案している [3-6]。NTMobile を導入することにより、端末間の通信経路に複数の NAT が存在し、IPv4/IPv6 ネットワークが混在した場合でも相互接続性を実現できる。また、端末間の通信は UDP トンネルを利用して行われており、その通信内容は IP レベルで暗号化および認証されているため、第三者による通信内容の盗聴を防止したり、改ざんを検知したりすることができる。

これまでに NTMobile を応用することにより、宅内に設置された DLNA (Digital Living Network Alliance) 対応機器を宅外から遠隔制御するシステムを実現している [7]。そこで本論文では文献 [7] のアプローチに基づいて、宅内に設置された ECHONET Lite 機器を宅外から安心・安全に遠隔制御できるシステムを提案する。提案システムでは NTMobile の仕様を拡張することにより、ECHONET Lite プロトコルに対応させる。また、宅外の操作端末と宅内の ECHONET Lite 機器の通信を中継する装置として RCA (Remote Control Agent) を宅内に設置する。操作端末は NTMobile を利用して RCA との間に UDP トンネルを構築し、ECHONET Lite 機器を制御するメッセージを暗号化 UDP トンネルを用いて転送する。これにより、ユーザはメーカーの遠隔制御サーバを必要とすることなく、宅内に設置されている市販の ECHONET Lite 機器を宅外から遠隔制御することができる。

Linux PC を用いて提案システムのプロトタイプ実装を行い、大学研究室 LAN をホームネットワークとして見立てた環境において動作検証を行った。その結果、NAT 配下に設置された ECHONET Lite 対応家電を外部ネットワークから直接制御できることを確認した。以下、2 章で既存の遠隔制御システムとその課題を示し、3 章で提案システムのベースとなる NTMobile の概要を述べる。4 章で新しい遠隔制御システムについて提案し、5 章で提案システムのプロトタイプ実装および動作検証について述べて、6 章でまとめる。

2. 既存の遠隔制御システム

2.1 ECHONET Lite

2.1.1 概要

ECHONET Lite とは、HEMS における家電機器を制御する際に使用される通信プロトコルの一つである。家電機器や発電・蓄電機器などの様々な機器に対応しており、ECHONET Lite では対応機器のプロパティを詳細に規定している。機器間でやり取りされるデータは数十バイト程度であり、処理性能の低い機器であっても動作することが可能である。また、UDP/IP や Wi-Fi, Wi-SUN (Wireless Smart Utility Network) [8] などの通信プロトコルおよび通信規格上で動作することができる。基本的に ECHONET Lite 機器はインターネットに直接接続されず、ホームネットワークなどの LAN での利用が想定されている。

2.1.2 通信シーケンス

現在市販されている ECHONET Lite 機器の多くは UDP/IP に基づいた通信が多いため、以後の説明はこれに準じた機器制御を例に説明する。ECHONET Lite 通信では、機器を制御するためのメッセージ (以後、制御メッセージ) を一つの UDP パケットに格納し、宛先ポート番号を 3610 番を指定する。また、パケットをマルチキャストする場合は、宛先 IP アドレスを 224.0.23.0 とすることが規定されている。マルチキャストは主に機器探索やプロパティ情報を周知させる際に利用される。

図 1 に ECHONET Lite 通信の機器探索及び機器制御の流れを示す [9]。コントローラは宅内に存在する ECHONET Lite 機器を探索するため、機器探索パケットをホームネットワークにマルチキャストで送信する。これを受信した ECHONET Lite 機器は、機器探索に対する応答メッセージをコントローラにユニキャストで返信する。コントローラは応答メッセージを受信することにより、ホームネットワークに存在する ECHONET Lite 機器を発見する。コントローラは発見した機器に向けて制御メッセージをユニキャストで送信することにより、ECHONET Lite 機器の制御が行われる。

