

既存家電製品の遠隔制御を実現する HAT の開発と評価

栗山 央[†] 峰野博史^{††} 妹尾康宏[‡]
古村 高[‡] 水野忠則^{††}

近年、一般家庭においてホームネットワークを構築する環境が整いつつあるが、ホームネットワークの構築に際しては情報家電への買い替えや通信配線の敷設が必要で、ユーザにとって負担が大きい。我々は通信機能を持たない既存家電をホームネットワークに参加させるためのデバイスとして HAT を提案する。HAT を使うことでユーザは既存家電の遠隔制御が可能になる。特に HAT は赤外線信号を使用することで従来方式よりも高度な遠隔制御を実現する。また HAT は電力線を通じて通信を行うため、ユーザは新たに通信配線を敷設する必要がない。ユーザは HAT を使うことで、安価にかつ容易にホームネットワークを構築することが可能になる。

Home Appliance Translator for Remote Control of Conventional Home Appliance

HIROSHI KURIYAMA,[†] HIROSHI MINENO,^{††} YASUHIRO SENO,[‡] TAKASHI FURUMURA,[‡]
and TADANORI MIZUNO^{††}

Recently, the constructing environment of home network is improved. However, user needs to purchase the information appliances and construct the communication infrastructure when user constructs the home network. We propose device called HAT that enables conventional appliances to participate in home network. User can remote control conventional appliances by using HAT. Especially, HAT achieves remote control more advanced than existing methods by using the IR signal. In addition, HAT communicate with by using power line, so user need not construct new communication infrastructure. User can construct the home network easily and cheaper by using HAT.

1. はじめに

近年、DLNA (Digital Living Network Alliance)¹⁾ 家電などの情報家電製品の登場や、UPnP (Universal Plug&Play)²⁾ などの標準規格の整備により、一般家庭においてホームネットワークを構築するための環境が整いつつある。ホームネットワークを構築することで、ネットワーク越しに家電製品の状態情報を取得することや、家電製品を遠隔制御することなどが可能になる。またホームネットワークを利用して家電製品が自律的にユーザの嗜好を考慮した制御を行うホームオートメーションの研究³⁾⁴⁾ や、家庭内の状況をモニタリングし異常を検知するホームセキュリティに関する研究⁵⁾ も盛んに行われている。

しかしながら、現在家庭内に存在する家電製品の多くは通信機能を有しておらず（以降、通信機能を持たない家電製品を既存家電と呼ぶ）、ホームネットワークを構築する際には、新たに通信機能を持った情報家電へ買い換える必要が生じる。情報家電への買い替えはユーザにとって金銭的負担となるだけでなく、既存家電の処分といった問題も引き起こす。さらに、ユーザは家庭内に存在する多くの家電製品に対して通信インフラを敷設する必要もあり、通信インフラの敷設を有線で行う場合は大規模な工事が必要となる。また無線であっても階や部屋をまたぐ場合などには複数のアクセスポイントを設置する必要があり負担が大きい。このように、現状ではホームネットワークを構築するための敷居が高く、一部のユーザしかホームネットワークを構築することができない。

もし、既存家電がそのままホームネットワークに参加可能になれば、ユーザは今ある既存家電を使ってすぐにもホームネットワークを構築することができ、情報家電への買い替えによる金銭的負担や既存家電の処分といった問題から開放される。我々は、既存家電をホームネットワークに参加させるためのデバイスとして HAT (Home Appliance Translator)、及び HAT-Sub を開発した。ユーザは HAT と HAT-Sub を利用することによって既存家電の状態をネットワーク越しに把握でき、またネットワーク越しに既存家電を遠隔制御することが可能になる。HAT と HAT-Sub を利用して構築するホームネットワークでは、新たな情報家電も新しい通信インフラも必要としない。さらに HAT と HAT-Sub は自律的にネットワークを構築し、自動的に通信を開始するため、構築に際して手間や知識を必要としない。ユーザは HAT と HAT-Sub を利用することで安価に、かつ容易にホームネットワークを構築することが可能になる。

本論文では、HAT 及び HAT-Sub を利用した既存家電によるホームネットワークの構築手法を示す。第 2 章では関連研究及び関連技術について述べる。第 3 章では HAT 及び HAT-Sub の概要について説明し、第 4 章で HAT 及び HAT-Sub のプロトタイプの実装と動作の評価結果について記述する。最後に、第 5 章で結論を述べる。

2. 関連研究及び関連技術

2.1 関連研究

一部の X-10 デバイスは、既存家電をネットワーク越しに制御することが可能である。X-10 は 60bps と比較的低速な、PLC (Power Line Communication) における通信規格である。PLC は電力線を通信媒体とする通信方式であり、家庭内に既に配線されている電力線を通じて通信を行うため、新しく通信配線を敷設しなくて済むというメリットがある。X-10 を使った安価な情報家電は米国を中心に広く普及している⁶⁾。その中でも特にコンセント型

[†] 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University

^{††} 静岡大学情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University

[‡] 株式会社 ルネサスソリューションズ
Renesas Solutions Corp.

