

推薦コンシューマ・システム論文

ECHONET Lite 搭載機器の相互接続性を阻害する 家庭用ルータの実装状況調査, および 相互接続性向上のための手法の提案

濱本 望絵^{1,2,a)} 杉本 芳剛¹ 鷲津 宗孝¹ 石川 博一¹ 村上 隆史¹
杉村 博² 森 信一郎² 一色 正男²

受付日 2018年6月30日, 採録日 2018年11月14日

概要: ECHONET Lite 搭載機器でシステムを構築する際, 機器の検索や状態変化通知などマルチキャスト通信を利用するケースがある. しかし ECHONET Lite 規格は OSI 参照モデルにおける 5 層以上を規定した通信仕様であるため, IPv4 でマルチキャストのグループ管理を行うためのプロトコルである IGMP の実装方法は規格の範囲外であり, IP レイヤに関する機能の規格適合性認証試験が存在していない. そのため, 開発者の IGMP に関する規格解釈の違いにより, 端末ごとに IGMP の動作に違いが生じることもある. また, ホームネットワークを構成するうえで中心となる構成要素に家庭用ルータがある. インターネットサービスプロバイダ (ISP) から提供されるものや, ユーザが量販店などで独自に購入するものなど, 各家庭で使用されるルータは多種多様である. この多様な家庭用ルータの中にも IGMP を規格どおりに実装していないものがあるため, 端末と家庭用ルータの組合せによってはマルチキャスト通信を利用した相互接続ができない場合がある. 本論文では, ECHONET Lite 搭載機器の相互接続性を阻害する家庭用ルータの IGMP に関する実装状況を調査し, その問題を明らかにする. また家庭用ルータの問題に対して, 端末側の実装で相互接続性を確保するための手法の提案を行うとともに提案手法の評価と考察を述べる.

キーワード: ECHONET Lite, マルチキャスト, IGMP, 家庭用ルータ

Investigation of Characteristics of Home Routers that Hamper Interconnectivity of the Devices Equipped ECHONET Lite, and Proposal of Method for Improving Interconnectivity

MOE HAMAMOTO^{1,2,a)} YOSHITAKA SUGIMOTO¹ MUNETAKA WASHIZU¹ HIROKAZU ISHIKAWA¹
TAKASHI MURAKAMI¹ HIROSHI SUGIMURA² SHINICHIRO MORI² MASAO ISSHIKI²

Received: June 30, 2018, Accepted: November 14, 2018

Abstract: ECHONET Lite is supposed to communicate by multicast. In the ECHONET Lite, the implementation of IGMP, which is a protocol for group management of multicast in IPv4, is outside the scope of the standard. Therefore, the operation of IGMP of each device may be different depending on the interpretation of the standard regarding IGMP of the developer. Also, there is a home router as a core constituent element in configuring the home network. Various routers are used in each household, such as being provided from an Internet service provider (ISP), or being purchased at the mass merchandisers, and so on. Some home routers do not implement IGMP according to standards, so depending on the combination of the device and home router, interconnection using multicast communication may not be possible in some cases. In this paper, we investigate the characteristics related to IGMP of home routers that hamper the interconnectivity of the devices equipped ECHONET Lite and clarify the problem. In addition, we propose a method to improve interconnectivity in the implementation on the device side against the problem of home router. Furthermore, evaluation and consideration of the proposed method are described.

Keywords: ECHONET Lite, multicast, IGMP, home router

1. はじめに

IoT の急速な普及や政府の Society 5.0 の推進などを背景に、家庭内においてもテレビやエアコンなどあらゆるものをインターネットに接続することで「簡単」「快適」「省エネ」を目指す「スマート化」が進んでいる。

特に近年急速に進む地球温暖化を背景に「省エネ」は社会全体が取り組むべき重要なテーマとされ、家庭においてもホームネットワーク環境を利用した HEMS (Home Energy Management System) の取り組みが注目されている。

ホームネットワークにおいて HEMS コントローラがエアコンなどの家電や照明などの住宅設備を制御するための通信規格として、ECHONET Lite がある [1]。

製造メーカーが異なっても相互接続できる家電の共通通信規格であり、現在では多数のメーカーから ECHONET Lite 対応製品が発売され今後もますます対応製品は増えていくことが予想される [2]。

パナソニック株式会社 (以降、当社) においても HEMS につながる製品の拡充を目指して、エアコンをはじめとする多数の ECHONET Lite 製品を開発している。特にエアコンに関しては他の家電よりも早く ECHONET Lite のロゴ認証の取得を開始しており、2014 年から 2018 年 4 月における累計 1096 機種において ECHONET Lite 規格を取得している [3]。

ECHONET Lite では、機器発見や状態通知の用途でマルチキャスト通信を行うことを規定している。IPv4 でマルチキャストのグループ管理を行うためのプロトコルとして、IETF (Internet Engineering Task Force) が RFC (Request for Comments) として公開している IGMP (Internet Group Management Protocol [4], [5], [6]) があるが、IGMP 機能の実装方法については ECHONET Lite の規格の範囲外であるため、開発者の IGMP に関する規格解釈の違いにより、端末ごとに IGMP の動作に違いが生じることがある。

また、ホームネットワークを構成するうえで中心となる構成要素に家庭用ルータがある。インターネットサービスプロバイダから提供されるもの、ユーザが量販店などで独自に購入するものなど、各家庭で使用されるルータは多種多様である。ホームネットワークで送受信されるマルチキャストパケットは通常家庭用ルータを経由するが、家庭用ルータの中にも IGMP の実装仕様の違いがあるため、端末と家庭用ルータの組合せによってマルチキャスト通信を利用した相互接続ができない場合がある。そのた

