

# ECHONET Lite 機器のセキュア遠隔制御システムの評価

田中 久順<sup>1,a)</sup> 鈴木 秀和<sup>1,b)</sup> 内藤 克浩<sup>2</sup> 渡邊 晃<sup>1</sup>

**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、宅外の操作端末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。筆者らは、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してきた。本稿では、実ネットワークを想定した環境において、提案システムの動作検証および性能評価を行なった。その結果、ECHONET Lite で規定されたタイムアウト時間内に、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。

## Evaluation of a Secure Remote Control System for ECHONET Lite Home Appliances

HISAYOSHI TANAKA<sup>1,a)</sup> HIDEKAZU SUZUKI<sup>1,b)</sup> KATSUHIRO NAITO<sup>2</sup>  
AKIRA WATANABE<sup>1</sup>

### 1. はじめに

2014 年に「エネルギー基本計画」[1] が閣議決定され、2020 年までに日本国内の新築住宅の過半数で ZEH (Zero Energy House) の実現が要求されている。ZEH を実現する要素の一つとして、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) の導入が挙げられる [2]。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 [3]。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規格であるため、宅外の操作端末から宅内の家電機器を直接制御することができない。

この課題を解決するために、インターネット上に専用のサーバを設置し、Web 技術などを併用することにより、外出先から宅内の家電機器を遠隔制御する手法が提案されている [4-10]。ECHONET Lite 対応家電機器を製造している多くのメーカーは、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

<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> 愛知工業大学情報科学部  
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

a) hisayoshi.tanaka@ucl.meijo-u.ac.jp

b) hsuzuki@meijo-u.ac.jp

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 [11–15]。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 [16–19]。NTMobile を導入することにより、端末間の通信経路に複数の NAT が存在したり、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 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している [20,21]。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ている。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。文献 [22] では Linux PC で動作するプロトタイプシステムを実装し、ローカルネットワークにおいて基本的な動作検証を終えている。

本稿では、提案システムのプロトタイプと既存の遠隔制御サービスを利用し、実ネットワーク環境において性能の比較評価を行った結果について報告する。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章で提案している遠隔制御システムの概要について述べる。4章で提案システムの概要および評価について述べ、5章でまとめる。

## 2. 既存の遠隔制御システム

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。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。機器の制御は以下のように行われる。まず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。

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 1 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。本稿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

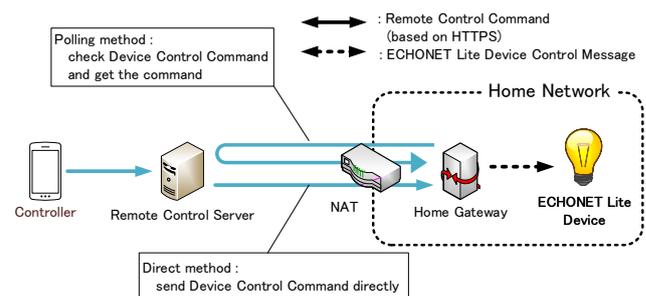


図 1 既存の遠隔制御システムの仕組み

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 [23]. 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. メーカーも宅内用アプリケーションと遠隔制御サービ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. 提案システム

#### 3.1 NTMobile の概要

既存サービスの課題を解決するために, 遠隔制御サーバ利用方式ではなく, 操作端末と ECHONET Lite 機器をエンドツーエンドで接続するアプローチで, 遠隔制御システムを実現する. そこで, 提案システムでは NAT 越えを実現する技術である NTMobile を利用する. NTMobile とは, 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.

なお, NTM 端末が各々異なる NAT 配下に存在する時は, NTMobile のサーバである RS (Relay Server) を経由

する. その際, 双方の NTM 端末と RS 間で UDP トンネルが構築されるが, メッセージ部はエンドツーエンドで暗号化されているため, 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 [24].