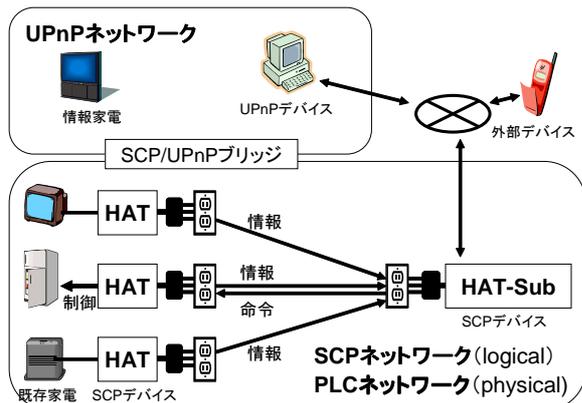


図 1 システム外観

やソケット型の X-10 デバイスは、そこに取り付けられた既存家電を、電力線を通じてコントロールポイントから遠隔制御可能にするものである。しかしながら、これらの X-10 デバイスが実行可能な制御は、接続された既存家電に対して供給する電力を調節するのみである。このため、このような X-10 デバイスで達成可能なサービスは、ラジオの ON/OFF 切り替えや室内灯の明るさの調節などに限られており、ホームネットワークとしては不十分である。

また、スマートコンセント⁷⁾ は既存家電の状態をネットワーク越しに把握することを可能にする。スマートコンセントはコンセント型のデバイスで、スマートコンセントに接続された既存家電の消費電力波形における幾つの特徴量をサーバへと通知する。サーバは家庭内の各既存家電の消費電力波形における特徴量のデータベースを持っており、スマートコンセントから送られた特徴量とデータベースを照合することで、スマートコンセントに接続された既存家電の種類や状態を推定することができる。しかしながら、既存家電の消費電力波形における特徴量だけでは推定精度に限界があり、幾つかの機種や状態においては推定が困難である。

Kubit⁸⁾ は家庭内における温度や照度、赤外線信号といった情報をセンシングし、それを収集することで家庭内の状況を推定可能にするものである。Kubit は親機と子機で構成され、子機が家庭内の情報をセンシングし、省電力無線を使って親機に情報を送信する。既存家電に接続された子機が既存家電に送信された赤外線信号を受信し、親機に送信することで、親機は既存家電の状態を推定できる。また既存家電と接続された子機に対して親機が命令を送信することで、子機は接続された既存家電を制御することが可能である。ただし制御は X-10 デバイスと同様、供給電力を調整することによる電源の ON/OFF のみである。

2.2 関連技術

本章では HAT 及び HAT-Sub の設計に関わる技術として、SCP(Simple Control Protocol)⁹⁾ における幾つかの基本機能を説明する。SCP は Microsoft 社が提唱するホームネットワーク向けのプロトコルである。SCP は非 IP 型の軽量なプロトコルであり、通信プロトコルに TCP/IP を載せることができないような低コストの家電製品向けに開発された。SCP は UPnP と高い親和性を持ち、SCP ネットワークと UPnP ネットワークは SCP/UPnP ブリッジを介することで容易に接続可能であるという特徴を持つ。SCP デバイスは SCP ネットワーク上でノード ID と呼ばれる整数値型のネットワークアドレスを持つ。ノード ID は SCP ネットワーク上で ASA (Address Space Arbitrator) と呼ばれる機構が動的に割り当てる。

SCP デバイスは、自身のサービスをプロパティやアクションの集合で定義する。プロパティはサービスの状態を表すものであり、アクションはサービスの状態を変更するものである。SCP デバイスは自身のサービス、すなわちプロパティとアクション

をネットワーク上に公開する。他の SCP デバイスは、公開されているプロパティと自身のプロパティとの間でサブスクリプションと呼ばれる関係を構築することができる。サブスクリプションは SCP デバイス間でプロパティ値の同期を取るものであり、プロパティ値を公開する側の SCP デバイスをパブリッシャ、プロパティ値を受け取る側の SCP デバイスをサブスクリバと呼ぶ。サブスクリプションが構築されると、パブリッシャ側の SCP デバイスは自身のプロパティ値が更新されるたびに、プロパティ変更通知メッセージを使ってサブスクリバ側の SCP デバイスに変更を通知する。プロパティ変更通知メッセージを受け取ったサブスクリバ側の SCP デバイスは、メッセージの中に記述されたプロパティ値を自身のプロパティのプロパティ値にセットすることで、パブリッシャ側とプロパティ値の同期を取ることができる。また、SCP デバイスは公開されている他の SCP デバイスのアクションに対してアクション起動要求メッセージを送信することで、その SCP デバイスにアクションを実行させサービスの状態を変更させることができる。

3. HAT 及び HAT-Sub の概要

3.1 システム外観

図 1 に HAT 及び HAT-Sub を利用した既存家電によるホームネットワークの構成図を示す。HAT 及び HAT-Sub は電力線を通信媒体とする PLC を使って互いに通信を行う。また HAT 及び HAT-Sub は通信プロトコルに SCP を使い、ネットワーク上では SCP デバイスとして動作する。

HAT は既存家電の電源部とコンセントの間に接続される。接続された HAT は、接続されている既存家電（以降、接続家電と呼ぶ）に関する情報を取得し、その情報を電力線を通じて HAT-Sub に通知する。また HAT は電力線を通じて HAT-Sub から制御命令を受信し、接続家電に対して制御を実行する。