機器探索時に送信されるメッセージはローカルスコープ

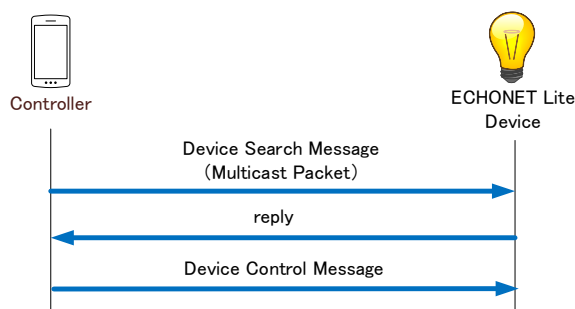


図 1 ECHONET Lite の通信シーケンス

アドレスを用いているため、ホームネットワーク内ではマルチキャストされない。そのため、外出先からホームネットワークに存在する ECHONET Lite 機器を直接探索することができない。

2.2 既存の遠隔制御システム

上記の課題を解決するために、現在の遠隔制御サービスでは図 2 に示すようにインターネットに専用のサーバ（以後、遠隔制御サーバ）を設置し、ホームネットワークに設置する HGW と連携するシステムモデルが一般的に採用されている [10-14]。本論文ではこのような既存の遠隔制御システムを遠隔制御サーバ利用方式と表記する。遠隔制御サーバ利用方式では、宅外の操作端末は ECHONET Lite で規定されている機器探索メッセージを直接送信することはせず、HTTPS などの Web 技術を用いて遠隔制御サーバにアクセスし、メーカーが定義した独自の制御メッセージを送信する。遠隔制御サーバから HGW へ制御メッセージを渡す方法としては、ホームネットワークのブロードバンドルータにポートフォワーディングを設定して遠隔制御サーバから直接送信する手法と、HGW が定期的に遠隔制御サーバにポーリングして蓄積された制御メッセージを取得する手法がある。制御メッセージを入手した HGW はメッセージに従って ECHONET Lite による通信、すなわち機器探索処理や機器制御処理を開始する。

遠隔制御サーバ利用方式は各端末における制御メッセージが全て遠隔制御サーバに届くため、メーカーが家電機器の操作履歴を取得することができる。これにより、遠隔制御時に問題が発生した際にログ情報から原因の特定を行うことが可能である。また、ログ情報を解析することにより、ユーザが主にどのような機器をどのように制御しているのかを知ることができるため、新製品の開発や新しいサービスの創出に繋げることが可能になる。

しかし、操作端末はホームネットワークでは ECHONET Lite 対応のコントローラアプリケーションを、外出先では Web ブラウザなどを利用したコントローラアプリケーションを利用することになり、ユーザは自身の位置に場所に応じて使用するアプリケーションを使い分ける必要がある。メーカー側も宅内用アプリケーションと遠隔制御サーバ

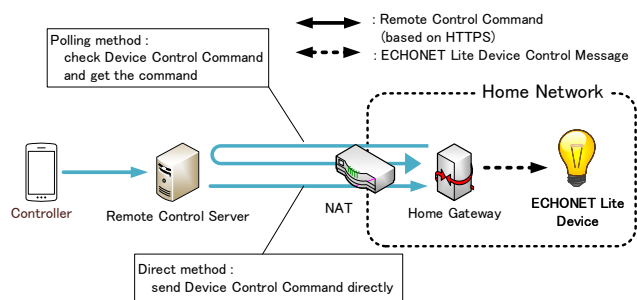


図 2 既存の遠隔制御システムの仕組み

スを別に提供する必要があり、開発コストの増加に繋がっている。また、メーカーによる遠隔制御サービスが終了してしまうと、ユーザは遠隔制御を行うことができなくなってしまうため、遠隔制御サーバの安定的、継続的な運用が求められる。さらに、ユーザの家電機器制御履歴が遠隔制御サーバに蓄積されるため、そのログ情報が流出した際、第三者に悪用される恐れがある。これにより、ユーザの生活パターンが読みと取られてしまい、プライバシーの侵害や犯罪などに繋がる懸念がある。

3. NTMobile

NTMobile は、実際のネットワーク環境に依存しない仮想的な IPv4/IPv6 アドレス（以後、仮想 IP アドレス）と、端末間に構築される UDP トンネルを用いた通信により、NAT 越えと移動透過性を実現する技術である。アプリケーションは、NTMobile を実装した端末（以後、NTM 端末）に割り当てられた仮想 IP アドレスに基づいた通信を行う。また、NTM 端末間では仮想 IP アドレスに基づくパケットを UDP トンネルを利用して送信する。これにより、通信経路上の NAT の存在や端末の移動に伴うネットワークの切り替えの影響を受けることなく、NTM 端末はエンドツーエンド通信を実現することができる。