#### 3.2 提案システムの概要

提案システムでは, NTMobile の仕様を拡張することで ECHONET Lite 機器の遠隔制御を実現している. 図 2 に提案システムの概要を示す. NAT 越え機能, ECHONET Lite 通信処理機能, ECHONET Lite 家電機器との通信の仲介機能を持った NTM 端末である RCA (Remote Control Agent) を, ホームネットワーク内に設置する. また, 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. 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内にある 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 アドレスをアドレス割り当てテーブル AAT (Address Allocation Table) 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. なお, AAT には ECHONET Lite 家電機器の実 IP アドレスと仮想 IP アドレスの対応関係が保存されている. 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.

#### 3.3 通信シーケンス

##### 3.3.1 機器探索シーケンス

図 3 に機器探索の流れを示す. MN 上で ECHONET

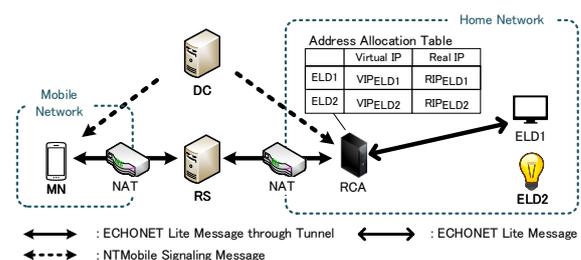


図 2 提案システムの概要

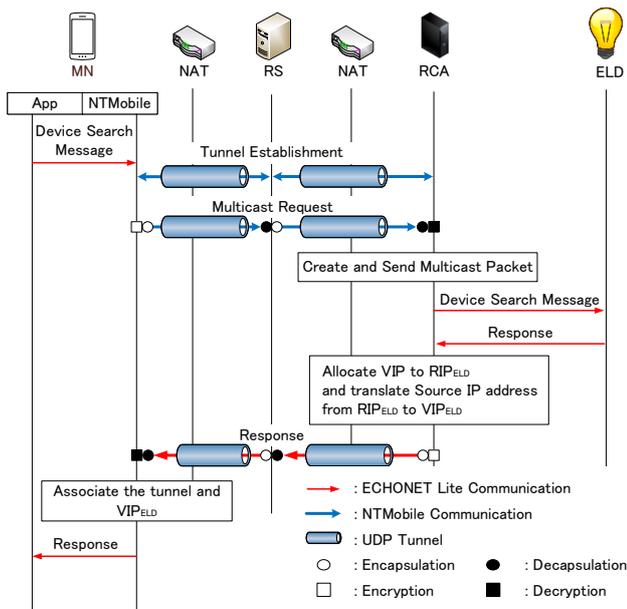


図 3 ECHONET Lite 機器探索シーケンス

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パケットが生成される。MNはこのパケットを送信する前に、NTMobileのトンネル構築ネゴシエーションを開始する。この時、MNとRS、RSとRCA間でトンネルが構築され、以降MNとRCAはRSを経由して通信を行う。ここで、MNはNTMobileにおける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DC (Direction Coordinator)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<sup>\*1</sup>。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

<sup>\*1</sup> 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。

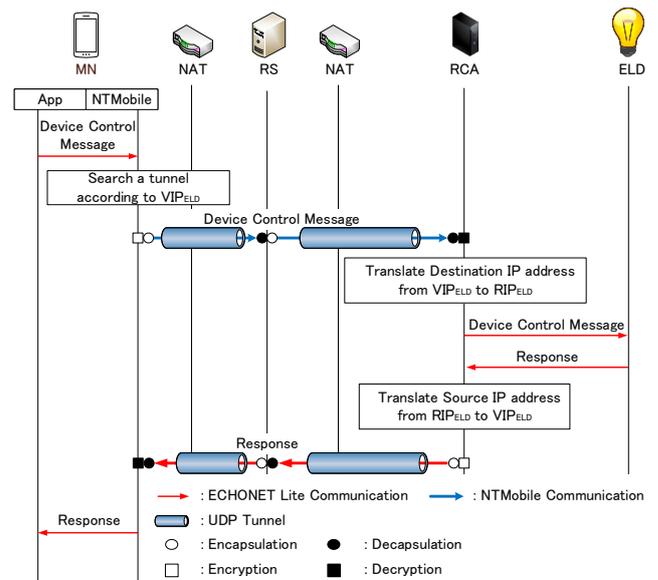


図 4 ECHONET Lite 機器制御シーケンス

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 $VIP_{ELD}$ 宛のパケット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。