HAT-Sub は HAT のコントロールポイントデバイスである。HAT-Sub はネットワーク上に存在する HAT と動的にネットワークを構築し、接続家電に関する情報を収集する。HAT-Sub は HAT から収集した情報を使って接続家電の状態を推定し、それをユーザに提示する。また HAT-Sub はユーザからの要求に応じて、HAT に対して接続家電を制御するよう制御命令を送信する。さらに、HAT-Sub はイーサネットや無線といった PLC 以外の通信インタフェースを持ち、SCP ネットワークと他ネットワークとの間のゲートウェイとして働く。ユーザはインターネットを通じて HAT-Sub にアクセス可能であり、携帯電話などの外部デバイスを使って屋外から接続家電の状態を取得するとこや、接続家電を制御することができる。

また HAT 及び HAT-Sub が作る SCP ネットワークは、SCP/UPnP ブリッジを介することで UPnP ネットワーク上から容易にアクセスすることが可能である。これにより、UPnP ネットワーク越しに接続家電の状態を取得することや、接続家電を制御することが可能になる。また、UPnP デバイスである情報家電と HAT に接続された既存家電との間で相互運用性を持たせることもできる。

3.2 HAT 概要

HAT の概要図を図 2 に示す。既存家電に接続された HAT は、赤外線リモコンから接続家電に向けて送信される赤外線信号を同時受信し、また接続家電の消費電流量を常時計測する。HAT は接続家電に関する情報として、受信赤外線信号情報と消費電流量情報の二つを HAT-Sub に通知する。また HAT は、接続家電に対して赤外線リモコンと同等の赤外線信号を送信することや、接続家電に供給する電力を調節することで接続家電に対して制御を実現する。

HAT は電力線を通じて通信を行うための PLC モデムモジュールを持つ。また、赤外線信号を受信し、送信するための赤外線信号送受信モジュールを持つ。さらに接続家電の消費電流量を計測する消費電流量計測モジュール、供給電力を調節する供給電力調節モジュールを持つ。

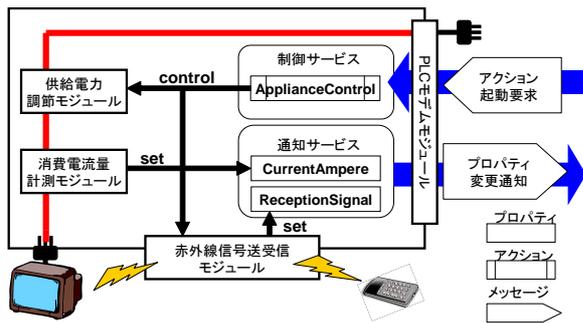


図 2 HAT 概要

HAT はネットワーク上で SCP デバイスとして動作する。HAT は SCP デバイスとして「通知サービス」と「制御サービス」の二つのサービスを実現する。

3.2.1 通知サービス

「通知サービス」は、HAT が取得した接続家電に関する情報、受信赤外線信号情報と消費電流量情報を HAT-Sub に通知するサービスである。「通知サービス」は「ReceptionSignal」プロパティと「CurrentAmpere」プロパティの二つのプロパティから構成される。「ReceptionSignal」プロパティは受信赤外線信号情報をプロパティ値に持つプロパティであり、「CurrentAmpere」プロパティは消費電流量情報をプロパティ値に持つプロパティである。

HAT は赤外線信号送受信モジュールあるいは消費電流量計測モジュールから計測した値を受信し、「ReceptionSignal」プロパティあるいは「CurrentAmpere」プロパティのプロパティ値を更新する。さらにその変化を、プロパティ変更通知メッセージを使って HAT-Sub に通知する。

ただし「ReceptionSignal」プロパティのプロパティ値更新に関しては、HAT が接続家電以外の家電製品に対して送信された赤外線信号を受信してしまった場合を考慮し、受信した赤外線信号によって接続家電の状態変化が行われたと推定される場合にのみ更新すべきである。我々は家庭内に存在する代表的な家電製品 11 品目 21 機器に対して状態変化の際の消費電流量変化を調べる実験を行った結果、全ての家電製品において、状態が変化した際には顕著な消費電流量変化を観測することができた。このため、家電製品の状態が変化したか否かは消費電流量の変化から推測可能である。「ReceptionSignal」プロパティの更新は、赤外線信号送受信モジュールが赤外線信号を受信した後、消費電流量計測モジュールが顕著な電流量変化を計測した場合のみ行うものとする。また「CurrentAmpere」プロパティの更新に関しては、ある一定幅以上の変動があった場合のみに限らなければ、プロパティ値更新によるプロパティ変更通知メッセージの送信回数が増え、通信トラフィックの増大によるメッセージの衝突、紛失が起こる可能性がある。

3.2.2 制御サービス

「制御サービス」は、HAT-Sub から制御命令を受けて HAT が接続家電を制御するサービスである。「制御サービス」は「ApplianceControl」アクションによって構成される。「ApplianceControl」アクションは接続家電を制御するための処理を呼び出すアクションであり、接続家電に対して行うべき制御内容をアクションの引数で指定する。「ApplianceControl」アクションは、HAT-Sub から「ApplianceControl」アクションを起動するためのアクション起動要求メッセージを受信した場合に行われる。