3.1 システム構成

図 3 に NTMobile のシステム構成を示す。NTMobile は、NTM 端末、DC (Direction Coordinator), RS (Relay Server), AS (Account Server) の装置から構成され、DC, RS, AS は IPv4/IPv6 デュアルスタックネットワークにそれぞれ分散配置する。

DC はアドレス管理機能とトンネル構築指示機能を有する装置である。NTM 端末に割り当てる仮想 IP アドレスの他、NTM 端末の FQDN、実 IP アドレス*1や NAT のグローバル IP アドレス*2との対応関係を管理している。

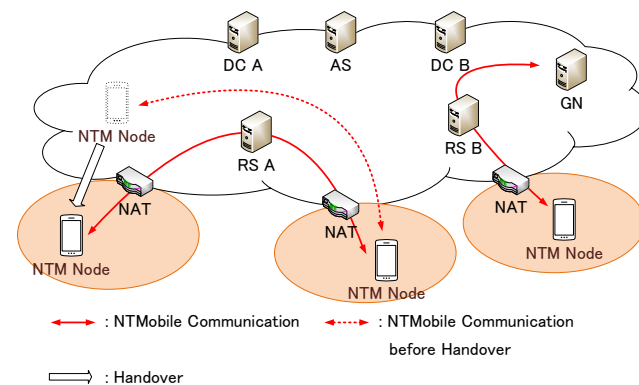


図 3 NTMobile のシステム構成

*1 実際に接続しているネットワークから割り当てられる IP アドレス。

*2 NTM 端末がプライベートネットワークに存在する場合、インターネットとの境界にある NAT の外側 IP アドレス。

NTM 端末の通信開始時に、通信ペアのアドレス情報から最適な通信経路を判断して NTM 端末へトンネル構築を指示する。

RS は異なる NAT 配下に属する NTM 端末間の通信や、IPv4 と IPv6 間で互換性のないネットワークで通信する場合、また NTM 端末と NTMobile を実装しない一般端末 GN (General Node) 間の通信のように、エンドツーエンドで通信できない端末間の通信を中継する機器である。

AS は NTM 端末の認証情報を管理する装置で、NTM 端末の起動時などに実施する認証処理や、DC と NTM 端末へ両者の間の通信を暗号化するための暗号鍵を配送する役割を担っている。

3.2 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 アドレスを登録し、DC から仮想 IP アドレスを入手する。NTM 端末は通信相手の FQDN に対し DNS 名前解決処理を行うことをきっかけに、通信相手との間にトンネルを構築する。トンネル構築が完了すると、名前解決処理の結果として通信相手端末の仮想 IP アドレスがアプリケーションに戻る。NTM 端末はこの仮想 IP アドレスをアプリケーションに認識させることにより、NTM 端末のアプリケーション間では仮想 IP アドレスに基づいたメッセージ交換が行われる。ただし、仮想 IP アドレスは実際のネットワークではルーティングできないため、通信相手端末との間に構築した UDP トンネルを利用して伝送される。

ここで、仮想 IP アドレスに基づいた IP パケットは実 IP アドレスを指定した UDP/IP ヘッダでカプセル化される。その際、トンネル構築時に共有した暗号鍵により元の IP パケットは全て暗号化され、かつ MAC (Message Authentication Code) も付与されるため、NTM 端末間の通信は安全性が保証される。RS を経由する場合は双方の NTM 端末と RS 間で UDP トンネルが構築されるが、暗号化はエンドツーエンドで行われているため、RS が通信内容を復号して傍受することはできない。なお、NTMobile では経路最適化機能があり、これを適用すると異なる NAT 配下に存在する NTM 端末同士であっても、RS を経由することなくエンドツーエンドで暗号化通信することが可能である [15]。

GN との通信時は DC が未使用の仮想 IP アドレスを GN の仮想 IP アドレスとしてトンネル構築処理内で NTM 端末に通知する。そのため、NTM と RS 間は暗号化 UDP トンネル通信となるが、RS と GN 間は実 IP アドレスに基づいた通常の TCP/UDP 通信となる。