め ECHONET Lite の規格に準拠しているにもかかわらず HEMS サービスが利用できない場合がある。この課題が市場クレームとして報告されると、HEMS サービス全体として推奨ルータの検討など信頼性を維持するための工数増大が予想される。一方、近年のものづくりのスタイルとして、無線のチップセット (あるいは SoC など) を買い入れる傾向があり、下回りの通信部分 (無線やミドルウェア) がブラックボックス化されているため簡単には自社で改修できない場合が多い。市場クレームに対応するためにはチップセットベンダに改修を依頼しなければならず、開発コストが増大するため、結果的に HEMS 機器の高額化につながる。いずれにおいても HEMS 普及を阻害する要因となるため、製品の開発段階で解決手法を取り入れ市場での課題発生を未然に防ぐ取り組みが不可欠である。市場で販売されている家庭用ルータや、ISP から提供されるルータをある程度網羅的に調査し、相互接続性の阻害要因を特定する必要がある。

本論文では、ECHONET Lite 規格の相互接続性を阻害する家庭用ルータの IGMP に関する実装状況を調査し、端末側の実装で相互接続性を向上させる手法の提案を行うとともに提案手法の評価と考察を述べる。

2. マルチキャストの仕組みと課題

マルチキャストとは、ネットワークで同じグループに参加している複数の端末に対し 1 つのパケットを同時に送信する通信方法である。たとえば動画配信サーバからストリーミング配信される 1 つのデータを特定のグループに属する複数の端末へ同時に送信可能とする。このマルチキャストグループの管理を行うためのプロトコルが IGMP である。

本章では IGMP の仕組みを説明し、それらの実装不備により発生する課題を示す。

2.1 IGMP の仕組み

IGMP には v1/v2/v3 の 3 つのバージョンがあり、上位のバージョンは下位バージョンに対し互換性を持つ。市販されている家庭用ルータでは v1 のみサポートのものではなく、v2 あるいは v3 がサポートされている。

IGMP に対応したホストがマルチキャストグループへの参加・離脱を報告し、ルータがそれを認識することでマルチキャストパケットの中継・遮断を行う。IGMP によるマルチキャストグループ管理の基本的な概念を以下に説明する。

¹ パナソニック株式会社

Panasonic Corporation, Kadoma, Osaka 570-8501, Japan

² 神奈川工科大学

Kanagawa Institute of Technology, Atsugi, Kanagawa 243-0292, Japan

a) hamamoto.moe@jp.panasonic.com

本論文の内容は 2018 年 1 月の第 21 回コンシューマ・デバイス & システム研究会にて報告され、コンシューマ・デバイス & システム研究会主催により情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス & システムへの掲載が推薦された論文である。

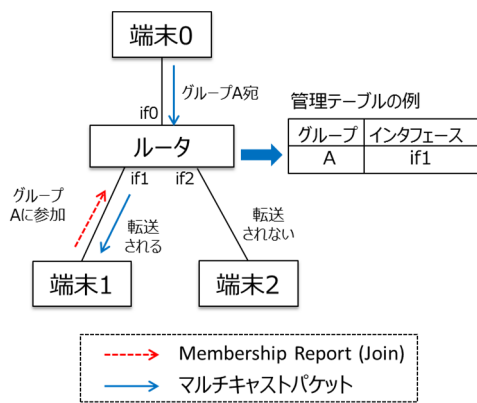


図 1 グループへの参加
 Fig. 1 Join the group.

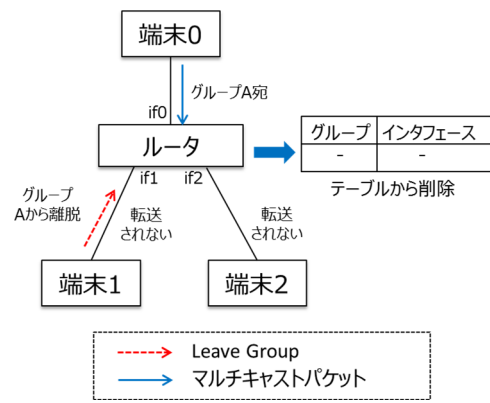


図 3 グループの離脱
 Fig. 3 Leave the group.

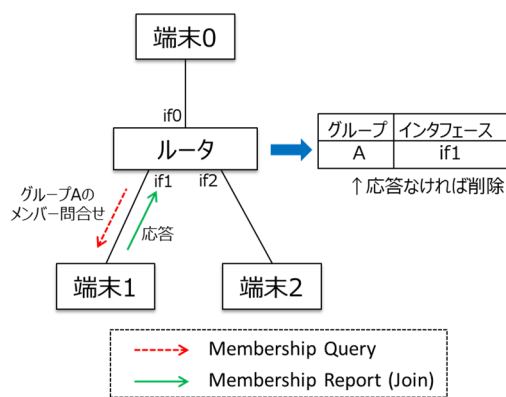


図 2 グループの維持
 Fig. 2 Maintaining the group.

(1) グループへの参加

マルチキャストグループへ参加する際に、端末がルータに対して Membership Report (Join メッセージ) を送信する。ルータは Join メッセージを受信すると、受け取ったインタフェース上にメンバがいることを認識して該当グループの packets を転送できるようにする。このときルータは「マルチキャストグループ」と「インタフェース」を対にしたエントリをマルチキャスト管理テーブルに追加する (図 1)。

(2) グループの維持

ルータが定期的に Membership Query (Query メッセージ) を送信してグループの参加状況を把握し、グループの維持を行う。ここで、Query メッセージを定期的に送信するルータのことを Querier と呼ぶ。Query に対して Membership Report の応答がない場合には、(1) で作成したマルチキャスト管理テーブルに登録されたグループを削除する (図 2)。

(3) グループからの離脱

マルチキャストグループからの離脱の際に、端末がルータに対して Leave Group (Leave メッセージ) を送信する。ルータは Leave メッセージを受信すると、Query メッセージを送信して他にグループのメンバがいないことを確認し、