HAT は「ApplianceControl」アクションに対するアクション起動要求メッセージを受信した場合、アクションの引数で指定された制御を接続家電に対して実行する。赤外線信号を送信して接続家電を制御する場合は赤外線信号送受信モジュールを使い、赤外線信号を接続家電に対して送信する。赤外線リモコンに対応していない家電製品、あるいは待機電力をカットしたい場合などで電源の ON/OFF 命令が来た場合には、供給電力調節

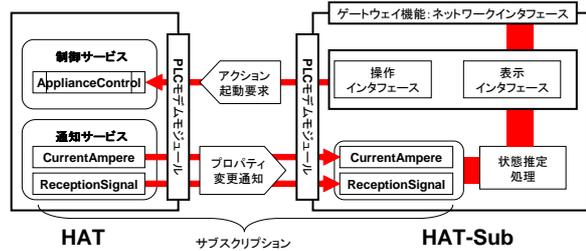


図 3 HAT-Sub 概要

モジュールを使って接続家電の電源の ON/OFF 制御を実行する。

また HAT は「制御サービス」による制御を接続家電に対して実行した後、送信した赤外線信号の反射波を受信することや、状態変化の際の消費電流量変化を計測することができるため、「通知サービス」を使って接続家電の状態変化を HAT-Sub にフィードバックすることができる。ユーザは HAT-Sub を使って制御命令を送信した後、HAT-Sub で接続家電の状態情報が更新されたかを確認することにより、接続家電に対して行った制御の成否を知ることが可能になる。

3.3 HAT-Sub 概要

図 3 に HAT-Sub の概要図を示す。HAT-Sub は HAT のコントロールポイントデバイスである。HAT-Sub は SCP デバイスとして HAT と同様のプロパティ「ReceptionSignal」プロパティと「CurrentAmpere」プロパティを持つ。HAT-Sub は起動すると、ネットワーク上に存在する HAT の探索を行い、新たな HAT が発見されるとその HAT の持つ「ReceptionSignal」及び「CurrentAmpere」プロパティと自身の持つプロパティとの間でサブスクリプションを自律的に構築する。これにより HAT-Sub は HAT から受信赤外線信号情報と消費電流量情報の収集を自動的に開始する。HAT-Sub は複数の HAT とサブスクリプションを構築するが、HAT から送られるプロパティ変更通知メッセージには送信元のノード ID が記載されているため発信元の識別が可能である。

HAT-Sub は HAT から消費電流量情報を収集し、消費電流量の多寡から接続家電の状態を ON が OFF のいずれかに特定する。また赤外線リモコンインタフェースを持つ家電製品に対しては受信赤外線信号情報を収集し、自身の持つ赤外線信号データベースと照合することで受信赤外線信号の内容を解釈し、接続家電の状態をより詳細に推定する。さらに HAT-Sub は受信赤外線信号情報と、赤外線信号受信前後の消費電流量変化を関連付けながら状態を推定することで、電源の ON/OFF 命令など同一信号でありながら状態の遷移先が異なる場合や、HAT が誤って接続家電以外の家電製品に向けられた赤外線信号を受信し、通知してしまった場合に対応することができる。HAT-Sub は接続家電の状態を推定したのち、表示インタフェースを通してその情報をユーザに提示する。

HAT-Sub はユーザから接続家電に対する操作要求を受け取ると、その接続家電と接続されている HAT に対して制御命令を送信する。制御命令にはアクション起動要求メッセージを使い、アクション起動要求メッセージの引数に HAT が接続家電に対して行うべき制御内容を指定する。

HAT-Sub は HAT と電力線を通じて通信を行うための PLC モデムモジュールを持つ。またユーザに接続家電の状態情報を提示するための表示インタフェースと、ユーザから接続家電に対する操作要求を受け取るための操作インタフェースを持つ。

3.4 遠隔制御

HAT-Sub は PLC モデムモジュール以外に、イーサネットや無線などの通信インタフェースを持ち、また SCP ネットワークと他のネットワークとの間でゲートウェイとして動く。ユーザは携帯電話などを使って、インターネットを通じて電力線ではカバーできない遠隔地から HAT-Sub にアクセスすることができ、また HAT-Sub がインターネットと SCP ネットワークの間

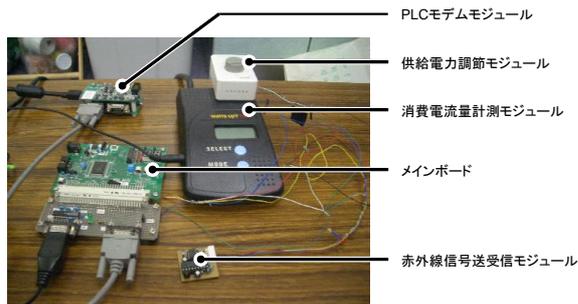


図 4 HAT プロトタイプ外観

のゲートウェイとして働くことで、HAT に接続された既存家電を遠隔制御することができる。アクセス手法としては、携帯電話に特定のアプリケーションを搭載する方法や、CGI などを利用した動的な Web ページにアクセスする方法、または電子メールを使う方法などが考えられる。いずれにしても、なりすまし等の不正アクセスを防ぐために強固な認証機能を持つことが望ましい。

