

IPv6 情報家電の運用モデルの設計

米山 清二郎[†] 石原 丈士[†] 永見 健一[†] 上原 清彦[†]
下條 義満[†] 釜谷 幸男[†] 中村 公彦[‡] 榊原 基也[‡]
[†](株) 東芝 研究開発センター [‡](株) 東芝 家電機器社
TOSHIBA Corporate TOSHIBA Corporate
Research & Development Center Home Appliances Company

概要

近年のインターネットの普及により家庭とインターネットは結びつき、ホームネットワークを構築することで様々なサービスの出現が期待されている。本稿では、ホームネットワークの構成要素の一つとして、冷蔵庫と電子レンジに着目し、TCP/IP スタック (IPv6) を組み込むことでインターネットと接続可能な IPv6 情報家電を実現する。さらに、機器の内部情報形式に ECHONET 規格を採用することで、機種やベンダに依存することのないアクセスインタフェースを提供し、遠隔端末からの機器の制御やモニタリングを可能にする。また、実装した IPv6 情報家電が入出力可能な情報をもとに、IPv6 情報家電を用いたインターネット上のサービスモデルを検討し、実際に IPv6 ネットワークで運用する。最後に、ホームネットワーク構築上の課題について述べる。

キーワード

情報家電、IPv6、ECHONET、ホームネットワーク

1 はじめに

近年、インターネットの爆発的な普及により、パソコンや LAN は企業内だけでなく、家庭にも導入されるようになった。ブロードバンドと常時接続の普及にとともに、SOHO (Small Office/Home Office) におけるパソコン網がますます一般的になる状況を考えて、近い将来には家庭においても、ネットワーク環境、すなわちホームネットワークが一般的になると予測される。ホームネットワークの構成要素の一つとして、情報家電が注目されている。情報家電とは、ネットワークに接続可能な白物家電 (冷蔵庫、洗濯機、電子レンジ等) や、AV 機器 (TV やデジタルビデオ等) のことである。本稿では、特に、インターネットに接続する情報

家電を IPv6 情報家電と呼ぶ。IPv6 情報家電は、インターネット上のどの端末からもアクセスが可能であり、高齢者に対応した家庭内機器の遠隔制御、医療関係機器の遠隔モニタリング、故障機器の遠隔メンテナンス、複数の機器を連携して動作させることで省エネルギー化を図る、といった、様々な新しいサービスの登場が期待できる。また、パソコンや携帯端末上のアプリケーションである www ブラウジングやメールの送受信の機能を、常時電源が投入されている IPv6 情報家電が備えることで、ユーザは、インターネットにアクセスする、より柔軟な新しい手段を手に入れることができる。

IPv6 情報家電は、機器内部に保有する情報の通信動作を、書き込み/読み出し/状態通知等に設定できる。内部情報を定期的に読み出しすることで、モニタリングが可能となり、機器の設定項目に対して値を書き込み更新することで、機器の制御が可能となる。また、あるイベントが発生し

[†] 〒 212-8582 川崎市幸区小向東芝町 1
(株) 東芝 研究開発センター
通信プラットホームラボラトリー
TEL: 044-549-2230
E-mail: yoneyama@isl.rdc.toshiba.co.jp

た時に、指定した情報を通知させる設定が可能であり、モニタリングや機器同士の協調動作に利用できる。

IPv6 情報家電へのアクセスインタフェースとして、HTTP インタフェースが利用できる。HTTP インタフェースは、www ブラウザを用いて IPv6 情報家電の制御、モニタリング、機器同士の協調動作の設定を行えるようにする。利点としては、www ブラウザの普及率が非常に高いことから汎用的なインタフェースをアクセス元に提供できること、アクセス元が各家電機器のデータフォーマットやプロトコルを意識する必要がないこと、が挙げられる。もう 1 つのアクセスインタフェースとして、ECHONET [1] に準拠したインタフェースを提供する。ECHONET とは、ネットワーク接続可能な白物家電の通信方式、通信インフラ、内部情報形式、API 等の標準規格である。現在、東芝・日立・松下電器産業をはじめ、多くの家電ベンダが ECHONET コンソーシアム [2] に参加し、ECHONET の標準化作業を進めている。ECHONET に準拠した白物家電は、機器の内部情報の入出力に対して標準化された形式を適用できるため、機種やベンダに非依存なアクセスインタフェースを提供できる。

