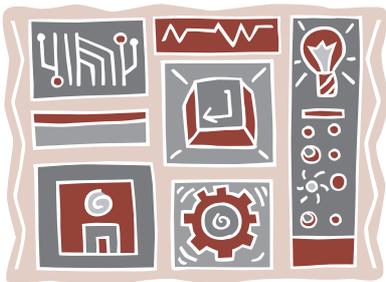


3

計算機業界 からの情報 家電への アプローチ

—情報家電ミドル ウェアの課題—



慶應義塾大学環境情報学部

徳田 英幸

hxt@ht.sfc.keio.ac.jp

慶應義塾大学政策・メディア研究科

中澤 仁

jin@ht.sfc.keio.ac.jp

計算機業界は、メインフレームからPCの時代へ、そしてインターネットの普及とともに、ユビキタスコンピューティングの時代へと進化してきている。また、モバイル機器や携帯電話とともに普及してきている情報家電機器を容易にコンピュータと連携できるようなミドルウェアが提案されてきている。本稿では、これらのミドルウェアにおける技術的な課題を整理し、実際のJini, UPnP, ECHONETを例にとり、それぞれの概要と課題について述べる。

はじめに

90年代に計算機業界の主力機器は、メインフレームからネットワークでつながれたサーバやPCの環境となり、現在は、インターネットの普及とともに、ますますモバイル機器、携帯電話、情報家電機器、ウェアラブル機器などの利用が幅広く社会に普及してきている。

計算機業界からの情報家電に対するアプローチとしては、大きく2つの流れがある。1つは、Sunマイクロシステムズ社が1995年に発表したJava言語やJini¹⁾をはじめとする“言語とミドルウェア”中心の流れである。統一した言語とミドルウェアを構築することにより“write once run everywhere”といった原理であらゆる機器の容易な利用を目指している。マイクロソフト社は、家庭にあるコンピュータとあらゆる情報家電機器との間での制御を実現するために、インターネットで標準的に使用されるプロトコルを基本として、UPnP (Universal Plug and Play) 仕様²⁾を提案している。一方、国内の計算機業界においても、さらにホームネットワークを意識した通信ミドルウェアとしてのECHONET (Energy Conservation & Homecare Network) の規格³⁾が、三菱電機、松下電器産業、東芝、日立製作所、シャープ、東京電力などの日本企業が中心となって提案さ

れ、ホームネットワークの基盤技術の確立をめざしている。

もう1つの流れは、90年代の初めに米ゼロックス社のMarc Weiser氏が主張したユビキタスコンピューティング (Ubiquitous Computing)⁴⁾のように、計算機自体がもっと偏在化し、我々の身のまわりの環境に組み込まれた“新しいコンピューティング環境”を構築していこうという流れの中で、1つの構成要素としての情報家電機器やホームネットワークといった見方がある。米ゼロックス社では、人々の知的協調作業を支援する機器としては、現在のPDAの前身にあたるParcTabや、Padと呼ぶ手書き文字認識が可能なノート型デバイス、赤外線によるアクティブバッジ、電子黒板としてのライブボードなどが開発されてきた。IBM社では、パーベイシブコンピューティング (Pervasive Computing) 環境⁵⁾として、あらゆるところに計算機が組み込まれて利用可能となることを想定し、従来からのPCやサーバだけでなく、PDA、ウェアラブルPC、腕時計型コンピュータなどの情報機器をあらゆる場面で使える環境の構築をめざしている。これらの新しいコンピューティング環境の流れでは、マイクロソフトリサーチ社は、知的に情報化されたリビングルームを実現するためのEasyLiving Project⁶⁾を進めている。また、ヒューレットパッカード社の研究所では、都市規模での知的ユビキタス