マルチキャスト管理テーブルから該当エントリを削除する。そして、以降そのインタフェースに対してマルチキャストパケットの転送を行わない (図 3)。

2.2 IGMP 機能実装の違いが生じた経緯と要因

有線 LAN によって構成されるホームネットワークが主流であった時代は、インタフェースをまたがるマルチキャストパケットの転送は必要なかったため、家庭用ルータとしては IGMP 機能を実装していなかった。そのため端末が Join メッセージの送信によりグループへの参加をしなくてもマルチキャストパケットはすべて転送されていた。このような背景から IGMP 機能を実装しない端末も多く存在していた。

その後家庭用ルータが無線 LAN 機能に対応してきたことにより、ホームネットワークの構成が有線 LAN と無線 LAN の複数のインタフェースで構成されるようになってきた。このような構成でマルチキャストを行う場合、すべてのマルチキャストパケットをすべてのインタフェースへ転送すると、不要なトラフィックにより無線 LAN の帯域を圧迫する可能性がある。そこで IGMP 機能でグループ管理を行い、メンバが存在するインタフェースにのみパケットを転送することにより無駄なトラフィックの発生を防ぐ家庭用ルータが増えてきた。それとともに、端末側でも IGMP 機能を実装するものが増えてきたが、IGMP を実装しなければマルチキャスト通信できないルータが存在することに開発の段階で開発者が気付かない場合や、無線のチップセットを買い入れ下回りの通信部分 (無線やミドルウェア) がブラックボックス化された状態で端末の開発を行う場合、IGMP 機能が未実装である端末が現在でも存在する。

2.3 IGMP 機能実装の違いによる課題

家庭用ルータと端末の IGMP 実装仕様の組合せにより、下記の 2 つの課題が発生する。

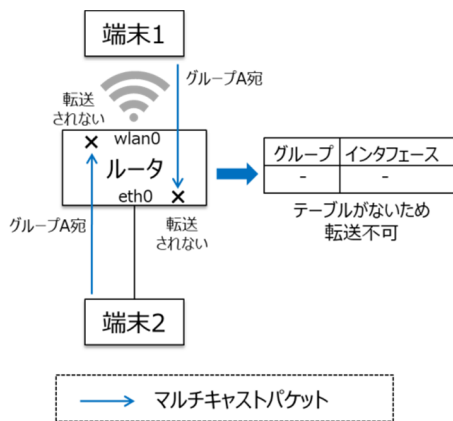


図 4 初期状態
Fig. 4 Initial state.

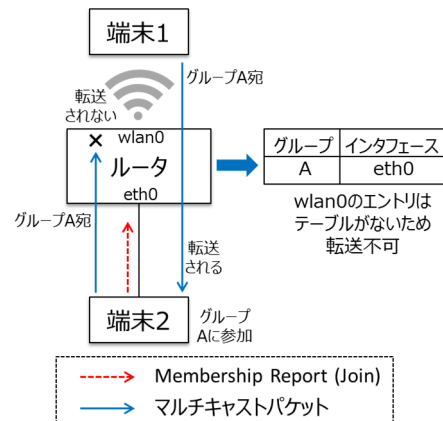


図 5 片側 Join 状態
Fig. 5 Joined state only one side.

2.3.1 異なるインタフェース間でのマルチキャスト転送に失敗する

家庭用ルータの IGMP 機能が初期状態から有効である場合、かつ、有線 LAN 上および無線 LAN 上のいずれのインタフェース上でも端末が Join メッセージを送信しない場合、家庭用ルータのマルチキャスト管理テーブルにエントリがまったく存在しないため、双方向ともにマルチキャストパケットの転送が行われず相互接続できない。本論文ではいずれのインタフェース上でも Join メッセージが送信されず、マルチキャスト管理テーブルにエントリがない状態を「初期状態」と定義する (図 4)。

また、IGMP 機能を実装している端末と、実装していない端末が異なるインタフェース上にいる場合、Join メッセージを送信する端末は、マルチキャスト管理テーブルにエントリが作成され、異なるインタフェースからのマルチキャストパケットが転送されるため受信は可能となる。しかし、Join メッセージを送信しない端末は、マルチキャスト管理テーブルにエントリがない状態で、異なるインタフェースからのマルチキャストパケットが転送されないため、マルチキャスト通信が片方向となり、正常な相互接続は行えない。本論文ではこのように、片方のインタフェースでのみ Join メッセージの送信が行われた状態を「片側 Join 状態」と定義する (図 5)。

さらに家庭用ルータの中には、初期状態では IGMP 機能が無効でマルチキャストパケットをすべて転送するにもかかわらず、有線 LAN・無線 LAN のいずれかのインタフェースで Join メッセージを受信すると IGMP 機能が有効となるものがある。この場合、Join メッセージを送信しない端末でも最初はマルチキャストパケットを受信できるが、他の端末の Join メッセージの送信が影響して、運用途中で片側 Join 状態となりマルチキャストパケットが転送されなくなる (図 6)。

なお、本論文では両方のインタフェース上の端末がともに Join メッセージを送信して双方向でマルチキャスト転

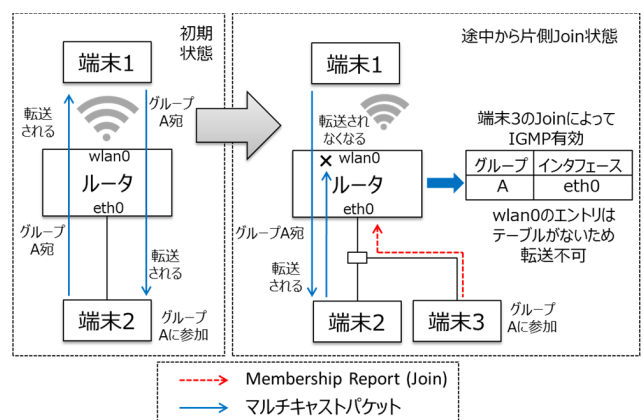


図 6 途中から片側 Join 状態
Fig. 6 Transition to joined state only one side.

表 1 Querier 機能およびテーブル有効期限の有無と課題
Table 1 Querier function and table valid term and problems.