本稿では、まず 2 章で、白物家電である冷蔵庫と電子レンジに着目し、TCP/IP スタック (IPv6) [3] を組み込むことで IPv6 情報家電を実現する。IPv6 は広大なアドレス空間を持つため、家電を含めた各家庭の機器全てに対して、エンドエンドの通信を提供することができる。さらに、IPv6 情報家電の通信方式と内部情報へのアクセスインタフェースの概要について述べる。3 章で、実装した冷蔵庫と電子レンジから実際に操作できるようになった内部情報を具体的に取り上げ、その内部情報をもとに IPv6 情報家電が提供できるサービスを検討する。4 章で、実装した IPv6 情報家電を、実際に IPv6 ネットワークで運用する。この運用モデルでは、通信データに対する暗号化、通信相手の認証のセキュリティ保護を行う。最後に、5 章で今後の課題を述べる。

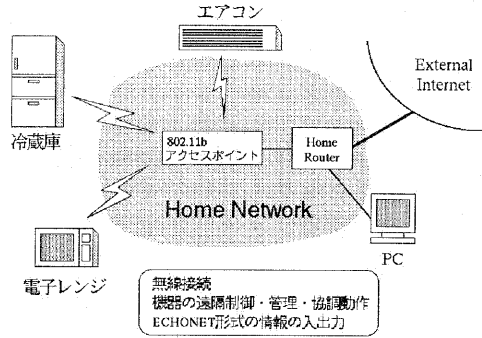


図 1: IPv6 情報家電ネットワーク

2 IPv6 情報家電概要

2.1 実装の概要

本稿では、白物家電である冷蔵庫と電子レンジに TCP/IP スタック (IPv6) を組み込み、IPv6 情報家電を実現する。IPv6 は広大なアドレス空間を持つため、家庭内の機器全てに global IPv6 アドレスを割り当てることができ、エンドエンドの通信を提供することができる。インターネットに接続する物理インタフェースには、802.11b による無線接続を採用する。この理由は、一般的に、白物家電はキッチンやリビング等の景観が重要視される位置に設置されることや、ユーザが簡単に接続できるように、新たな物理的接続を必要しないことが挙げられる。

IPv6 情報家電がユーザに提供できる機能として、パソコンや携帯端末上のアプリケーションである www ブラウジング、メールの送受信等があるほか、インターネットを経由した機器制御や機器状態のモニタリングがある。特に、常時電源が投入されている冷蔵庫やセンサー等は、状態モニタリングによる管理に向けた機器であると言える。機器が入出力する情報形式は、多くの白物家電ベンダが標準化活動に参加している ECHONET 規格を採用することで、機種やベンダに非依存な機器内部情報の入出力インタフェースを実現する (図 1)。

2.2 ECHONET

ECHONETは、小規模で低コストなインフラ(電灯線や無線等)を想定した白物家電やセンサのネットワークモデルの標準仕様であり、通信方式や通信インフラ、情報形式、API等を標準化対象としている。ECHONET通信ミドルウェアとして、トランスポート層やネットワーク層の機能を実現しており、IPv6アドレス体系とは異なるECHONETアドレス体系を持つ。ECHONET通信ミドルウェアは、イベントドリブンの通信を想定していることが特徴である。複数の機器が相互接続しているネットワーク環境で、ある機器に対してユーザが発生させたイベント(操作パネルへの設定入力、電源投入等)が、全ての機器に反映される。