インフラを構築するためのCoolTown Project⁷⁾を進めてきている。

本稿では、ソフトウェア的なアプローチである言語やミドルウェアに関連したいくつかの技術についてその概要と問題点について解説する。まず、これらの情報家電機器のためのミドルウェアにおける技術的な課題を整理し、実際のJini, UPnP, ECHONETなどを例にとり、それぞれの概要と課題について述べる。また、今後のインターネットとの整合性や新しい無線、電力を利用したのホームネットワークとの関係などについても触れ、今後の課題をまとめる。

技術的課題

ここでは、これらの情報家電機器を対象としたJini, UPnP, ECHONETなどのミドルウェアに共通した技術的な課題について述べる。ミドルウェアの守備範囲は大変広く、実際のアプリケーションの構築を容易にするためのアプリケーションフレームワークの提供や、より直感的なユーザインタフェースを実現している上位層から、いろいろな異種ネットワーク(IEEE1394, HomePNA, 電灯線, IrDA, Bluetoothなど)への接続を可能とするための通信ミドルウェアまでをカバーしている。以下では、最も基本的な6つの課題について述べる。

• 適応型アプリケーションフレームワーク

情報家電機器の普及やさまざまな情報処理能力を持った機器やセンサーが我々の周りに至る所に設置され、

それらが人々の活動を支援できるような知的でユビキタスなコンピューティング環境が実現可能となってきている。このような環境下で、人々のタスクを支援するために、これらの情報機器群やセンサー群を必要に応じて円滑に制御するためには、柔軟に環境に適応できるアプリケーションフレームワークを提供する必要がある。プログラミング的には、人々の状況や空間的な位置情報などに応じて、動的に適応できるアプリケーションフレームワークが必要である。たとえば、各情報家電機器が持つ機能を抽象化し、他の機器から制御可能とするためのオブジェクトモデルや相互操作性を保証するためのアプリケーションインタフェースなども提供される必要がある。

• ディレクトリサービス

ネットワーク上に存在する情報家電機器、およびその上で動作するオブジェクトなどを管理し、ユーザの要求に応じてそれらを発見させる機能を提供するディレクトリサービスを実現する必要がある。ホームネットワークにおいては、ホームゲートウェイのような機器を設置しているアーキテクチャもあるが、ゲートウェイ的な機器をできるだけ設置せずに、どのようにしてディレクトリサービスを実現できるかが課題である。

情報家電機器の状態を適切に管理し、特定の機器への操作に対する競合や、矛盾などが発生しないようにしなければならない。また、機器自体の属性情報に加えて、機器と利用者の位置情報管理、温度、湿度、照度をはじめとする物理空間属性の管理も、機器の適応型の自動制御を実現する上にも重要で

ある。

• ユーザインタフェース

情報家電機器のためのユーザインタフェースは、従来のコンピュータ端末で利用されていたグラフィカルユーザインタフェース(GUI)だけでなく、もっと容易に機器が利用できるように改善される必要がある。たとえば、音声入出力や画像認識等のインタフェースを必要に応じて使い分けられる機構や、年齢や使用経験に応じてインタフェースが変わるユーザ適応型のインタフェースや見映えなどが必要となってきている。また、新しい家電機器をネットワークに接続した場合なども、ユーザによるさまざまな設定作業が必要でない、コンフィグレーションフリーな運用形態を実現するためのインタフェースもやさしいものでなければならない。

• ネットワーク経由での遠隔/自動/統合制御

ネットワークに接続された情報家電機器は、容易に、安全に、どこからでも制御可能となるべきである。機器の制御に関しては、ユーザが従来のように同一物理空間に存在しなくても、安全に遠隔から制御でき、また、機器が自動的に動作するといった自動制御や、前もって複数の指示を与えて動作させるといった非同期型の統合制御などの機能を容易にミドルウェアが提供する必要がある。また、ネットワークがインターネットに常時接続されるようになると、他人からアタックやサービス妨害などに対処したり、違法アクセスを拒否するといったアクセス制御やセキュリティを提供する機能も必要である。また、物理空間上での制御操作とネットワーク上から起動された制