カテゴリ	Querier 機能実装の有無		課題の有無
Querier 機能	無し	テーブルの有効期限無し	無し
		テーブルの有効期限有り	有り 下記(1)で説明
	有り	テーブルの有効期限無し	無し
		テーブルの有効期限有り	有り 下記(2)で説明

送可能な状態を「両側 Join 状態」と定義する。

2.3.2 ルータの管理テーブルを維持できずマルチキャスト転送ができなくなる

IGMP 機能を実装しているルータにおいて、グループ維持機能である Querier 機能や、マルチキャスト管理テーブルの扱い方などの実装を正しく行えていない場合がある。このことから、その仕様の差異を考慮せずに実装された端末は、ルータによってマルチキャスト管理テーブルからエントリを削除されてマルチキャスト転送に失敗するという課題が発生する場合がある。表 1 は Querier 機能およびマルチキャスト管理テーブルの有効期限の有無を分類し、そ

れぞれ課題の有無を示したものである。

(1) Querier 非対応かつテーブルの有効期限があるルータ

IGMP 機能を実装した家庭用ルータの中には、定期的な Query メッセージの送信によりグループのメンバの存在確認をしないものがある。このようなルータにおいてマルチキャスト管理テーブルに有効期限を設けているものは、一定期間経過後にマルチキャスト管理テーブルのエントリを削除するためマルチキャストパケットが転送されなくなる。

(2) Querier 対応かつテーブルの有効期限があるルータ

Querier に対応したルータにおいてもマルチキャスト管理テーブルに有効期限を設けているものがある。これに対しルータからの Query に対して応答 (Join メッセージ) を返さない端末は、一定期間後にエントリを削除されて初期状態に戻り、ルータが初期状態で IGMP 有効の場合マルチキャストパケットが転送されなくなる。

3. 関連研究

IGMP を拡張してマルチキャスト通信のアクセス制御やユーザ認証機能を向上させる従来研究 [7], [8] は、Join メッセージに認証用パラメータを追加し、ルータが端末からの Join メッセージ受信時に認証を行い、認証に成功するとマルチキャストパケットを転送する手法である。その際に管理テーブルにおいて認証の有効期限を設け、有効期限が切れるとパケット転送を行わなくなる。有効期限が切れる前に Query メッセージを端末に送信し、応答があればテーブルから削除せずマルチキャストパケットの転送を継続する。これらの従来手法はルータが Query を送信することが前提であるため、本論文で示す家庭用ルータにあてはめた場合、Query を送信しないルータのテーブルを維持できない。またホームネットワーク技術の観点で見た場合、同一ベンダによるシステム構築の従来研究が多く [9], [10], [11], 本論文でテーマにしているような実環境下におけるルータ含め、マルチベンダでのシステム構築時の課題解決を図るものは少ない。

本論文では、家庭用ルータの IGMP に関する実装状況を明らかにし、実環境において相互接続性を向上させる手法を検討する。

4. 家庭用ルータの実装調査と提案手法

4.1 ホームネットワークの構成

家庭用ルータを中心に構成されるホームネットワーク上の端末どうしがマルチキャストパケット通信を行う形態について、端末が接続されるインタフェースに着目したパターンを表 2 に示す。

これらのうち、異なるインタフェース間の通信のため、マルチキャスト転送で問題が発生しうるのは構成 2、構成 3、構成 5 の 3 パターンであるが、構成 2 と構成 3 は有線 LAN と無線 LAN の組合せとしては同じであるため、代表

表 2 ホームネットワークの構成の種類

Table 2 Types of home network configuration.

構成	端末 1 が接続する インタフェース	端末 2 が接続する インタフェース
構成 1	有線 LAN	有線 LAN
構成 2	有線 LAN	無線 LAN(2.4GHz 帯)
構成 3	有線 LAN	無線 LAN(5GHz 帯)
構成 4	無線 LAN(2.4GHz 帯)	無線 LAN(2.4GHz 帯)
構成 5	無線 LAN(2.4GHz 帯)	無線 LAN(5GHz 帯)
構成 6	無線 LAN(5GHz 帯)	無線 LAN(5GHz 帯)

して無線 LAN 対応ルータには必ず搭載されている 2.4 GHz 帯を対象とし、構成 2 および構成 5 に対して、IGMP 機能の実装調査を行う。

4.2 調査対象の家庭用ルータ

パナソニック株式会社製品セキュリティセンターにて保有する日本国内向けルータ 729 台 (市場シェア合計約 98.16%相当) のうち、

- 無線 LAN (2.4 GHz) 規格をサポートする市場シェア上位 131 台の家庭用ルータ
- 主要回線事業者 4 社の ISP およびケーブルテレビ会社 2 社からのレンタルルータ 19 台

上記の合計 150 台 (シェア合計約 81.57%相当) を抽出し、前述の構成 2 の調査対象とした。

また、これらのうち無線 LAN (5 GHz 帯) をサポートしている下記の合計 94 台の家庭用ルータ (シェア合計約 49.18%相当) を構成 5 の調査対象とした。

- 無線 LAN (5 GHz) 規格をサポートする 84 台の家庭用ルータ
- 主要回線事業者 4 社の ISP およびケーブルテレビ会社 2 社からのレンタルルータ 10 台

ここで、各ルータの市場シェアの算出には下記の計算式、

$$\text{対象ルータの市場シェア(\%)} = \frac{\text{対象ルータの販売累計台数}}{\text{全ルータの販売累計台数}}$$

を用いる。このときの各販売累計台数は、GfK による POS トラッキング調査結果 [12] を利用して、2012 年 1 月から 2017 年 9 月の期間の販売累計台数を独自に集計したものである。

また、対象ルータのうち、主要回線事業者 4 社の ISP およびケーブルテレビ会社 2 社からのレンタルルータは、FTTH 契約数シェア [13] で見た場合に約 81.4%に相当するものである。

4.3 調査環境

各構成の形態になるよう、家庭用ルータ、端末 1、端末 2 を接続する。端末 1、端末 2 は、それぞれ試験用ツールがインストールされた Windows 10 の PC を使用する。Windows 10 の PC は調査に影響がないよう事前に IGMP

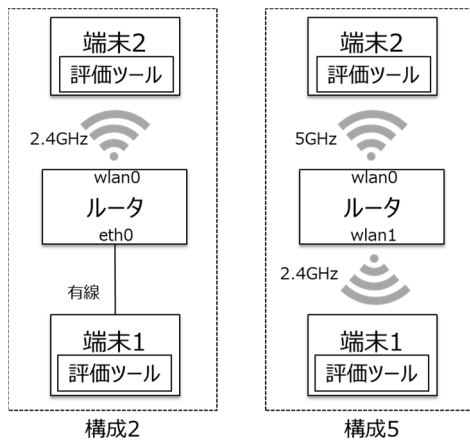


図 7 調査環境

Fig. 7 Examination environment.