また、HAT 及び HAT-Sub は SCP/UPnP ブリッジを介して UPnP ネットワーク上からアクセスすることができる。この際、HAT 及び HAT-Sub が自身の中に、自身のサービスを定義する XML (eXtensible Markup Language) 形式のディスクリプションファイルと HTML 形式のプレゼンテーションページファイルを持つことで、UPnP ネットワークから Web ブラウザを利用してプレゼンテーションページにアクセスすることができる。特に、プレゼンテーションページファイルに ActiveX Control を利用したスクリプトプログラムを記述しておけば、ユーザはプレゼンテーションページを通して現在の接続家電の状態情報を取得することや、接続家電の状態を制御するなどの動的な処理が可能になる。ただし、これは WindowsOS のもと、Internet Explorer を使用した場合にのみ有効なものである。

4. 実装及び評価

4.1 HAT プロトタイプ

我々は HAT のプロトタイプを開発した。図 4 に HAT プロトタイプの外観を示す。HAT プロトタイプはメインとなる処理をルネサス社の M16C/60 マイコンを搭載したマイコンボード（以降、メインボードと呼ぶ）上で行う。PLC モデムモジュールにはルネサス社の EVB4 を利用した。EVB4 は SCP 対応マイコンである M16C/6S を搭載しており、PLC モデムとしては 7.5kbps 程度の高信頼な通信が可能である。接続家電の消費電流量を計測するための消費電流量計測モジュールには Electronic Education Device 社の Watts UP Pro を利用した。また赤外線信号を受信し、送信するための赤外線信号送受信モジュールを開発した。さらに、接続家電に供給する電力を調節する供給電力調節モジュールを開発した。供給電力調節モジュールは主としてリレー回路で実装され、供給電力の断続制御を実現する。

4.1.1 通知サービスの実現

HAT プロトタイプは SCP.STRING 型の「ReceptionSignal」プロパティと、SCP.INT 型の「CurrentAmpere」プロパティを持ち、これらのプロパティを使って「通知サービス」を実現する。

HAT プロトタイプは起動すると、Watts UP Pro に対して接続家電の消費電流量の計測開始と、計測データの送信要求メッセージを送信する。計測間隔は最短の 1 秒間隔を設定する。メッセージを受信した Watts UP Pro は、一秒間隔でメインボードに対して計測データを送信し始めるので、メインボードでは受け取った計測データを数値データに変換して接続家電の消費電流量情報を得る。消費電流量情報の最小単位は 1mA である。HAT プロトタイプは、Watts UP Pro から得た最新の消費電流量と「CurrentAmpere」プロパティに格納されている以前の消費電流量を

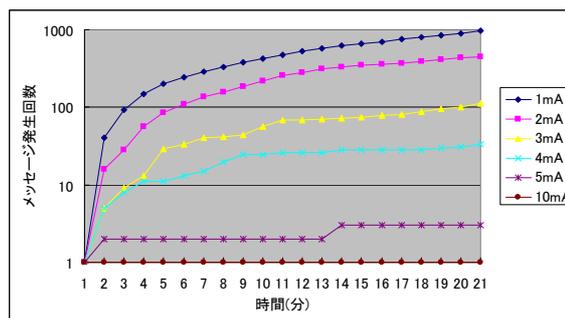


図 5 変動幅とメッセージ発生回数の相関図

比較し、一定幅以上の変動があった場合には、新しく得た消費電流量を「CurrentAmpere」のプロパティ値に設定する。さらに「CurrentAmpere」プロパティの更新が行われたとして、HAT-Sub に対してプロパティ変更通知メッセージを送信する。メッセージの送信には `ScpAppIf_Post_NotifySubscribers` 関数を使用する。

「CurrentAmpere」プロパティを更新する際に必要な変動幅であるが、これを小さく見積もると接続家電の消費電流量変化によるプロパティ変更通知メッセージの送信回数が増え、トラフィックが増大する。図 5 はビデオプレイヤーを使って、同一のビデオを 20 分間再生させた場合における変動幅とプロパティ変更通知メッセージ発生回数の相関を調べたグラフである。このグラフは、あくまでもビデオプレイヤーを再生させた場合におけるメッセージの発生回数を調べたのみであるが、変動幅を最小の 1mA にした場合のメッセージ発生回数が 961 回だったのに対し 5mA では 3 回、10mA では 1 回と、変動幅を大きくするとメッセージの発生回数が大幅に減少することが分かった。また別の実験で、家庭内に存在する主要な家電製品 11 品目 21 機器の状態変化における電流量変化を調べた際に、状態変化の際の電流量変化は最小で 13mA という結果を得た。このため接続家電の状態変化を見逃さないためには、消費電流量変化におけるプロパティ更新の変動幅は大きくても 13mA 未満にする必要がある。今回はメッセージの発生回数が比較的少なくて済む 5mA を更新に必要な変動幅に設定した。