4. 提案システム

4.1 NTMobile を利用した場合の技術的課題

3 章で述べたように、NTMobile を利用することにより NTM 端末間は NAT が存在していてもエンドツーエンドで暗号化通信を実現することができる。そこで本論文では NTMobile を応用することにより、既存の遠隔制御システムで必要不可欠だった遠隔制御サーバが無くても宅内の ECHONET Lite 家電機器を遠隔制御できるシステムを提案する。しかし、提案システムを実現する上で次の技術的課題を解決する必要がある。

課題 1：ECHONET Lite 家電機器への実装

NTMobile により宅外から宅内の端末と通信するには、宅内の端末に NTMobile を実装することが必須である。しかし、遠隔制御システムにおける宅内の端末は市販の ECHONET Lite 家電機器であるため、NTMobile を実装することができない。NTMobile では GN との通信に RS を利用することができるが、RS はどこからでもアクセスできるようインターネット空間に設置しなければならない。そのため、RS と ECHONET Lite 家電機器の間には必ず NAT が存在することになるため、RS から ECHONET Lite 家電機器に対して通信を開始することができない。従って、従来の NTMobile における構成装置だけでは市販の ECHONET Lite 機器への遠隔アクセスは実現できない。

課題 2：トンネル構築処理の開始条件

NTMobile は DNS 名前解決処理をトリガにトンネル構築を開始して通信相手端末の仮想 IP アドレスを取得する。一方、ECHONET Lite では DNS の仕組みではなく、マルチキャストでホームネットワークに存在する ECHONET Lite 家電機器を探索し、その応答メッセージから IP アドレスを取得する。従って、従来の NTMobile を ECHONET Lite と単純に組み合わせても、NTMobile の機能は全く動作しない。

4.2 課題解決のアプローチ

本論文では文献 [7] のアプローチに基づいて、上述した諸課題を解決する。まず、RS に NTM 端末の NAT 越え機能を付加することにより、RS をインターネット空間ではなくホームネットワークに設置しても宅外からアクセスできるようにする。さらにこの拡張した RS に ECHONET Lite を実装することにより、ECHONET Lite 家電機器との通信を仲介する。本論文ではこの拡張した RS を RCA (Remote Control Agent) として定義する。

次に、ECHONET Lite の機器探索パケットの送信をトリガとして RCA とトンネル構築ができるよう、NTMobile の仕様を拡張する。RCA が宅外の NTM 端末の代理で

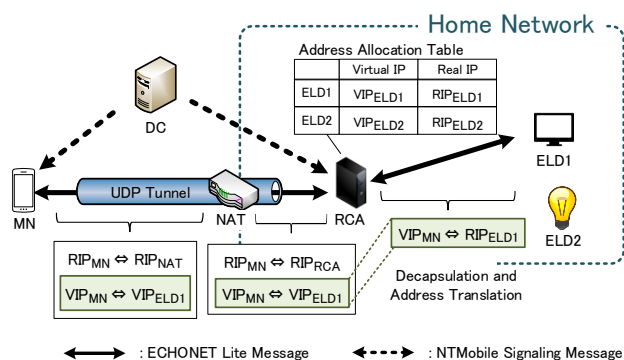


図 4 提案システムの概要

ECHONET Lite 家電機器を探し、それらから応答メッセージを受信するが、そのまま NTM 端末に転送しても NTM 端末は仮想 IP アドレスを宛先とした通信を開始できない。そこで、RCA に複数の仮想 IP アドレスをプールさせ、応答メッセージから取得した ECHONET Lite 家電機器の実 IP アドレスに対して未使用の仮想 IP アドレスを対応付ける。このアドレスの対応関係を記録するために、アドレス割り当てテーブル AAT (Address Allocation Table) を定義する。これにより、従来の NTMobile における GN との通信スタイルと同じ仕組みで、宅外の NTM 端末から市販の ECHONET Lite 家電機器へ通信を開始できる。