### 3.3.2 機器制御シーケンス

図4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。

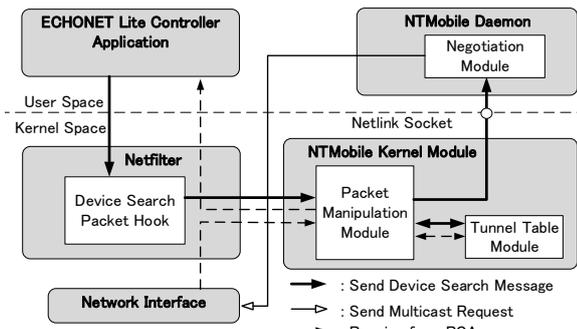


図 5 MN のモジュール構成

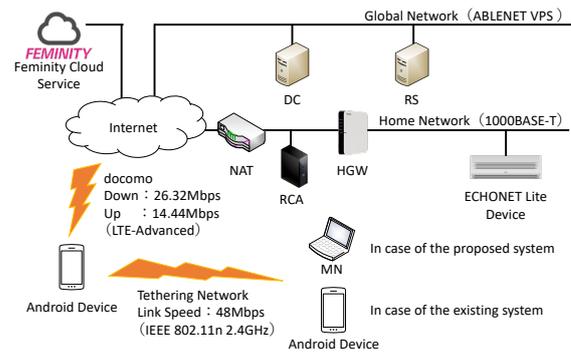


図 7 動作検証用ネットワーク構成

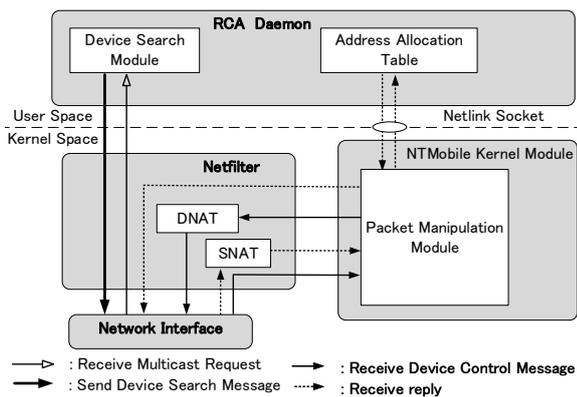


図 6 RCA のモジュール構成

表 1 各装置のスペック

	CPU	Memory
MN	Intel Core i7 3517U 1.9 GHz	4 GB
RCA	Intel Celeron N2830 2.16 GHz	8 GB
DC	Virtual CPU 1 Core 3.3 GHz	512 MB
RS	Virtual CPU 2 Core 3.1 GHz	1536 MB

した。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。

## 4. 実装・評価

### 4.1 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。

#### 4.1.1 MN のプロトタイプ実装

図 5 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し、Netlink ソケットを利用してユーザ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。また、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 トンネルを構築後、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。

#### 4.1.2 RCA のプロトタイプ実装

図 6 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て 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

### 4.2 実験環境

図 7 に検証を行ったネットワーク構成を、表 1 に各装置のスペックを示す。NTMobile における DC および RS を Linux サーバとして VPS (Virtual Private Server) 上に構築した。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電文をコマンドラインを利用し、拡張した NTMobile を実装した MN から送信させた。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 Intel 製のミニ PC (DN2820FYKH) を利用した。MN は、docomo 回線に接続している Android スマートフォンのテザリングを利用してインターネットに接続した。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フスタイル株式会社製のエアコン 1 台 (RAS-B806DRH) と HGW (HEM-GW26A) および RCA を設置した。

### 4.3 評価手順

#### 4.3.1 提案システムにおける処理時間の詳細

提案システムにおける応答時間を明らかにするため、MN

と RCA 間でトンネル構築が確立するまで（トンネル構築処理）に要した時間、MN から ECHONET Lite 機器の探索を開始してからエアコンからの応答パケットを受信するまで（機器探索処理）の時間、MN からエアコンの機器制御パケットを送信してからエアコンからの応答パケットを受信するまで（機器制御処理）の時間を測定した。なお、制御対象であるエアコンはリモコンで電源 OFF の状態とした。