また、赤外線信号送受信モジュールが赤外線信号を受信した場合、赤外線信号送受信モジュールは内部の PIC を使って受信した赤外線信号をアナログ波からビットデータに、さらにビットデータからバイナリデータに変換し、メインボードに送信する。メインボードではこのバイナリデータを受信した後、接続家電の消費電流量が 10mA 以上変化した場合に「ReceptionSignal」プロパティのプロパティ値に受信したバイナリデータを設定する。そして「ReceptionSignal」プロパティが更新されたとして HAT-Sub に対してプロパティ変更通知メッセージを送信する。「ReceptionSignal」プロパティの更新に必要な消費電流量の変動幅に関しては、上述した家電製品の電流量調査において、主要家電製品の状態変化における電流量変化の最小値が 13mA であったことを考慮して、家電製品の状態変化を見逃さないためにそれよりやや低い 10mA を設定した。

4.1.2 制御サービスの実現

HAT プロトタイプは「ApplianceControl」アクションを実装し、制御サービスを実現する。「ApplianceControl」アクションは SCP.STRING 型の引数を持つ。HAT プロトタイプは HAT-Sub から制御命令として「ApplianceControl」アクションに対してのアクション起動要求メッセージを受信すると、`ScpAppIf_On_Action` 関数内で引数を取り出し、引数で指示された制御を接続家電に対して実行する。引数に「SWITCH_ON」あるいは「SWITCH_OFF」のいずれかの文字列が指定されていた場合には、供給電力調節モジュールを用いて接続家電に対して電源の ON/OFF 制御を実行する。引数に赤外線信号のバイナリデータが指定されていた場合には、赤外線信号送受信モジュールの内部 PIC を使ってバ

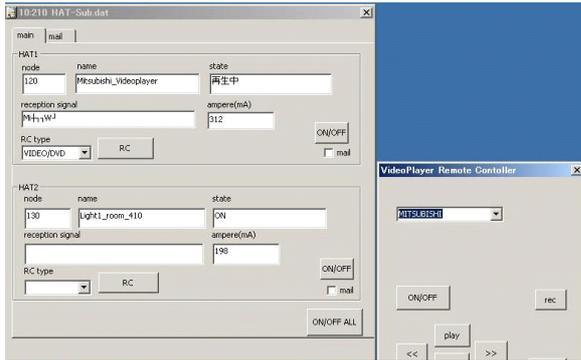


図 6 HAT-Sub プロトタイプ外観



図 7 FLANKER 外観

イナリデータを赤外線信号にデコードし、接続家電に対して送信する。

4.2 HAT-Sub プロトタイプ

我々は HAT-Sub のプロトタイプを開発した。HAT-Sub プロトタイプは Windows 上で動作するアプリケーションプログラムとして実装した。また、HAT-Sub プロトタイプを動作させる PC にはデジタルストリーム社の USB-PLC ドングルを使用して PLC モデム機能を付加した。HAT-Sub プロトタイプは起動すると PC 上で SCP のエミュレーション環境を構築し、SCP デバイスとして動作する。HAT-Sub プロトタイプは VC++ で作られたダイアログベースの GUI を持つ。図 6 に HAT-Sub プロトタイプの動作画面を示す。

HAT-Sub プロトタイプは HAT プロトタイプと同様の「ReceptionSignal」プロパティと「CurrentAmpere」プロパティを持つ。HAT-Sub プロトタイプは起動すると、ネットワーク上の HAT プロトタイプの探索を開始する。新しく HAT プロトタイプを発見すると、発見した HAT プロトタイプの持つプロパティと自身の持つプロパティとの間で、サブスクリプションを自動的に構築する。

HAT-Sub プロトタイプは HAT プロトタイプの通知サービスを構成するプロパティ、「ReceptionSignal」あるいは「CurrentAmpere」に関するプロパティ変更通知メッセージを受信すると、その情報をもとに接続家電の状態を推定する。状態の推定には、まず接続家電の消費電流量の多寡に応じて状態を ON か OFF のいずれかに特定する。さらに受信赤外線信号情報を得た場合には、自身が持つ赤外線信号データベースと照合し、適合した場合には、その信号が指定する処理内容と現在の接続家電の状態、および赤外線信号受信後の消費電流量変化から接続家電の次状態を推定する。推定した状態は GUI を通じてユーザに提示される。HAT-Sub プロトタイプは HAT プロトタイプのノード ID と接続家電の状態情報をユーザに提示するが、ノード ID のみではユーザが接続家電を識別することが困難である。このため、ユーザは HAT-Sub プロトタイプ上で接続家電の名前情報を入力することができ、HAT-Sub プロトタイプはノード ID と入力された名前情報の関連を記録しておき、以降は再起動後もノード ID と共に接続家電の名前情報をユーザに提示する。

また HAT-Sub プロトタイプは接続家電を操作するための GUI を持ち、ユーザはこれを操作して接続家電に対する操作要求を HAT-Sub プロトタイプに知らせる。HAT-Sub プロトタイプはユーザから操作要求を受けると、HAT に対して制御命令を送信する。制御命令の送信は SCP.AppIf.Post.Action 関数を使ったアクション起動要求メッセージで実現され、制御内容を SCP.STRING 型の引数で指定する。供給電力調節モジュールを使った接続家電の電源の ON/OFF 制御を指定する場合は、引数に「SWITCH_ON」あるいは「SWITCH_OFF」の文字列を指定し、赤外線信号送受信モジュールを使って赤外線信号を送信させたい場合には、引数に送信させたい赤外線信号のバイナリデータを指定する。赤外線信号のバイナリデータは自身が持つ赤外線信号データベースの中に記述されている。