4.3 概要

図 4 に提案システムの概要を示す。以後、NTMobile と ECHONET Lite コントローラアプリケーションを搭載した宅外の操作端末を MN (Mobile Node)、操作対象となる宅内の ECHONET Lite 対応家電機器を ELD (ECHONET Lite Device) と表記する。また、端末 N の実 IP アドレスを RIP_N 、仮想 IP アドレスを VIP_N と表記する。MN はホームネットワークに設置した RCA との間に暗号化 UDP トンネルを構築し、宅内の ELD を制御する際は RCA が割り当てた仮想 IP アドレス宛に制御メッセージを送信する。RCA は MN から受信した制御メッセージをデカプセル化および復号したあと、宛先 IP アドレスを AAT に従って仮想 IP アドレスから ELD の実 IP アドレスに変換して転送する。応答メッセージは逆の手順で MN まで到達することにより、遠隔制御サーバを用いることなく、ECHONET Lite 家電機器の遠隔制御を実現する。

4.4 通信シーケンス

4.4.1 機器探索シーケンス

図 5 に機器探索の流れを示す。MN 上で ECHONET Lite コントローラアプリケーションが動作して機器探索が行われると、機器探索メッセージを含んだマルチキャスト packets が生成される。MN はこの packets を送信する前に、NTMobile のトンネル構築ネゴシエーションを開始す

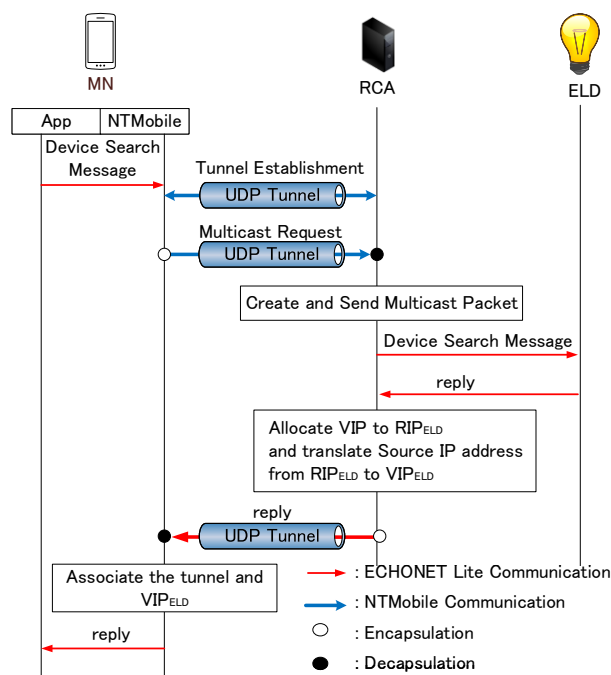


図 5 ECHONET Lite 機器探索シーケンス

る。ここで、MN は DC の経路指示に従って RCA と直接 UDP トンネルを構築する。その後、MN は RCA にホームネットワーク内の ELD の探索を依頼するために、新たに定義する NTMobile の制御メッセージ Multicast Request を RCA に送信する^{*3}。RCA は受信した Multicast Request を基に ECHONET Lite の機器探索メッセージ (送信元 IP アドレスは VIP_{MN}) を生成し、ホームネットワークにマルチキャストすることにより ELD の代理探索を行う。

ELD は機器探索メッセージを受信後、ECHONET Lite で制御可能な家電機器情報が含まれた応答メッセージを VIP_{MN} 宛てに返信する。RCA は ELD からの応答メッセージを代理で受信すると、構築済みのトンネルを用いて MN に転送する。このとき、RCA は複数所持している仮想 IP アドレスの中から未使用のアドレスを探索時に得た各 ELD の実 IP アドレス RIP_{ELD} に対応付け、AAT にて管理する。その後、RCA は AAT に基づいて応答メッセージの送信元 IP アドレスを RIP_{ELD} から VIP_{ELD} に変換後、暗号化およびカプセル化してから MN へ送信する。

MN はカプセル化された応答メッセージを受け取るとデカプセルおよび復号の処理を行う。このとき、MN は RCA との間で構築した UDP トンネルを VIP_{ELD} 宛の packets を伝送するために再利用するべく、MN が保持するトンネルテーブルを設定する。これにより、MN の ECHONET Lite コントローラアプリケーションに発見した ELD の IP アドレスとして VIP_{ELD} が通知される。

^{*3} NTM 端末と RCA がトンネルを構築する際に NTMobile の Tunnel Request/Response の制御メッセージを交換しており、そのチャネルを利用することにより、NAT を越えて RCA まで送信することができる。