MN と RCA 上で LAN アナライザアプリケーションである Wireshark\*2 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、パケットの送受信時間を解析する。トンネル構築処理は、MN から送出されるトンネル構築ネゴシエーションの開始パケットの送信時刻と RCA が受信するトンネル構築ネゴシエーションの終了パケットの受信時刻の差分から算出した。機器探索処理は、MN が Multicast Request を送信した時刻と MN がデカプセル化されたエアコンからの応答パケットを受信した時刻の差分から算出した。機器制御処理は、MN が機器制御パケットを送信した時刻と MN がデカプセル化されたエアコンからの応答パケットを受信した時刻の差分から算出した。

#### 4.3.2 既存サービスとの比較評価

提案システムが既存サービスと同等の応答時間で制御できるか評価するため、提案システムと既存サービスで機器制御を開始してからエアコンが制御されるまでの時間を比較した。既存サービスとして、東芝ライテック社から提供されている家電の遠隔制御サービスであるフェミニティ倶楽部 [11] を利用した。

既存サービスは HTTPS による通信を行なっているため、機器制御パケットとその応答パケットを特定することが困難なため、パケットキャプチャによる応答時間を算出できない。そこで、各手法による機器制御の様子を撮影し、機器制御を開始した時点からエアコンが反応した時点の差分から、機器制御時間を算出する。なお、動画は Android スマートフォンを利用し、フレームレートを 30fps、保存形式を MP4 として撮影を行なった。

##### 提案システムにおける測定手順

まず MN, RCA 上で提案システムを稼働させ、機器探索パケットをきっかけにトンネル構築を行った。その後、MN 上のターミナルにて機器制御パケットを送信するコマンドを入力した後エンターキーを押して、エアコンの電源を ON にした。

##### 既存サービスにおける測定手順

まず、Android Device で Web ブラウザアプリを起動し、フェミニティ倶楽部にログインした。次にサービス一覧よりエアコンサービスを選択し、操作項目から

表 2 各通信処理における応答時間

	Min. (ms)	Avg. (ms)	Max (ms)
Tunnel establishment	301.31	726.30	1572.49
Device discovery	80.88	443.25	2248.41
Device control	148.69	390.29	801.25

エアコンの電源状態を ON にするボタンをタップして、エアコンの電源を ON にした。

#### 4.4 評価結果

##### 4.4.1 提案システムにおける処理時間の計測結果

表 2 に提案システムによりエアコンを 10 回遠隔制御した時の各処理時間の最大値、平均値、最小値を示す。平均値に着目すると、NTMobile におけるトンネル構築処理は 726.30 ms、機器探索処理は 443.25 ms、機器制御処理は 390.29 ms と、短時間で完了したことを確認した。トンネル構築処理は初めて機器探索を行う時、または MN が別のネットワークへ移動して IP アドレスが変化した際に 1 回だけ発生する処理である。最悪実行時間を考えた場合でも機器探索は約 2 秒で完了する。

ECHONET Lite の規格書によると、制御メッセージを送信してから応答メッセージを受信するまでのタイムアウト時間は 5,000 ms と定義されている [25]。したがって、提案システムにより発生するオーバーヘッドが ECHONET Lite 通信に悪影響を及ぼすことはなく、実環境において問題なく動作することがわかった。

##### 4.4.2 既存サービスとの比較結果

提案システムと既存サービスの機器制御にかかる時間を 3 回ずつ測定した結果、提案システムでは平均 900 ms、既存サービスでは平均 1219 ms でエアコンを制御した。上記の結果から、提案システムによる機器を実際に制御するまでの時間は、既存サービスと同等であることがわかった。

#### 5. まとめ

本稿では、NTMobile を応用して宅外から宅内に存在する ECHONET Lite 機器を直接遠隔制御できるシステムを、実際のモバイルインターネット環境において動作検証および性能評価を行なった。その結果、提案システムはメーカーが運用する専用のサーバを利用することなく、既存の遠隔制御サービスとほぼ同じ反応時間で ECHONET Lite 対応家電機器を遠隔制御できることを確認した。