御操作間での相互排除機能やエラー時のリカバリ機能などといった新しい機能も容易に実現される必要がある。

●ヘテロジニアスネットワーク

情報家電機器は、種類に応じて異なるネットワークインタフェースを持っている。たとえば、AV系の情報家電機器は、映像ストリームや音声ストリームの送受信を行うために、IEEE1394のインタフェースを装備している。また、冷蔵庫や電子レンジなどの白物家電機器に対しては、電灯線通信、Bluetooth、HomePNA (Home Phone Networking Alliance)、HomeRF (Home Radio Frequency)、赤外線などのさまざまなネットワークインタフェースなどが機種によって利用されてきている。このような下位レイヤのネットワークプロトコルの差異を吸収し、アプリケーション開発が複雑なネットワーク構成を意識せずに、行われるようにする必要がある。通信ミドルウェアとして、アドレス変換、プロトコル変換、メッセージの分割・組立てなどのヘテロジニアスネットワーク構築を容易にする仕組みを提供する必要がある。

●QoS (Quality of Service) 管理

IEEE1394ネットワークで接続されたAV系の情報家電機器の場合、このネットワークを介して連続メディアを円滑に送受信することが可能であるが、他のネットワーク上の機器への送受信を実現するためには、それぞれのネットワーク上での帯域保証、各機器における組込みOS上での資源管理やプロトコル変換などを提供し、連続メディアのQoSを保証する必要がある。また、機器の出力用ディスプレイの表示サイズや画素数の違いなども適切なメディア変換を行って、正しくメディアデータが表示されるような機構が必要である。

ミドルウェア

情報家電機器をホームネットワーク上で活用していくためには、前章であげたさまざまな技術的課題が解決されなければ、従来の家電機器に代って、“ケータイ”のように生活に密着した形での利用が促進されるのは、難しい状況である。これら一般的な普及の鍵を握っているのが、情報家電機器のためのミドルウェアである。ここでは、すでに発表され

ているJini, UPnP, ECHONETを取り上げ、それぞれの概要、制御方式、および課題について述べる。

■Jini

Jiniは、米Sunマイクロシステムズ社によってJavaにより実装されている分散オブジェクト・フレームワークを実現するための単純な仕組みのミドルウェアである。Jiniでは、ネットワーク上で提供されたある役割を持ったソフトウェア、あるいはデバイスとソフトウェアの組合せを“サービス”と呼ぶ。Jiniでは、絶えず変化する可能性のあるサービスを統合的に管理し、柔軟な組合せ(連合)を可能にすることを目的としている。

Jiniの実装は、Java2RMIの技術をベースとしているため、動作環境としては、TCP/IP, Java2以降のランタイム環境が必要になっている。

●サービスのエントリ

分散されたサービスは、起動あるいはネットワークに接続されるとDiscoveryと呼ばれるプロトコルにより、各サービスを管理するLook Up Service (LUS)を探す。この際LUSのネットワークアドレスを知らない場合は、図-1のようにマルチキャストを用いてLUSを発見する。このマルチキャストによりディスカバリが可能な範囲をdjinnと呼ぶ。LUSを発見した後サービスは、自分自身のメタ情報とオブジェクトを登録(Register)する。サービスは、登録後に自分が利用可能であることの確認とメタ情報の更新のために、サービス側が定期的にLUSに対して、更新(LEASE)を行わなくてはならない。

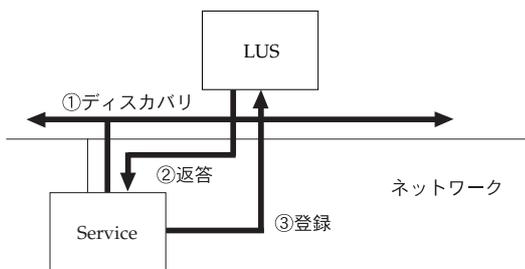


図-1 サービスがLUSにエントリする手順

●サービスの利用

逆にサービスを利用したい側のクライアントは、LUSを発見した後、LUSに対して、ある一部のメタ情報から、登録されたサービスを検索(Lookup)する。目的のサービスが検知できるとそのサービスのオブジェクトをダウンロードし利用する。この際メタ情報は、ストリングだけでなく、クラスの型でもかまわない。