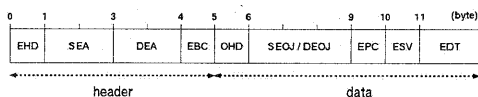


図 2: ECHONET Frame format

図 2に ECHONET のフレームフォーマットを示す。EHD は、ルーティング用ホップカウントを含んでいるほか、データ部の構成定義を指定する。SEA、DEA は送信元、送信先の ECHONET アドレスであり、各アドレス長は 2 バイトである。EBC は、データ部のバイト長を指定する。OHD フィールドは次に続く EOJ フィールドが送信元(SEOJ)か送信先(DEOJ)であるかを指定する。EOJ は、対象の属性(グループ、クラス、インスタンス)を指定する。例えばアクセスする対象が冷蔵庫であれば、調理・家事関連グループ(0x03)、冷蔵庫(0x07)、識別 ID(0x01)の 3 バイトを指定する。EPC は、機器情報を識別するプロパティ ID を指定する。ESV は、指定した EPC の通信動作を指定する。通信動作には、読み出し/書き込み/状態通知等がある。EDT は、指定した EPC に対するデータである。

2.3 通信方式

白物家電は、多様な機種が存在しベンダも多数である。そのため、機種やベンダに非依存なネットワーク上での相互接続による通信を実現するためには、標準化された通信方式・情報形式を採用することが重要である。ECHONET は、白物家電が採用するネットワーク仕様として有力であるが、トランスポート層、ネットワーク層、物理層といった下位層まで含めて標準化しているプロトコルであるため、TCP/IP との整合性はない。しかし、図 2 のフィールドの中で、実際に、制御やモニタリング機能を達成する上で必要となるのは、EPC、ESV、EDT フィールドであり、このフィールド値を TCP/IP 上で転送すれば相互に通信できる。また、Internet 上にある情報家電間の通信だけでなく、TCP/IP を搭載していない ECHONET 内の機器との通信においても、Internet と ECHONET を接続するゲートウェイが、ネットワーク層でのプロトコル変換(IPv6 アドレスと ECHONET アドレスのマッピング等)を行うことで、通信可能となる。

本稿では、図 3 に示すとおり、ECHONET フレームの一部のみを転送する手法ではなく、ECHONET フレーム全体を TCP/IP でカプセル化して転送する手法を採用している²。この理由は、ECHONET 上に実装されるアプリケーションとの互換性を維持し、イベント発生時に状態通知を行う等の ECHONET の通信の性質を失わないように実装することを目的としたためである。

標準化された規格という視点からみれば、上述の 2 手法は、ともに独自仕様であると言える。EPC、ESV、EDT のみを転送する手法は、情報家電の内部情報形式と通信動作のみに ECHONET 仕様を採用した独自仕様である。そのため、機種やベンダに非依存な相互接続通信は提供できない。ECHONET フレームのカプセル化手法は、TCP/IP と上位層である ECHONET をつなぐイ

²ECHONET のヘッダ部には、ECHONET 独自のアドレスやホップ数が含まれているため、カプセル化手法と呼ぶ。TCP/IP と類似したメカニズムが重複するため、オーバーヘッドは大きい。

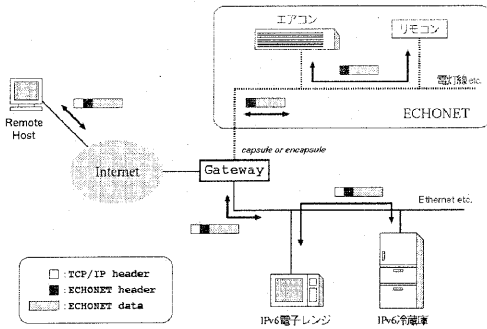


図 3: ECHONET over TCP/IP

インタフェースが独自仕様となる。例えば、上位層で指定した ECHONET アドレスと IPv6 アドレスのマッピングを自身で解決するか、あるいはネットワーク中のノードに SLP(Service Location Protocol) [4] を実装し、利用するプロトコルを新たに設計する必要がある。