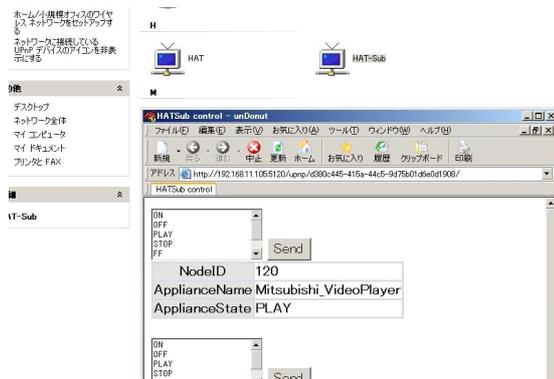


図 8 HAT-Sub プレゼンテーションページ

4.2.1 遠隔操作の実現

HAT-Sub プロトタイプは WindowsPC で動作するアプリケーションプログラムであるため、その PC に搭載された通信インタフェースを利用してインターネットに接続することができる。HAT-Sub プロトタイプはメールサーバにアクセスする機能を持ち、ユーザは電子メールを使って HAT-Sub プロトタイプと通信することができる。HAT-Sub プロトタイプはユーザに対し、接続家電の状態変化を知らせる電子メールを送信することができ、またユーザから接続家電に対する操作要求を記述した電子メールを受信し、制御命令を HAT プロトタイプに送信することができる。この場合、新着メールを確認するためにメールサーバにアクセスする周期が、そのまま制御命令の送信から制御の達成までの遅延となる。また現在の HAT プロトタイプでは、ユーザから受信する電子メールに対して認証機能を持たない、また操作要求の記述もメッセージ形式で行うため使い勝手が良い。

HAT プロトタイプ及び HAT-Sub プロトタイプは SCP/UPnPブリッジを使って UPnP ネットワークからアクセス可能である。SCP/UPnPブリッジには三菱電機社の FLANKER (図 7) を利用した。FLANKER は PLC インタフェースとイーサネットインタフェースを持ち、SCP ネットワークと UPnP ネットワークとの間のブリッジゲートウェイとして働く。HAT-Sub プロトタイプのプレゼンテーションページ (図 8) には、ActiveX Control を利用した JavaScript プログラムを実装しており、現在の接続家電の状態情報の提示や、接続家電に対して制御命令の送信といった動的な処理が可能である。ユーザは UPnP ネットワーク上から Internet Explorer を通じて HAT-Sub のプレゼンテーションページにアクセスすることで、同一 LAN 内から既存家電の遠隔制御を達成することができる。ただし、FLANKER は仕様上の制限で SCP.STRING 型のプロパティに対応していないため、HAT-Sub プロトタイプでは新しく SCP.INT 型のプロパティ「UPnPSendProp」を実装し、接続家電の状態や名前といった情報を数値データに変換した後、プレゼンテーションページに対し

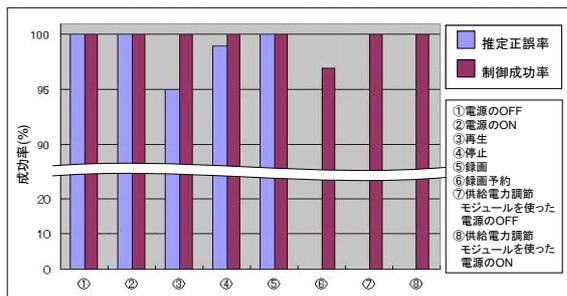


図9 プロトタイプ評価実験結果

て送信している。またプレゼンテーションページからの制御命令に関しても、ノード ID の指定を自由に行うことができないため、一旦 HAT-Sub プロトタイプに制御命令を送信し、HAT-Sub プロトタイプが再度 HAT プロトタイプに向けて制御命令を送信する形を取っている。このため HAT-Sub プロトタイプには新たに「UPnPRecvAction」アクションを実装した。プレゼンテーションページからの制御命令は「UPnPRecvAction」アクションに対するアクション起動要求メッセージとして HAT-Sub プロトタイプに送信される。

4.3 評価

我々は HAT プロトタイプ及び HAT-Sub プロトタイプの動作評価を行った。図 9 は HAT-Sub プロトタイプ及び HAT プロトタイプを用いて既存家電の状態を推定した際の正誤率、および既存家電の状態を制御した場合の成功率を示したグラフである。既存家電には三菱電機社製の非ネットワーク対応のビデオプレイヤーを使用した。推定した状態は「1:電源の OFF」、「2:電源の ON」、「3:再生」、「4:停止」、「5:録画」の 5 つである。赤外線リモコンを使ってビデオプレイヤーの状態を変更した後、HAT-Sub プロトタイプが推定した状態の正誤率を、それぞれ 100 回の試行を基に算出した。図 9 を見ると、全ての状態に対して正誤率が 95% 以上と、比較的高い確率で状態を正しく推定できたことがわかる。最も正誤率が低く、状態の推定に 5 回失敗した「3:再生」に関しては、赤外線信号送受信モジュールで再生を指示する赤外線信号を受信できていたにもかかわらず、その後の消費電流量変化が 10mA 未満であったために、「ReceptionSignal」プロパティの更新が行われなかったことが原因であった。これはビデオ再生の際の消費電流量の変化時間が短く、Watts UP Pro を使った一秒間隔の計測では消費電流量変化のピーク値を計測できない場合があったためである。また正誤率 99% の「4:停止中」における失敗も同様の原因からであった。この問題は、消費電流量の計測間隔を短くすれば解決するものと考えられ、Watts UP Pro よりも計測間隔が短い消費電流量計測モジュールを実装する必要がある。