●Jiniによる遠隔制御

遠隔制御を受け入れるサービスは、LUSに登録するオブジェクトとして、プロキシ(正確には、RMIのスタブオブジェクト)を登録しておく。クライアントは、そのプロキシをダウンロードしてサービスに対して遠隔メソッド呼び出しが可能になる。クライアント側にGUIを持たせて実装させておけば、図-2の順序でサービスの遠隔制御が可能になる。

●Jiniによる統合制御

統合モデルの場合、クライアント側でLUSから必要となるサービスをいったんLookupしてから、一連の動作を行うことになる。しかし、もしもよりその複雑な手間を省きたいのであれば、Jiniのアプリケーションの1つであるJavaSpacesを用いることができる。JavaSpacesを利用することにより、完全に分散されたサービス群があたかも1つのスペース上にあるかのように扱うことができるため、統合プログラムが容易になる。

●Jiniによる自動制御

自動制御に関しては、基本的には、遠隔制御と同様である。ただ、必要とするサービスが現時点で(一時的

に)存在しないかもしれないので、その場合、TRANSITIONという検索の機能を用いる。LUSで発見された時点でクライアントに通知、あるいはサービスが消滅した時点でクライアント通知といった登録がLUSに対して可能になる。

●課題

Jiniは非常にシンプルで、応用範囲の広いシステムである。だが逆に広く風呂敷を広げて何でもできるようにみえる技術は、逆にいえば、それがビジネスや実生活で利用するレベルまで各社で詳細な仕様を決めていかなければいけないという課題が残っている。Jiniは、特にEnterpriseへのフォーカスが非常に薄いといわれ、IBMがJiniに消極的である要因の1つでもある。今後は、ERPやBPRを中心とした基幹業務、広域分散なビジネスオブジェクトインタフェースの決定などの課題が残る。これは、ホームネットワークへの対応も同様であり、各社で共通したインタフェースを解決しなければならない課題が残る。セキュリティについて、Java2のセキュリティモデル内で管理される。しかし、LUSに大量にサービスを送りつけるアタック、

JavaSpacesで提供しているオブジェクトをすべてTakeして消滅させてしまうものなどの悪意を持ったクライアントやサービスの出現を想定したセキュリティモデルを考慮する必要もある。

■UPnP

UPnP(Universal Plug and Play)は、家庭にあるコンピュータと家電機器との間での遠隔制御、自動制御、統合制御が、インターネットで標準的に使用されるプロトコルを基本として、仕様として定められたものである。

現在、マイクロソフト社を中心に普及活動が続けられている。Jiniと異なり、プラットフォーム(IEEE 1394, Java VM等)への依存性がないことが特徴である。UPnPでは、ビデオデッキ、テレビ、エアコン等、制御される対象を「デバイス」と呼び、制御する主体を「制御ポイント」と呼ぶ。UPnPは、デバイスと制御ポイントとの間のやりとりを規定する。正確には、デバイスは1個の物理的機器とする場合もあるし、1個の物理的機器の中の論理的機器である場合もあるが、ここでは特に区別せず、デバイスとする。

UPnPにおける情報機器の制御

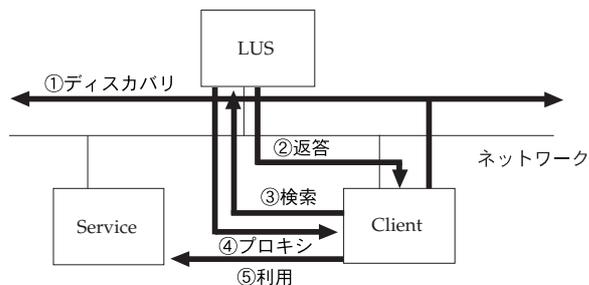


図-2 プロキシを利用した遠隔利用の手順

は、具体的には以下の6ステップからなる。

- (1) アドレッシング (Addressing)
- (2) 発見 (Discovery)
- (3) 記述 (Description)
- (4) 制御 (Control)
- (5) イベント処理 (Eventing)
- (6) 提示 (Presentation)