2.4 アクセスインタフェース

情報家電が ECHONET に準拠していると仮定する時、遠隔端末から情報家電にアクセスするためには、アクセス元が使用するプロトコルから ECHONET へのプロトコル変換が必要となる。プロトコル変換は、アプリケーション層での変換と、ネットワーク層での変換に大別される。本実装では、アプリケーション層での変換として HTTP インタフェースと、ネットワーク層での変換として ECHONET インタフェースを提供する³(図 4)。

以下で、各々の利点と欠点を述べる。

HTTP インタフェース

アクセスする機器上で HTTP サーバを稼働しておくことで、HTTP で通信する。機器内部で、HTTP と ECHONET のプロトコル変換を行い、内部情報の書き込み/読み出しを行う。

利点として、アクセス元に対して www ブラウ

³ECHONET フレームを TCP あるいは UDP でカプセル化する手法であるため、厳密にはプロトコル変換ではない。

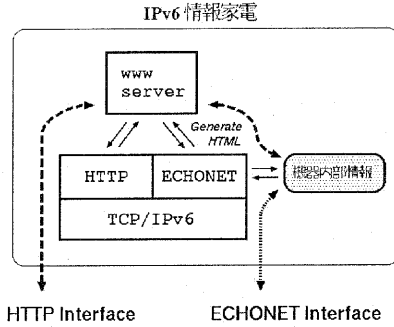


図 4: HTTP / ECHONET インタフェース

ザによる汎用的なインタフェースの提供が可能であることと、アクセス元が各機器のデータフォーマットやプロトコルを意識する必要がないことが挙げられる。ECHONET では、機器を操作するためには、各機器ごとに標準化されている機器 ID、内部情報 ID、内部情報サイズを指定する必要がある。また、HTTP インタフェースは、ECHONET に限らず任意のプロトコルに対しても、プロトコル変換すれば、アクセス元に機器制御、モニタリングのインタフェースを提供することができる。

欠点としては、プロトコル変換を行う時に、ヘッダ情報だけでなくペイロード上の情報を解析する必要があることから負荷が大きくなることが挙げられる。また、www ブラウザを用いた場合、通信形態が request / reply 型に制限されるため、イベント発生時に状態通知を行う情報家電に特有の通信形態には対応できない。

ECHONET インタフェース

アクセス元と情報家電は、TCP あるいは UDP パケットでカプセル化した ECHONET フレームの送受信を行うことで通信する。利点として、カプセル化した ECHONET フレームを取り出すだけでよいため負荷が軽いこと、ECHONET に準拠した機器であれば、機種やベンダに非依存なアクセスインタフェースを提供できること、ECHONET に特有なイベントドリブンの通信形態の性質を失わないことが挙げられる。欠点としては、

ECHONET アプリケーションの開発が必要であることが挙げられる。

3 内部情報

ECHONET では、白物家電の内部情報形式は、ECHONET オブジェクトとして標準化している。ECHONET オブジェクトは階層命名体系であるため、どのオブジェクトもオブジェクト ID で示すことができ、また、データ型、サイズ、データへの通信動作（書き込み／読み出し／状態通知等）が規定されている。

本稿で実装した IPv6 情報家電は、内部情報に対して、以下の3つの通信動作を設定できる。

書き込み

内部情報に対して書き込み可能にする。アクセス元は、情報家電に対して書き込み要求と書き込むデータを送信する。受信した情報家電は、指定された内部情報を更新する。主に、機器の制御に利用できる。

読み出し

内部情報に対して読み出し可能にする。アクセス元は、情報家電に対して読み出し要求を送信する。受信した情報家電は、指定された内部情報のデータを返信する。ポーリングによる内部情報のモニタリングに利用できる。

状態通知

定期的、あるいはイベント発生時に、自発的に内部情報のデータを通知する。一方向の通信形態をとる。イベント履歴の蓄積や内部情報のモニタリングに利用できる。

3.1 冷蔵庫・電子レンジの内部情報

現在開発中の冷蔵庫および電子レンジから抽出できる内部情報は、表 1、表 2 の通りとなった。また、内部情報が対応している通信形態を表中の○×で示す。抽出できる情報とその通信形態は、各家電機器の構成や内部マイコンの実装や構成に大きく依存する。