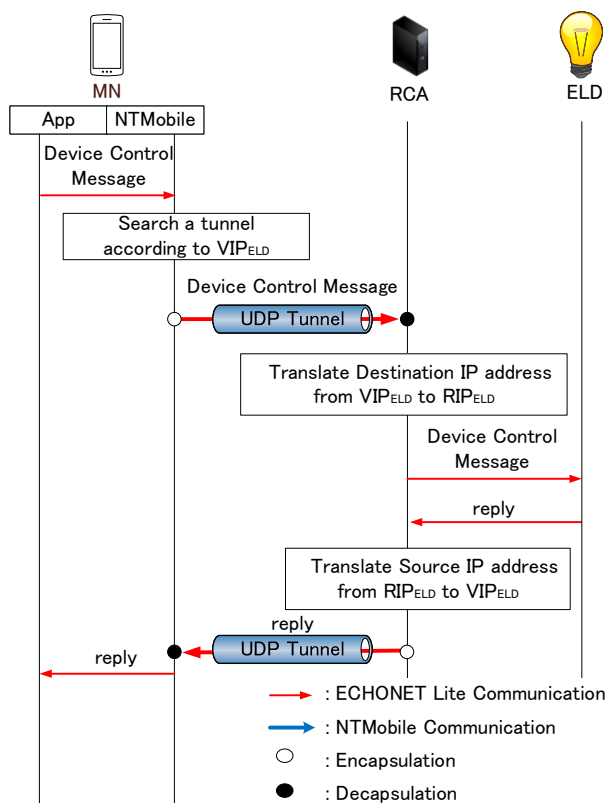


図 6 ECHONET Lite 機器制御シーケンス

4.4.2 機器制御シーケンス

図 6 に機器制御の流れを示す。MN は制御したい機器 ELD を選択して制御を開始すると、 VIP_{ELD} を宛先として ECHONET Lite 機器の制御メッセージを送信する。このとき、MN では宛先 IP アドレス VIP_{ELD} をキーとしてトンネルテーブルを検索し、機器探索時に構築した暗号化 UDP トンネルの情報を取得する。その後、MN は機器制御メッセージを暗号化およびカプセル化して RCA に送信する。

RCA はカプセル化された機器制御パケットを受信した後、パケットのデカプセル化および復号処理を行う。その後、RCA は AAT に従って宛先 IP アドレスを VIP_{ELD} から RIP_{ELD} に変換し、機器制御パケットを ELD に転送する。機器制御メッセージに対する ELD からの応答メッセージ（宛先 IP アドレス VIP_{MN} ）は、再度 RCA にて送信元 IP アドレスを RIP_{ELD} から VIP_{ELD} に変換し、暗号化およびカプセル化して MN へ転送する。MN は応答メッセージを取得後、ECHONET Lite コントローラアプリケーションに渡す。

以上により、遠隔制御サーバを中継することなく、宅外のコントローラからホームネットワークに設置された ECHONET Lite 家電機器を遠隔制御することができる。