以下、各々について説明する。

[アドレッシング]

デバイス、制御ポイントといったノード同士は、IPで接続される。そのため、各ノードにはIPアドレスが割り当てられなければならない。UPnPでは、AutoIPの技術を用いて、各ノードに動的にIPアドレスを割り当てられる。

[発見]

デバイスがネットワークに参入すると、制御ポイントに対して、自分が提供するサービスをアナウンスする。逆に、制御ポイントが新たにネットワークに参入すると、デバイスの存在を問い合わせる。いずれの場合にも、SSDP (Simple Service Discovery Protocol) を用いる。この発見

のプロセスの結果、制御ポイントには、デバイスやそのサービスのタイプやデバイスの詳細に関するポインタ (URL) だけが渡される。

[記述]

発見のプロセスで得られたURLは、XML文書を指している。このXML文書には、デバイスのGUI、制御コマンドのエントリ、イベント処理等について記述されている。この記述 (Description) では、制御ポイントがデバイスからこのXML文書を取得する。

[制御]

記述の結果、制御ポイントはデバイスにコマンドを送る方法を知り、実際にコマンドを送って、制御する。

[イベント処理]

デバイスで発生した非同期のイベントを、制御ポイントで受け取ることができる。制御ポイントが事前にデバイスにイベント受け取り要求 (Subscription要求) を渡しておく、デバイスでイベントが発生したとき

に制御ポイントにイベントが通知される。

[提示]

提示では、デバイスを制御したり、デバイスのステータスを監視したりするためのHTMLベースのユーザインタフェースを提示する。

以上の制御ポイントとデバイスの間でやりとりされるメッセージを図-3に示す。

●課題

UPnPで情報家電機器を制御するためには、制御側および制御対象の両方に、標準としてTCP/IPおよびHTTPが実装されることが必要であり、非常に小さい機能しか備えていない機器に対しては、機器のコストを大きく引き上げる要因となってしまう。また、XML文書でデバイス情報が記述されるので、今後、異なるベンダの間で相互接続性を確保するためには、UPnP用のXML文書のテンプレートが標準化されなければならない。今後、さらなるXMLレベルでの標準化が望まれる。

■ ECHONET

ECHONET (Energy Conservation & Homecare Network) は、三菱電機、松下電器産業、東芝、日立製作所、シャープ、東京電力などの日本企業を中心となって普及および標準化を進めているホームネットワークの基盤技術である。図-4にECHONETミドルウェアの構成を示す。ECHONETは、家庭内における標準的な設備系のホームネットワークを構築するための通信レイヤを規定し、それに基づく標準機器およびシステムの開発と普及の促進を目的としている。