の機能を無効にする。また試験ツールは、4.4 節に示す項目内容を調査できるよう今回開発した (図 7)。

4.4 調査項目および調査方法

(1) 各状態におけるマルチキャスト転送調査

端末 1, 端末 2 のそれぞれから定期的 (10 秒ごと) にマルチキャストパケットの送信を開始する。

まず「初期状態」でそれぞれルータを介した相手側で受信できるかどうかを確認する。

次に、いずれかの端末から Join メッセージを送信し、片側 Join 状態に遷移させる。これにより他方のインタフェースにマルチキャストパケットの転送の有無に変化が生じる場合、ルータにおいてマルチキャスト管理テーブルが作成されたことが分かる。ここで片側 Join 状態とは、構成 2 の場合は、「有線 LAN 側のみ Join 状態」と「無線 LAN (2.4GHz 帯) 側のみ Join 状態」の 2 通り、また構成 5 の場合、「無線 LAN (2.4GHz 帯) のみ Join 状態」と「無線 LAN (5GHz 帯) 側のみ Join 状態」の 2 通りであり、すべてのパターンを確認する。

その後、端末 1 および端末 2 ともに Join メッセージを送信させ、マルチキャストパケットを転送するかどうかを確認する。

ここで、調査するマルチキャストグループは、ECHONET Lite で規定されている下記マルチキャストアドレスとポート番号を使用することとする。

IP アドレス: 224.0.23.0, ポート番号: 3610

また、端末 1 および端末 2 が送信するマルチキャストパケットは ECHONET Lite の「インスタンスリスト通知」を使用する。

加えて、調査する IGMP バージョンは、当社のシステムテストにおいてマルチキャスト転送に問題のあったケースに倣って、端末 1 は IGMPv2, 端末 2 は IGMPv3 を使用する。

表 3 構成 2 における IGMP 機能の有無に関する調査結果
Table 3 Investigation result on existence of IGMP function in configuration 2.

内訳	台数	シェア合計
IGMP 機能: 無し (全ての状態で転送される)	107 台	51.19%
IGMP 機能: 有り (いずれかの状態で転送不可)	43 台	30.38%
合計	150 台	81.57%

表 4 構成 5 における IGMP 機能の有無に関する調査結果
Table 4 Investigation result on existence of IGMP function in configuration 5.

内訳	台数	シェア合計
IGMP 機能: 無し (全ての状態で転送される)	72 台	33.68%
IGMP 機能: 有り (いずれかの状態で転送不可)	22 台	15.50%
合計	94 台	49.18%

(2) マルチキャスト管理テーブルの有効期限調査

(1) の各状態において、マルチキャストパケットの転送の有無に変化が生じる場合、その変化までの継続時間をマルチキャスト管理テーブルの有効期限と定義する。たとえば、初期状態ではマルチキャストパケットが転送されており、片側 Join 状態への遷移でマルチキャストパケットが転送されなくなる場合には、そのまま観測を継続し、再度転送されるようになるまでの時間を計測する。ただし、計測時間は 7 分間とするため、状態変化が見られない場合は「テーブル有効期限 7 分以上」あるいは「テーブル有効期限なし」の区別までは行えない。

また、ルータが定期的に Query メッセージを送信するかどうかとも確認する。ルータが Querier 機能を有する場合、Query メッセージに対して応答 (Join メッセージ) を返さないようにし、それによりマルチキャストパケットの転送の有無に変化が生じる場合、その変化までの継続時間を計測する。

4.5 調査結果

(1) 各状態におけるマルチキャスト転送調査結果

構成 2, 構成 5 それぞれで、マルチキャストパケット転送を調査した結果を表 3, 表 4, 表 5, 表 6 に示す。

表 3 および表 4 は、マルチキャストパケット転送結果から、すべての状態でマルチキャストパケットを双方向で転送可能なルータを「IGMP 機能: なし」、いずれかの状態でマルチキャストパケットの転送が不可のルータを「IGMP 機能: あり」として、調査対象ルータの IGMP 機能実装の有無を台数および市場シェアで示したものである。

表 5 構成 2 におけるマルチキャスト転送結果

Table 5 Multicast transfer result in configuration 2.

状態	マルチキャスト パケットの方向	転送可		転送不可	
		台数	割合	台数	割合
初期状態	有→無	129台	72.691%	21台	8.883%
	無→有	141台	78.687%	9台	2.887%
片側Join状態 (有線のみJoin)	有→無	116台	55.280%	34台	26.294%
	無→有	148台	77.752%	2台	3.822%
片側Join状態 (無線のみJoin)	有→無	147台	81.376%	3台	0.198%
	無→有	129台	64.808%	21台	16.766%
両側Join状態	有→無	149台	81.556%	1台	0.018%
	無→有	150台	81.574%	0台	0.000%

表 6 構成 5 におけるマルチキャスト転送結果

Table 6 Multicast transfer result in configuration 5.