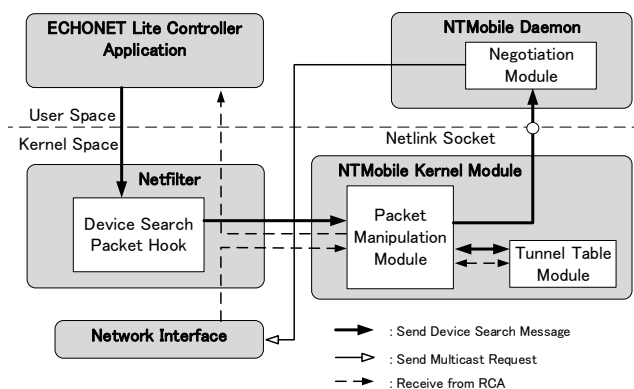


図 7 MN のモジュール構成

5. 実装・評価

5.1 実装

従来の NTMobile におけるデーモンプログラム及びカーネルモジュールを拡張し、MN と RCA のプロトタイプ実装を行った。

5.1.1 MN のプロトタイプ実装

図 7 に MN のモジュール構成を示す。ECHONET Lite コントローラアプリケーションからマルチキャストされる機器探索メッセージを検知するために、Linux の Netfilter の OUTPUT チェインにルールを追加し、NTMobile カーネルモジュールへ渡す。NTMobile カーネルモジュールでは ECHONET Lite 機器の探索メッセージを検知すると、Netlink ソケットを利用してユーザーランドで稼働している NTMobile デーモンに機器探索メッセージを渡すように拡張した。NTMobile デーモンは機器探索メッセージを受け取ると、予め設定された RCA に対して UDP トンネルを構築するために NTMobile ネゴシエーションを開始するように拡張した。また、トンネル構築後に機器探索メッセージの情報を元に Multicast Request を生成して送信する機能を追加した。なお、機器制御メッセージの暗号化/復号およびカプセル化/デカプセル化処理は、従来の NTMobile カーネルモジュールの機能をそのまま利用した。

5.1.2 RCA のプロトタイプ実装

図 8 に RCA のモジュール構成を示す。従来の RS および NTM 端末のモジュールを組み合わせる RCA デーモンを開発した。RCA デーモンには、Multicast Request を受信した際、ECHONET Lite の機器探索メッセージを生成し、ホームネットワークにマルチキャストする機能を実装した。ELD からの応答メッセージを受信すると、Netfilter を利用してカーネルモジュール、Netlink ソケットを通じて RCA デーモンへ渡され、AAT に記録する。また、ELD の実 IP アドレスと仮想 IP アドレスを用いて、iptables に NAT の変換ルールを追加し、Linux 標準の NAT 機能で実

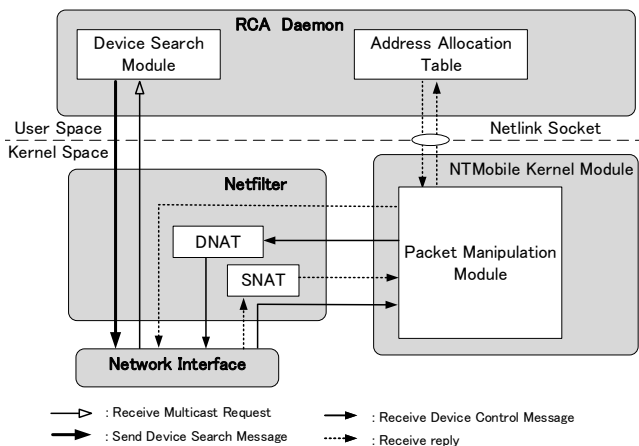


図 8 RCA のモジュール構成

現できるようにした。

なお、ELD が送信する応答メッセージの宛先が MN の仮想 IP アドレス宛てになっているが、これを RCA が代理受信するために RIP (Routing Information Protocol) デモンを起動させた。これにより、応答メッセージは一度デフォルトゲートウェイであるブロードバンドルータに送られるが、その後、RCA へ転送されるようにした。

5.2 動作検証

図 9 に動作検証を行ったネットワーク構成を示す。大学研究室ネットワークの DMZ セグメントに、NTMobile における AS および DC を VMware を利用した仮想マシンとして構築した。ECHONET Lite コントローラアプリケーションは ECHONET Lite の規格書に準拠したものを Java を用いて開発し、拡張した NTMobile を実装した MN で稼働させた。また、研究室 LAN をホームネットワークと見立て、ECHONET Lite 機器として東芝ライテック株式会社製の LED ダウンライト 2 台 (LEDD85001N-LT1) と、東芝ライフスタイル株式会社製のエアコン 1 台 (RAS-B806ADRH) を用いた。なお、MN および RCA は Linux (Ubuntu 12.04 LTS) をインストールしたラップトップ PC と仮想マシンを利用した。

このような動作検証ネットワークにおいて、MN から ECHONET Lite 機器の探索および遠隔制御の実験を行った。なお、通信が提案通りの動作となっていることを確認するために、MN と RCA 上で Wireshark を起動し、MN と ECHONET Lite 機器間でやり取りされるパケットをキャプチャして解析した。LED ダウンライトは消灯、エアコンはリモコンで電源 OFF の状態とした。MN 上で動作させた ECHONET Lite コントローラアプリケーションより機器探索を行った結果、RCA との間で UDP トンネルの構築が行われ、RCA への代理探索要求および探索結果を受信して仮想 IP アドレスを取得できることを確認した。