今後は、提案システムを Android スマートフォンや iPhone で実現できるようにするために、カーネルへの実装が不要な NTMobile フレームワーク [26] を利用した実装を行う。

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。

\*2 <http://www.wireshark.org/>

## 参考文献

- [1] 経済産業省: エネルギー基本計画 (2010). [http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/100618honbun.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/100618honbun.pdf).
- [2] 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 (参照 2017-05-10). <http://www.group.fuji-keizai.co.jp/press/pdf/150218.15016.pdf>.
- [3] エコ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](https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Standard/ECHONET_lite-V1.12.jp/ECHONET-Lite_Ver.1.12_01.pdf).
- [4] 江坂直紀, 安次富大介: スマート家電の遠隔制御技術, 東芝レビュー, Vol. 70, No. 6, pp. 23-26 (2015).
- [5] 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 (2007).
- [6] 齊藤匠平, 石川憲洋, 榎屋洋亮: PUCC プロトコルを用いたスマートデバイスからの ECHONET Lite 準拠家電制御システムの開発, 技術報告 1, 駒澤大学グローバル・メディア研究科, 駒澤大学グローバル・メディア・スタディーズ学部, 駒澤大学グローバル・メディア・スタディーズ学部 (2014).
- [7] 森下太郎, 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).
- [8] 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. MBL, Vol. 72, No. 7, pp. 1-4 (2014).
- [9] Papadopoulos, N., Meliones, A., Economou, D., Karras, I. and Liverezas, I.: A Connected Home Platform and Development Framework for smart home control applications, *2009 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pp. 402-409 (2009).
- [10] Sumino, H., Ishikawa, N., Tsutsui, H., Ochi, H., Nakamura, Y. and Uchida, Y.: Home Appliance Control from Mobile Phones, *2007 4th IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, pp. 793-797 (2007).
- [11] 東芝ライテック: フェミニティ倶楽部. <http://feminity.toshiba.co.jp/feminity/>.
- [12] ニフティ株式会社: スマートサーバ. <http://smartserve.nifty.com/>.
- [13] ダイキン工業株式会社: ダイキンスマートアプリ. [http://www.daikinaircon.com/app/smart\\_app](http://www.daikinaircon.com/app/smart_app).
- [14] パナソニック株式会社: スマート HEMS. <https://sumai.panasonic.jp/chikuden/smarthems>.
- [15] 富士通株式会社: My Cloud エコ. [http://azby.fjnworld.net/mycloud/apps\\_top/eco-dx/](http://azby.fjnworld.net/mycloud/apps_top/eco-dx/).
- [16] 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).
- [17] 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).
- [18] 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).
- [19] 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の検討, 情報処理学会研究報告. MBL, Vol. 54, No. 1, pp. 380-393 (2015).
- [20] 田中久順, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃: ECHONET Lite 機器のセキュア遠隔制御システムの実装, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2017) シンポジウム論文集, Vol. 2017, No. 8E-4, pp. 1695-1702 (2017).
- [21] Tanaka, H., Suzuki, H., Naito, K. and Watanabe, A.: Proposal for a Secure Remote Control System for ECHONET Lite Home Appliances, *Proc. of IEEE GCCE 2017*, pp. 310-311 (2017).
- [22] Tanaka, H., Suzuki, H., Naito, K. and Watanabe, A.: Evaluation of a Secure End-to-End Remote Control System for Smart Home Appliances, *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 1-2 (online), DOI: 10.1109/ICCE.2018.8326256 (2018).
- [23] 一色正男, 河口俊朗, 平原茂利夫: 広がる東芝ネットワーク家電“フェミニティ”シリーズ, 東芝レビュー, Vol. 60, No. 4, pp. 23-27 (2005).
- [24] 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).
- [25] 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). [https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Standard/ECHONET\\_lite-V1.12.jp/ECHONET-Lite\\_Ver.1.12\\_02.pdf](https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Standard/ECHONET_lite-V1.12.jp/ECHONET-Lite_Ver.1.12_02.pdf).
- [26] Naito, K., Sugihara, F. and Noda, H.: Implementation of Smartphone Applications Supporting End-to-end Communication, *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services, MOBIQUITOUS '14*, pp. 393-394 (2014).