表 1 から、冷蔵庫は、内部情報の書き込み／読み出しが可能であり、遠隔からのモニタリングと制御ができる。また、扉開閉、開放、故障等のイベント発生時に ECHONET フレームによる状態通知が可能であり、イベントの履歴を遠隔端末に蓄積することが可能である。

電子レンジは、内部情報の書き込み／読み出しは非対応としており、扉開閉、あたため開始等のイベント発生時の ECHONET フレームによる状態通知が可能である。

表 1: 冷蔵庫内部情報

内部情報	書き込み	読み出し	通知
電源投入	×	○	○
故障・異常状態	×	○	○
ドア開閉状態	×	○	○
ドア開放警告	×	○	○
消費電流・電力	×	○	×
室内・外気温度	×	○	×
室内温度設定	○	○	×
ファン回転速度	○	○	×
省電力モード	○	○	×
冷却調理モード	○	○	×
製氷 ON/OFF	○	○	×
除霜 ON/OFF	○	○	×

表 2: 電子レンジ内部情報

内部情報	書き込み	読み出し	通知
故障・異常状態	×	×	○
ドア開閉状態	×	×	○
加熱開始状態	×	×	○
加熱残り時間	×	×	○
消費電流	×	×	○
累積通電時間	×	×	○
累積料理時間	×	×	○
マイクロ波調理	×	×	○
レンジ弱調理	×	×	○
ヒータ調理	×	×	○
醗酵調理	×	×	○

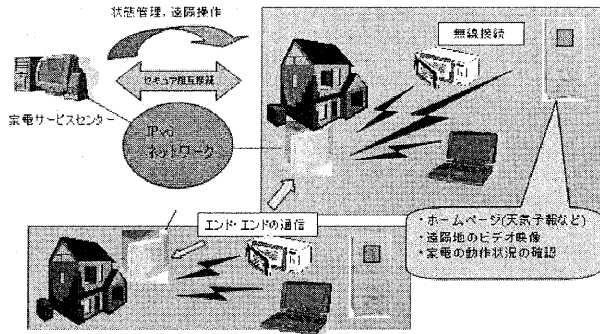


図 5: IPv6 情報家電の運用モデル

以下に、冷蔵庫および電子レンジがもつ家電内
部情報をもとに、利用できるサービスを列挙する。

遠隔メンテナンス

家電販売ベンダは、故障・異常状態、室内・外気
温度、ファン速度を、時間情報と組み合わせて保
存、蓄積して管理することで、故障時の状態が正
常であったか異常であったかを判断することがで
き、トラブルシューティングに利用できる。予め
故障履歴のチェックを行い原因の特定を進めてお
くことで、出張コストを削減することができる。

遠隔制御

現在開発中の冷蔵庫は、内部情報に対する書き
込みが可能であるため、遠隔制御が可能である。
遠隔制御に利用できる主な内部情報としては、冷
蔵庫の操作パネル内容があり、冷却室調理モード
や除霜の設定、一気冷凍等の制御が可能である。
室内温度をモニタリングしつつ、常に最適な室内
温度設定に自動変更することも可能である。

省エネルギー

時間情報を組み合わせて消費電流・電力をモニ
タリングすることで、消費電力量が算出可能にな
り、月々の料金が予測可能になる。また、扉開閉状
態のモニタリングにより、開放や、無駄な開閉に

警告することが可能となる。また、省エネルギー
化の一般的な例は、換気扇とエアコンの協調動作
である。

モニタリング

加熱開始状態と調理モードに時間情報を組み合
わせて保存、蓄積して管理することで、過去の調
理の種類と調理時間を把握することができる。

4 IPv6 情報家電運用モデル

IPv6 情報家電として実装した冷蔵庫と電子レ
ンジを、IPv6 ネットワーク上で運用する。冷蔵庫
と電子レンジを各 2 台ずつ用意し、IPv6 情報家
電の遠隔モニタリングを行う遠隔サーバと、遠隔
制御を行う携帯端末を各 1 台ずつ設置する。運用
モデルを図 5 に示す。