次に、宅内ネットワークの ECHONET Lite 機器の制御

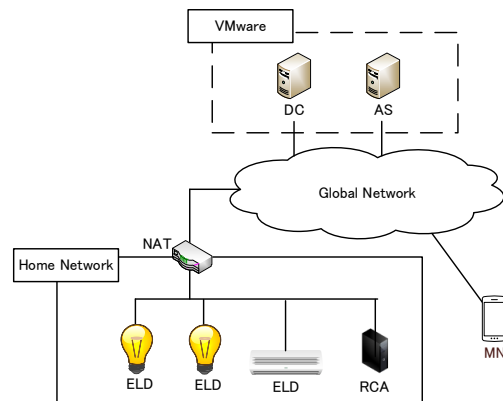


図 9 動作検証用ネットワーク構成

を行った。LED ダウンライトおよびエアコンのそれぞれを指定して制御を行った結果、各機器の電源を ON にできること、エアコンの設定変更が可能であることを確認した。また、パケットキャプチャの結果、MN と RCA 間の通信は暗号化されており、第三者による盗聴が不可能であることを確認した。

6. まとめ

本論文では、NTMobile を応用して宅外から宅内に存在する ECHONET Lite 機器を遠隔制御できるシステムを提案した。提案方式は既存の遠隔制御サービスで必須であった専用サーバが無くても、NTMobile を利用することにより遠隔制御が可能であることをプロトタイプ実装により確認できた。遠隔制御サーバが不要になることで、開発・運用コストを下げるだけでなく、ユーザの操作履歴の流出に伴うプライバシー侵害の懸念がなくなることから、安心・安全な遠隔制御サービスを実現することができる。

謝辞 本研究は平成 28 年度公益財団法人内藤科学技術振興財団研究助成金を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] 株式会社富士経済：HEMS・MEMS の国内市場を調査，株式会社富士経済（オンライン），入手先 (<https://www.fuji-keizai.co.jp/market/15016.html>)（参照 2017-05-10）。
- [2] エコーネットコンソーシアム：ECHONET Lite の概要（2015）。https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Standard/ECHONET_lite_V1.12.jp/ECHONET-Lite_Ver.1.12.01.pdf。
- [3] 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）。
- [4] 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）。
- [5] 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）。

- [6] 納堂博史, 杉原史人, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃 : NTMobile の実用化に向けた統合的枠組みの検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-MBL-77, No. 20, pp. 1-8 (2015).
- [7] 清水皓平, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊 晃 : 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, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 1, pp. 494-504 (2013).
- [8] Wi-SUN Alliance: Wi-SUN Alliance. <https://www.wi-sun.org/index.php/en/>.
- [9] エコネットコンソーシアム : ECHONET Lite 通信ミドルウェア仕様 (2015).
- [10] 一色正男, 平原茂利夫, 岸本卓也 : ネットワーク家電”FEMINITY シリーズ” のシステム概要, 東芝レビュー, Vol. 57, No. 10, pp. 7-10 (2002).
- [11] 角野宏光, 内田良隆, 小佐野智之, 石川憲洋 : 移動端末からの情報家電・プリンタ制御に関する PUCC 実証, NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル, Vol. 14, No. 4, pp. 13-17 (オンライン), 入手先 (https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol14.4/vol14.4.013jp.pdf) (2007).
- [12] ニフティ株式会社 : ニフティ、ホームネットワークとクラウドを結ぶサービス事業者向けプラットフォーム「スマートサブプラットフォーム」を提供開始, ニフティ株式会社 (オンライン), 入手先 (<http://www.nifty.co.jp/cs/newsrelease/detail/140909004352/1.htm>) (参照 2017-05-10).
- [13] 森下太一郎, 中村雅也, 三木一浩 : シャープの HMS クラウドプラットフォーム, シャープ技報, Vol. 109, pp. 9-12 (2015).
- [14] 南 圭祐, 川添博史, 安次富大介 : 家電遠隔制御のための大規模リアルタイム通信システムの設計と評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-MBL-72, No. 7, pp. 1-4 (2014).
- [15] 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).