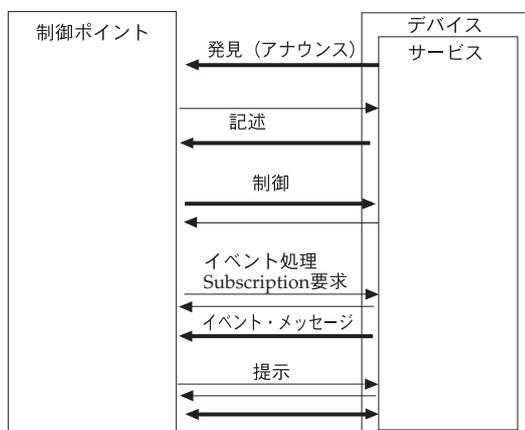


図-3 UPnPメッセージ

下位通信レイヤには、電灯線、小電力無線、ツイストペア線、赤外線などの下位通信プロトコルが数多く定義されている。TCP/IPにまったく囚われない設備系のネットワークを対象としている点が特徴である。中でも電灯線通信方式は、既設の電灯線を通信に使用するために新たな配線工事を必要としない最も代表的なECHONETのプロトコルとして知られている。そのプロトコル間を単一のネットワークとして扱うためのプロトコル差異吸収処理部がある。上位レイヤであるアプリケーションソフトウェアは、複雑なネットワーク構成を意識することなく、開発できる利点がある。プロトコル差異吸収処理部で行うことは、アドレス変換、通信種別変換、メッセージの分割・組立てなどのヘテロジニアスのネットワークを構築する仕組みを提供している。

通信ミドルウェア層では、「機器としての動作機能」を機器オブジェクトとしてその詳細を規定する。機器オブジェクトは、機器相互で、通信を介しての制御や状態の確認を容易とすることを目的とするものである。クラスグループとして、センサ関連機器、空調関連機器、住宅・設備関連機器、調理・家事関連機器、健康関連機器、管理・操作関連機器などがある。

●ECHONETによる遠隔制御

ECHONETでの遠隔制御には、基本APIを用いる。基本APIは、ECHONET通信ミドルウェアの機能を使用するためのAPIである。アプリケーションソフトウェアの開発者に、通信の手順や処理を意識させないインターフェースとすることに留意し、他ノード上の機能の操作は、ECHOENT通信ミドルウェアにあ

るECHONETオブジェクトを操作する。基本APIは、他の機器の持つオブジェクトに対してアクセスするインターフェースとして提供される。基本APIを使用することにより、他の機器のオブジェクトに対してオブジェクトサービスを要求したりその応答を受信したり、また一方、他の機器から要求されたオブジェクトサービスを受け取り自身の処理を行いその応答を送信することができる。

●ECHONETによる統合制御と自動制御

サービスミドルウェアAPIの1つである連動サービスミドルウェアAPIを用いる。連動とは、一方のECHONET機器の運転状態や、計測値が変化することにより、これに対応して他方のECHONET機器の運転状態などが変化することである。以下の3種類の動作が想定できる。

①連動機能が具備（クラス、プロパティが実装）されており、具体的

な連動先インスタンスを特定することにより連動動作可能となる場合。

②連動動作するアクションが特定されており、トリガとなるイベントが特定されれば連動動作可能となる場合。またはイベントが特定されており、アクションが特定されれば連動動作可能となる場合。

③トリガとなるイベントの特定と、アクションの特定がされれば連動動作可能となる場合。

図-5は、③の場合の連動動作でありイベント、アクションともに任意に設定された連動情報（イベントとアクションの組合せ）の関連に基づき、イベントの発生が管理され、アクションの実行が指示される。図-5の左からの入力である連動情報は、イベント発生元、あるいは、アクション実行元、あるいは第三者のいずれかに登録される。

●課題

ECHONETでは、機器オブジェクトに関して、“冷凍冷蔵庫クラス”