遠隔サーバ

遠隔サーバは、家電の遠隔管理サービスを提供
する。冷蔵庫と電子レンジの状態を遠隔モニタリ
ングし、冷蔵庫と電子レンジは、故障やドアの開
閉、各機能 (電子レンジあたため etc.) が動作す
る等の状態変化イベントが発生する毎に、家電内
部状態を遠隔サーバに通知する。遠隔サーバは、
状態通知を管理する他、定期的に冷蔵庫の室内温

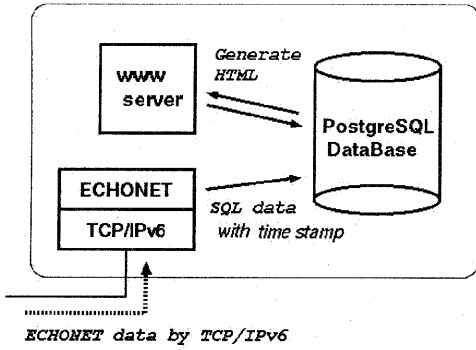


図 6: 遠隔サーバ

度、消費電力をポーリング監視しており、室内温度の月別平均値や、月別総消費電力等の情報を算出している。管理されているデータは、www ブラウザで閲覧できる。

IPv6 情報家電が普及し増加すれば、遠隔サーバは、scalability のある定期的なポーリング管理と状態通知管理を行うシステムとして構築されなければならない。信頼性保証が重要でないパケットは UDP パケットに切替え、状態通知パケットに関しては送信時間間隔を randomize や、サーバ側のポーリング管理への変更といった対処が必要になる。また、ポーリングするパケットは multicast tree によるトラフィック集約が必要になる。

遠隔サーバでは、家電内部情報のデータベースの作成、操作を容易にするために、読み出し／状態通知された ECHONET 形式の情報は、PostgreSQL [5] に出力し、保存している。さらに、PostgreSQL に出力する時に、時間要素を加えて内部情報を蓄積することで、統計をとることが可能となる (図 6)。

一般的に、情報家電に組み込まれる記憶媒体は小型化により容量が少ないことが想定されるため、データベースは、スペックに余裕のある比較的高価な機器で構築しなければならない。したがって、データベースを実装する機器は、家庭内のパソコン、高価な情報家電や、機器の遠隔管理サービスを行う業者のサーバ等が想定できる。

遠隔端末

家庭のユーザは、携帯端末やパソコンを用いて、冷蔵庫や電子レンジにアクセスことで遠隔制御や、冷蔵庫内の映像をダウンロードして中身を参照することができる。また、遠隔サーバが蓄積する情報にもアクセス可能であり、今月の総電気料金を推測したり、機器の故障履歴を閲覧することで買い替え時期を推定することができる。

冷蔵庫

冷蔵庫に備えているタッチパネル付き液晶ディスプレイを用いて、冷蔵庫の設定項目や、現在の室内温度の観測ができ、制御が可能である。冷蔵庫内に据え付けているカメラの映像を閲覧することもできる。また、www ブラウジング、メールの送受信等の、従来の Internet 上アプリケーションが利用可能である。

電子レンジ

電子レンジは、CPU ボードのスペックをできる限り低コストで実装しているため、家電サービスセンターに故障や調理履歴を出力する役目のみを果たしている。

以上の運用モデルでは、通信データに対する暗号化と通信相手の認証を行う。認証、暗号化する対象や使用するプロトコルは、通信する情報に着目して表 3 の通りに選択した。IPSEC の pre-shared-key は手動設定であり、SSL はログイン ID とパスワードの簡易認証である。冷蔵庫からの www 参照は、通常の www 上のコンテンツ参照を想定しているため、認証および暗号化は不要とした。