状態	マルチキャスト パケットの方向	転送可		転送不可	
		台数	割合	台数	割合
初期状態	5G→2.4G	88台	44.922%	6台	4.261%
	2.4G→5G	87台	47.119%	7台	2.064%
片側Join状態 (2.4GHz帯のみ)	5G→2.4G	93台	49.165%	1台	0.018%
	2.4G→5G	74台	37.835%	20台	11.348%
片側Join状態 (5GHz帯のみ)	5G→2.4G	79台	35.778%	15台	13.405%
	2.4G→5G	93台	49.165%	1台	0.018%
両側Join状態	5G→2.4G	93台	49.165%	1台	0.018%
	2.4G→5G	93台	49.165%	1台	0.018%

また、表 5 および表 6 は、IGMP 機能を有するルータに関して、各状態におけるマルチキャストパケット転送結果を示しており、マルチキャストパケットの送信方向について、有線 LAN 側の端末から無線 LAN 側の端末宛を「有→無」、逆向きを「無→有」、また無線 LAN (2.4 GHz 帯) 側の端末から無線 LAN (5 GHz 帯) 側の端末宛を「2.4G→5G」、逆向きを「5G→2.4G」と示し、ECHONET Lite のマルチキャストパケットの転送可否を示したものである。

上記の結果より、Join メッセージを送信しない端末は、表 3 より市場シェア約 30% のルータにおける有線 LAN—無線 LAN (2.4 GHz 帯) 間のマルチキャスト通信に失敗し、表 4 より市場シェア約 16% のルータにおける無線 LAN (2.4 GHz 帯)—無線 LAN (5 GHz 帯) 間のマルチキャスト通信に失敗することが判明した。しかしながら、表 5 および表 6 における「両側 Join 状態」の結果より、初期状態や片側 Join 状態でマルチキャスト通信ができない場合でも、両側 Join 状態となればほぼ確実にマルチキャスト通信が可能となることが分かった。

(2) マルチキャスト管理テーブルの有効期限調査結果

調査対象ルータ 150 台のうち、Querier 対応の有無、およびマルチキャスト管理テーブルの有効期限の有無に関する調査結果を表 7 に示す。

表 7 の結果より、市場シェア約 0.8% のルータが Querier に対応し、かつテーブルの有効期限があるルータであり、応答 (Join メッセージ) を返さない場合は比較的短時間でマルチキャスト管理テーブルからエントリが削除されることが判明した。また、市場シェア約 20% のルータが Querier 非対応かつテーブルに有効期限があり、その有効期限の最小値は 120 秒であることが分かった。

表 7 Querier 機能およびテーブル有効期限調査結果

Table 7 Result of Querier function and table valid term examination.

内訳	台数	シェア合計
Querier 対応	29 台	9.09%
有効期限 7 分以上 または有効期限なし	23 台	8.28%
有効期限 250 秒 (送信間隔 125 秒×2 回)	4 台	0.51%
有効期限 260 秒 (送信間隔 60 秒×4 回)	1 台	0.02%
有効期限 360 秒 (送信間隔 30 秒×12 回)	1 台	0.28%
Querier 非対応	121 台	72.48%
有効期限 7 分以上 または有効期限なし	104 台	52.05%
有効期限 120 秒	1 台	1.48%
有効期限 260 秒	3 台	4.14%
有効期限 300 秒	13 台	14.81%

4.6 課題を解決する提案手法

課題を解決するためには、ルータ側の実装を改善することが重要であるが、すでに市場に出回っているルータも多数あるためそれだけでは不十分である。端末側において家庭用ルータの仕様の差異を吸収しない限り、現在の市場での相互接続性の向上は実現できない。家庭用ルータの仕様の差異を端末側で吸収して課題を解決するため、4.5 節の調査結果をふまえて設定した以下の仕様 (1) を端末側で実装することを提案する。

またマルチキャスト通信を行う端末は、IGMP を正しく実装することが当然であるが、ECHONET Liteをはじめその他マルチキャストを利用する規格の中では具体的に IGMP の実装仕様を記載していないために実装できていない端末も多々存在する。そこで、マルチキャスト通信を行う端末は、以下 (2) および (3) の IGMP の仕様を必ず実装することを提案し実機を用いた検証を通じた標準仕様への適合の重要性の確認を行った。

(1) 定期的に Join メッセージを送信

ルータが Querier に非対応である場合の対策として、マルチキャスト管理テーブルからエントリが削除される前に端末からテーブル更新を行う。ここで、送信間隔が短すぎるとネットワーク上に不要なトラフィックが生じ、特に無線のように帯域に制限がある場合、他の端末にも負荷をかけてしまう。そのため、表 7 の結果よりテーブル有効期限の最小値である 120 秒間隔で、定期的に Membership Report (Join メッセージ) を送信する。

(2) 起動時に必ず Join メッセージを送信

端末は、ネットワークに接続時に必ず Join メッセージ

を送信することとする。そうすれば必ず両側 Join 状態となり相互接続が可能となる。

(3) ルータからの Query には必ず応答 (Join) を送信
 ルータが Querier に対応している場合の対策として、ルータからの Query に対して必ず応答 (Join メッセージ) を返してテーブル更新を依頼することとする。

5. 評価

4.3 節の調査環境における評価ツール (端末 1 および端末 2) を、提案手法を実装した ECHONET Lite 対応デバイス (ENL デバイス)、および ECHONET Lite 対応コントローラ (ENL コントローラ) に置き換え、4.2 節の調査対象ルータに接続させ、本提案手法の実機器における効果を評価した。評価環境を図 8 に示す。

ここで、ENL デバイスが送信するマルチキャストパケットは「インスタンスリスト通知」、ENL コントローラが送信するマルチキャストパケットは「自ノードインスタンスリスト S のプロパティ値読み出し要求」である。4.4 節の調査方法では「自ノードインスタンスリスト S のプロパティ値読み出し要求」は使用していないが、同じマルチキャストアドレス (224.0.23.0) とポート番号 (3610) を使用するため評価上で問題はない。