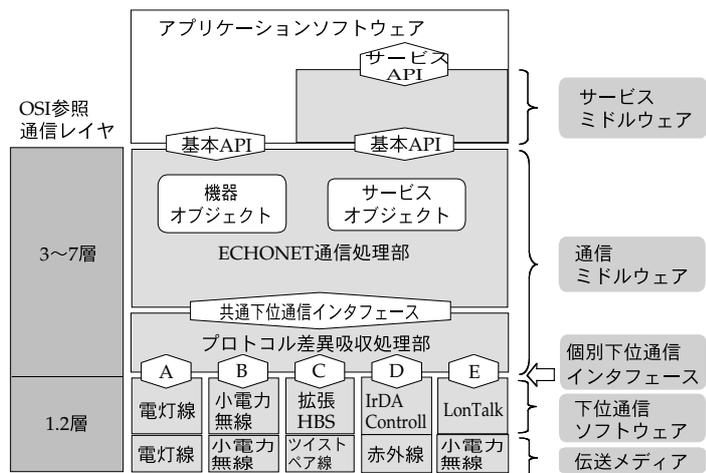


図-4 ECHONETの各レイヤ

から“風呂沸き上がりセンサクラス”にいたるまで詳細に規定され、実装やアプリケーションの開発を行いやすい。そのことは逆に、進化の激しい情報家電機器やまったく未知のセンサやデバイスにいかにか柔軟に対応するかが鍵である。また、下位通信レイヤでは、3つの重要な課題が残る。無線技術(IEEE802.11bやBluetoothなど)とIEEE1394, USBへの互換性は、次世代のホームネットワークを考える上で切り離せない問題である。第2に、電灯線の特性やノイズが家庭、地域、国ごとに異なる中での信頼性のある高速な(広帯域な)電灯線通信は、急務であるといえる。第3に、下位通信レイヤがさまざまなネットワークに対応し、高速になっていくことによって、各プロトコル間でのQoS保証が課題になる。

まとめと今後の課題

本稿では、ソフトウェア・アプローチとしての情報家電機器のためのミドルウェアにおける技術的な課題について整理し、実際のJini,

UPnP, ECHONETなどを例にとり、それぞれの概要と問題点について述べた。計算機業界からは、まだまだ情報家電機器に対しミドルウェアレベルでのデファクト的なスタンダードが生まれてきていない。いろいろな情報家電機器が相互に制御可能となるためにも、さらなる標準化が進むことを期待している。一方、ネットワークに関して、IEEE1394, HomePNA, 電灯線, IrDA, Bluetoothなどさまざまなネットワークが利用されてきており、プロトコルの統合という面でも、大変難しい状態といえる。従来からのインターネットで利用されているIPv4や新しいIPv6を活用しようという試みも起きているが、プロトコル用のコード量が大きく、メモリ容量の小さい情報家電機器には、負荷が大きい。IPv4に関しては、iReady社のチップで実装されたIPv4が、IT電子ポットなどで実用化されているが、より一層の普及が期待される。

参考文献

- 1) Arnold, K. ed.: The Jini Specifications, Second Ed., Addison Wesley (2000).
- 2) <http://www.upnp.org/>
- 3) <http://www.echonoet.gr.jp/>
- 4) Weiser, M.: The Computer for the Twentieth Century, Scientific American, 265, 3, pp.94-104 (1991) E.
- 5) Banavar, G. et al.: Challenges: Application Model for Pervasive Computing, Proc. of 6th International Conf. on Mobile Computing and Networking, pp.266-274 (2000).
- 6) Brumitt, B. et al.: Easyliving: Technologies for intelligent Environments, Proc. of 2nd International Symp. of Handeld and Ubiquitous Computing, pp.12-27 (2000).
- 7) <http://www.cooltown.hp.com/>
(平成13年10月3日受付)

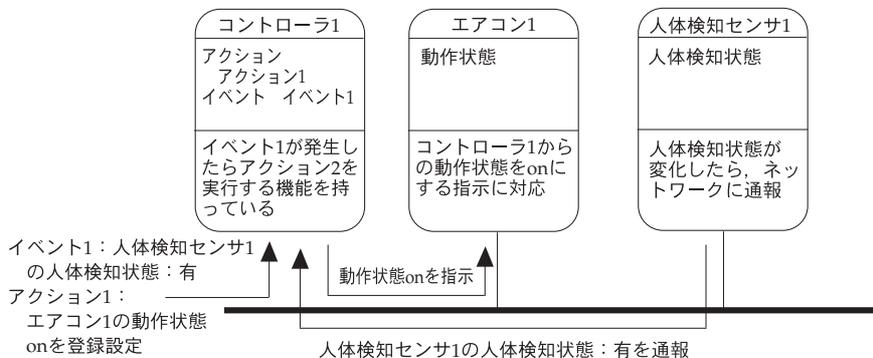


図5 連動サービスミドルウェアの利用