次に制御の成功率について述べる。実行した制御は、「1:電源の OFF」、「2:電源の ON」、「3:再生」、「4:停止」、「5:録画」、「6:録画予約」、「7:供給電力調節モジュールを使った電源の OFF」、「8:供給電力調節モジュールを使った電源の ON」の 8 つである。各制御をそれぞれ 100 回試行し、正しく制御を実行した確率を算出した。図 9 を見ると、「6:録画予約」以外の制御では 100%、「6:録画予約」では 97% と、高い確率で制御に成功したことがわかる。録画予約の場合は、録画日時を指定するための赤外線信号を送信した後、一定時間を置いて予約確定を行うための赤外線信号を送信する必要があり、予約確定信号の送信タイミングが早すぎた場合に失敗した。赤外線信号送受信モジュールを使った制御は、一回の信号の送信で達成可能な制御に対しては非常に有効であることが分かった。また複数の信号を組み合わせる複雑な制御に関しては、送信タイミング等を調整しなければ達成が難しい場合があることが分かった。

5. 結論

我々は既存家電をホームネットワークに参加させるためのデバイスとして HAT 及び HAT-Sub を提案し、そのプロトタイプを開発、評価した。我々はビデオプレイヤーを使って HAT 及び HAT-Sub プロトタイプの動作評価を行い、95% 以上の成功率で既存家電の状態の推定が可能であること、97% 以上の成功率で既存家電の制御が可能であることを確認した。さらに電子メールを使って屋外から既存家電の遠隔制御が可能であること、Internet Explorer を使って UPnP ネットワーク上から既存家電の遠隔制御が可能であることを確認した。

HAT プロトタイプは赤外線信号の送受信が可能であり、HAT-Sub プロトタイプは接続家電が受信した赤外線信号と消費電流量を関連付けた状態推定が可能である。このため HAT 及び HAT-Sub プロトタイプは、X-10 デバイスや Kubit よりも高度な状態制御が可能であり、スマートコンセントでは推定できないような状態も推定可能である。また HAT 及び HAT-Sub プロトタイプは通信に PLC を用いるため、既に家庭内に敷設されている電力線を利用することができ、新しく通信インフラを敷設する必要がない。さらに HAT 及び HAT-Sub プロトタイプは SCP を使い自律的に通信を行うため、ユーザは通信に関する初期設定など煩雑な作業を行わなくてよい。HAT 及び HAT-Sub プロトタイプを利用することで、ユーザは安価かつ容易に既存家電を使ったホームネットワークを構築することが可能になる。

今後は、多種の家電製品に対して HAT プロトタイプの有効性を確認する。HAT-Sub プロトタイプについては GUI を向上させ、他ネットワークとのアクセス手法に関してより深い検討と実装を行う。さらに HAT プロトタイプを量産し、HAT 及び HAT-Sub プロトタイプを使ったホームネットワーク環境を実際に構築し、本システムの有効性を示すための実証実験を行う予定である。特に、複数の HAT からの情報を基に家庭内のモニタリングを行い、ユーザの状況をコンテキストに把握することで、ホームオートメーションやホームセキュリティがどの程度実現可能かを詳しく検討する。また、HAT 及び HAT-Sub と UPnP デバイスとの相互運用性を高め、既存家電と情報家電が融合可能なホームネットワークの構築を目指す。

参考文献

- 1) DLNA. <http://www.dlna.org/home/>
- 2) UPnP Forum. <http://www.upnp.org/>
- 3) J. Groppe and W. Mueller, "Profile Management Technology for Smart Customizations in Private Home Appliances", DEXA '05, pp.226-230, 2005.
- 4) N. Kushwaha, M. Kim, D. Kim, and W. Cho, "An Intelligent Agent For Ubiquitous Computing Environments: Smart Home UT-AGENT", WSTFEUS '04, pp.157-159, 2004.
- 5) 中田雅行, 他, "家電機器の動作状態変化を用いた遠隔からの安否確認手法", DICOM2004, pp.461-464, 2004.
- 6) Official X10 web site. <http://www.x10.com/homepage.htm>
- 7) M. Ito, Ryuya Uda, S. Ichimura, K. Tago, T. Hoshi, and Y. Matushita, "A Method of Appliance Detection Based on Features of Power Waveform", SAINT'04, pp.291-294, 2004.
- 8) K. Yoshihara, S. Motegi, and H. Horiuchi, "Design and Implementation of "kubit" for Sensing and Control Ubiquitous Applications", PerCom 2005 Workshops, pp.189-193, 2005.
- 9) Simple Control Protocol. <http://www.microsoft.com/japan/windows/scp/>