加えて、ENL デバイスは IGMPv2、ENL コントローラは IGMPv3 を実装しており、4.3 節の調査環境と同等の評価環境となる。

5.1 評価項目

(1) 起動直後の機器発見

まず ENL デバイスからのマルチキャストによる通知 (インスタンスリスト通知) を受信して ENL コントローラが ENL デバイスを発見できるかどうかを確認した。次に ENL コントローラからマルチキャストによる検索要求 (自ノードインスタンスリスト S のプロパティ値読み出し要求) を送信し ENL デバイスからの応答を受信すること

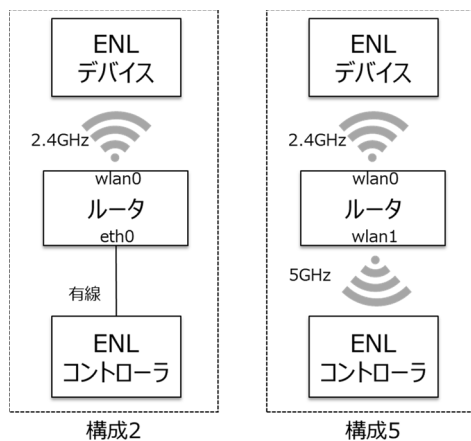


図 8 評価環境

Fig. 8 Evaluation environment.

により、ENL コントローラが ENL デバイスを発見できるかどうかを確認した。

これにより、双方の端末が起動時に Join メッセージを送信することにより、ルータのマルチキャスト管理テーブルに確実にエントリを作成することで両側 Join 状態となり、ECHONET Lite のマルチキャストパケットを双方向に転送可能となる効果を検証した。

(2) 6 分超経過後の機器発見

(1) から 6 分以上経過後に、再度 (1) の手順により ENL コントローラから ENL デバイスが発見できることを確認した。ここで、今回の調査結果から明確に有効期限が確認できたルータの中で一番長いものは、表 7 より 360 秒 (6 分) であったため 6 分の経過時間をおくこととした。また表 7 より、最短の有効期限が 120 秒であったため、6 分経過後の機器発見ができることを確認することで、表 7 のすべてのルータのテーブルを維持するために、端末が定期的 (120 秒間隔) に送信する Join メッセージと、ルータからの Query メッセージに対して Join メッセージで応答することの有効性を検証した。

5.2 評価結果

起動直後の機器発見の評価結果を表 8 に、また 6 分超経過後の機器発見の評価結果を表 9 に示す。

ここで、下記表 8 および表 9 において機器発見不可であった 1 台 (シェア 0.02%) は同一ルータである。

評価の結果から、今回提案の手法を端末側で実装すれば、

表 8 起動直後の機器発見の評価結果

Table 8 Evaluation results.

構成	IGMP 機能	台数	シェア 合計	結果
構成 2	無し	107 台	51.19%	107 台全てで発見可能
	有り	43 台	30.38%	1 台(0.02%)のみ発見不能
構成 5	無し	72 台	33.68%	72 台全てで発見可能
	有り	22 台	15.50%	1 台(0.02%)のみ発見不能

表 9 6 分超経過後の機器発見の評価結果

Table 9 Evaluation results.

内訳	台数	シェア 合計	結果
Querier 対応	29 台	9.09%	1 台(0.02%)のみ発見不能
Querier 非対応	121 台	72.48%	121 台全てで発見可能

ECHONET Lite に関して両側 Join 状態でもマルチキャストパケットを転送しない 1 台 (シェア 0.02%) 以外の調査対象ルータ (シェア合計 81.55%) において, マルチキャスト管理テーブルへのエントリ作成, 維持を可能とし, 課題が解決できることを確認した. また, 今回の研究の結果から Join メッセージの定期送信間隔を 120 秒と定めたことは, トラフィックの増加を最小限に抑え, かつすべてのルータのテーブルの維持など有効な改善であることが分かった.

6. まとめと今後の展開

本論文では, マルチキャスト通信を用いた ECHONET Lite 製品の相互接続性を阻害する家庭用ルータの IGMP に関する実装状況を調査し, その問題を明らかにした. また家庭用ルータの問題に対して, 端末側の実装で運用性向上のための挙動の規定と, 明確に規定すべき標準仕様項目を示し, 従来 ECHONET Lite 仕様で明確でなかった IP ネットワーク適合のためのマルチキャスト通信を利用する端末に実装すべき標準仕様項目を明確にした. 本提案手法が搭載された製品はすでに販売されており, 今後も白物家電を中心に搭載製品を拡大する予定である.

今回の調査で, 調査対象ルータ 150 台 (シェア合計 81.57%) において, 端末側が提案手法を実装しない場合 ECHONET Lite のマルチキャストを転送するルータは 107 台 (シェア合計 51.19%) であるのに対し, 提案手法を実装した端末どうしの場合, ECHONET Lite のマルチキャストを転送するルータは 149 台 (シェア合計 81.55%) であった (構成 2 における結果).

ここで, 両側 Join 状態でもマルチキャストパケットを転送しない 1 台 (シェア 0.02%) のルータに関しては, 端末側の実装では確実に対応できない. このようなルータが今後増加しないためにも, ルータメーカーに対して実装品質の向上を提案していくことは重要である. また, 端末側の対応としては ECHONET Lite 対応製品は本提案手法の実装を義務付けるようエコーネットコンソーシアムに標準化の提案を行うなどして, ユーザがメーカーの異なる ECHONET Lite 対応製品を用いてもつねに正常に相互接続可能となるような取り組みを行う予定である.

今回の家庭用ルータの調査においては, IGMP のバージョンとして, IGMPv2 と IGMPv3 の混合した環境のみの調査であり, 限定的な評価となった. 今後は, 双方のバージョンを統一した環境 (IGMPv2 どうし, IGMPv3 どうし) における調査も実施し, IGMPv2 と IGMPv3 の実装の差分の評価を含め, 評価の質を高める予定である.

参考文献

[1] ECHONET Lite 規格 Ver.1.12 第 2 部, 入手先 (<https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Stand>

ard/ECHONET_lite.V1.12_jp/ECHONET-Lite_Ver.1.1 2.02.pdf).