表 3: 情報別のセキュリティ保護

	認証	暗号化	protocol
サーバへの登録	○	○	IPSEC
サーバの情報閲覧	○	○	SSL
冷蔵庫へのアクセス	○	○	SSL
冷蔵庫からの www 参照	不要	不要	—

5 今後の課題

本稿では、実際に IPv6 情報家電を実装することで、家電内部情報の入出力を行い、IPv6 情報家電を用いたサービスモデルを検討してきた。今後の課題としては、ホームネットワーク構築上の問題が挙げられる。問題を解決するにあたって前提となることは、ホームネットワークは、必ずしも通信分野の知識が豊富な人間の手で構築されないため、自動設定と必要設定項目の最小化 (zeroconf [6]) が重要となることである。

本稿では、まず、データリンク層の設定問題を解決していない。冷蔵庫と電子レンジは、802.11b 接続されているため、SSID や WEB 鍵等の設定が必要である。冷蔵庫には、入力インタフェースとしてタッチパネルが利用できるが、SSID を手で打ち込むのは困難な作業である。電子レンジは入力インタフェースを持たないため、インストール時に入力することで回避している。

また、ホームネットワークは、白物家電や AV 家電の電源の切断や、新製品の購入等により、比較的、頻繁にトポロジが変化するネットワークであるといえる。そのため、FQDN の動的な解決は、IPv6 によりエンドエンドの通信を実現する上で重要である。家庭内から家庭外へアクセスする場合は、IPv6 の DNS 問題に帰着し、Dynamic DNS Update [7] 等の技術が既に登場してきている。ホームネットワークで重要となるのは、むしろ、家庭外から家庭内の FQDN の解決であり、DNS の設定を知らないユーザに対して、家庭内機器に接続する容易な方法を提供できるかが焦点となる。

6 まとめ

本稿では、ホームネットワークの構成要素の一つとして、白物家電である冷蔵庫と電子レンジに着目し、TCP/IP スタック (IPv6) を組み込み、インターネットと接続可能な IPv6 情報家電を実現し、遠隔制御や遠隔モニタリング機能を実装した。

IPv6 情報家電へのアクセスインタフェースに

は、HTTP インタフェースと、ECHONET インタフェースの2つを採用した。HTTP インタフェースは汎用性があるが、request/reply 型の通信形態に制限される。ECHONET インタフェースは、ベンダに非依存であり、白物家電に特有のイベントドリブン型のサービスを利用できる。

実装した IPv6 情報家電を、IPv6 ネットワークで運用するモデルを紹介した。認証と暗号化による通信データの保護は、通信される情報の視点から設計した。今後の課題として、zeroconf を目標としたホームネットワーク構築上の問題を挙げた。

7 謝辞

本研究は、通信・放送機構 (TAO) の委託研究テーマ「アプリケーション開発基盤システム及びネットワーク構築システムに係わる研究開発、IPv6 情報家電ネットワークサービス提供のための情報家電管理に関するアプリケーション開発基盤システムの研究開発」の一環として行った。

参考文献

- [1] “ECHONET Specification Ver2.00”,
URL: <http://www.echonet.gr.jp/8.kikaku/index.htm>
- [2] “ECHONET CONSORTIUM Homepage”
URL: <http://www.echonet.gr.jp/>
- [3] S. Deering, R. Hinden
“Internet Protocol version 6 Specification”,
RFC2460, December 1998
- [4] J. Veizades, E. Guttman, C. Perkins, S. Kaplan
“Service Location Protocol”, RFC2165, June 1997
- [5] “PostgreSQL Homepage”
URL: <http://www.postgresql.org/>
- [6] “Zero Configuration Networking (zeroconf) WG”
URL: <http://www.ietf.org/html.charters/zeroconf-charter.html>
- [7] P. Vixie, S. Thomson, Y. Rekhter, J. Bound
“Dynamic Updates in the Domain Name System (DNS UPDATE)”, RFC2136, April 1997