[2] ECHONET Lite 規格認証取得済み機器一覧, 入手先 (<https://echonet.jp/product/echonet-lite/>).

[3] エコーネットコンソーシアム会員企業の ECHONET Lite 対応販売機器一覧 (2017 年 4 月時点), 入手先 (https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Download/el_hanbai_list.201704.pdf).

[4] RFC 1112, Host Extensions for IP Multicasting, available from (<https://www.ietf.org/rfc/rfc1112.txt>).

[5] RFC 2236, Internet Group Management Protocol, Version 2, available from (<https://www.ietf.org/rfc/rfc2236.txt>).

[6] RFC 3376, Internet Group Management Protocol, Version 3, available from (<https://www.ietf.org/rfc/rfc3376.txt>).

[7] 石川憲洋, 山内長承, 高橋 修: IP マルチキャスト通信のユーザ認証機能の提案と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.10, pp.3728-3736 (1999).

[8] 山内長承, 石川憲洋, 高橋 修: IP マルチキャストの配送制御とそのセキュリティへの応用, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.1, pp.167-176 (2000).

[9] 佐藤弓子, 土井裕介, 寺本圭一: 通信規格の異なる家電機器と家電コントローラを相互接続可能にするアダプタの実装方法, 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS), Vol.2011-CDS-1, No.9, pp.1-5 (2011).

[10] 林 慧, 菅原 進: ビルの省電力をサポートする遠隔省電力サービス FACiTENA-i, 東芝レビュー, Vol.69, No.5, pp.45-48 (2014).

[11] 緒方良照: 省エネルギー, コスト削減, そして地球環境への貢献を目指して, UNISYS TECHNOLOGY REVIEW EXTRA EDITION, No.116, pp.47-53 (2013).

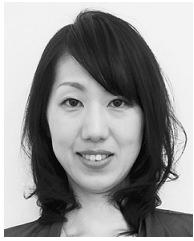
[12] GfK, 生活家電の POS トラッキング調査, 入手先 (<http://www.gfk.com/jp/industries/consumer-goods/home-appliances/>).

[13] 株式会社 MM 総研: ブロードバンド回線事業者の加入件数調査 (2017 年 9 月末時点), 入手先 (<https://www.m2ri.jp/news/detail.html?id=273>).

推薦文

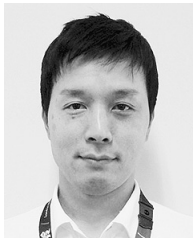
本論文では, 家庭用ルータのマルチキャスト通信において, IGMP 実装に自由度が許されているため相互接続性が損なわれる ECHONET Lite 実装上の問題に注目し, 市場シェア 80% 以上に相当する市販ルータの実装状況を調査して課題を分析しています. この上で端末側にて課題を解決する手法を提案して, 実現性を考慮した有効性を検証しています. これらは今後のホームネットワーク普及に向けた, 重要なコンシューマ・システム情報の提供です.

(コンシューマ・デバイス&システム研究会主査
寺島美昭)



濱本 望絵 (正会員)

2001年九州工業大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年松下電器産業株式会社(現、パナソニック株式会社)に入社。以来、UPnPやDLNA等のホームネットワーク技術やNAT越えによるP2P接続技術を用いた方式・システムの研究開発、およびそれらを搭載した機器の相互接続性向上の取り組みに従事。現在はECHONET Liteを搭載した機器の接続性向上の取り組みを行っている。



杉本 芳剛

2004年京都大学大学院情報学研究科博士前期課程修了。同年松下電器産業株式会社(現、パナソニック株式会社)に入社。以来、無線LAN、Bluetooth、IPv6、UPnP等、幅広い通信規格に対してネットワーク機器の接続性を向上させる取り組みに従事。



鷺津 宗孝

2002年東京都立大学(現、首都大学東京)工学部卒業。同年松下電器産業株式会社(現、パナソニック株式会社)に入社。家電製品を対象としたホームネットワークの相互接続性向上の取り組みに従事。現在、コミュニケーションプロダクツ事業部で商品企画を担当。



石川 博一

1998年信州大学大学院工学系研究科電気電子工学専攻博士前期課程修了。同年松下電器産業株式会社(現、パナソニック株式会社)に入社。ホームネットワークシステムに関する研究開発、標準化活動、およびネットワーク機器の相互接続性向上に関する取り組みに従事。2012年より、一般社団法人エコーネットコンソーシアム規格認証WG主査。



村上 隆史 (正会員)

1999年東京大学工学部電子工学科卒業。同年松下電器産業株式会社(現、パナソニック株式会社)に入社。以来、白物家電、設備系家電、センサ系、AV家電等を対象とした様々なホームネットワークシステムに関する研究開発、標準化活動に従事。2006年より、一般社団法人エコーネットコンソーシアム技術委員長、博士(工学)。



杉村 博 (正会員)

2012年神奈川工科大学大学院情報工学専攻博士後期課程修了。2012年同大学スマートハウス研究センター特別研究員。2013年同大学創造工学部ホームエレクトロニクス開発学科助教。2016年准教授。博士(工学)。



森 信一郎 (正会員)

1987年関西大学工学部卒業。同年富士通株式会社入社。2003年から株式会社富士通研究所、2016年から千葉工業大学先進工学部教授。博士(情報学)。ユビキタスコンピューティング、携帯端末による測位技術に関する研究に従事。



一色 正男 (正会員)

1982年東京工業大学大学院理工学研究科修了。2009年より慶應義塾大学教授、2012年より神奈川工科大学教授、スマートハウス研究センター所長。(株)東芝で約30年勤務。博士(工学)。情報処理学会CDS研究会幹事(2010年～2012年)。機械学会会員、ECHONETコンソーシアム2008運営委員長、現フェロー。W3C Site Manager(2009年～2014年)。経済産業省HEMSタスクフォース座長。HEMS認証支援センター長。本会シニア会員。本会フェロー。