

機器間の自律的な連携動作モデルと 管理システムの提案

松川朋樹[†] 平野学[†]

Internet of Things の世界では機械対機械のコミュニケーションが実現すると考えられる。さらにユビキタスコンピューティングの基本概念に基づき巧妙に小型コンピュータが身の回りの日常品へ組み込まれていくと、利用者がそれらを把握し管理することが難しくなってくると考えられる。本研究ではこのような機械対機械 (M2M) の連携動作を「トリガ」と「アクション」という単純なルールの組み合わせで表す自律連携モデルを提案した。本研究では機器間連携モデルの実装として携帯端末上にそれぞれの機器をアイコンとして表示し、それらのアイコン間をタップ動作によって線でつなぐことで簡単に機器同士の連携動作を設定できるシステムを開発した。

Proposal of the Management System for Autonomous Ubiquitous Devices

Tomoki Matsukawa[†] and Manabu Hirano[†]

Recently, many computer-embedded things that can connect to the Internet have been increased in our daily living environment. These computers provide useful functions to users naturally. However, such small and invisible computers are integrated into many daily things. Therefore, it will be difficult to grasp such small invisible computers surrounding them. Furthermore, the users have to manage these computers' behavior securely and easily. This paper proposed the federation model based on rules using triggers and actions for the Internet of Things (M2M networks). This paper shows the prototype implementation of the proposed inter-device federation model using the Android-based GUI application and the Wi-Fi-based proxy systems.

1. はじめに

近年は身の回りの様々な機器にインターネット接続可能な小型コンピュータが組み込まれつつある。現在の研究の流れとして Internet の一部が Internet of Things [1] に

なるという考え方がある。従来の人間対人間のコミュニケーションだけではなく機械対機械 (Machine-to-Machine, M2M) のコミュニケーションに基づくネットワークである。我々はこのようなインターネット環境での機器間の連携時のセキュリティ機構として、所有権を機器の IC チップに埋め込むことで安全なアクセス制御を実現するための研究を進めてきた[2]。本稿の目的は M2M のセキュリティ機構の実現の前提となる M2M の自律連携モデルとその管理手法を提案することである。

ユビキタスコンピューティングの基本概念[3]では利用者が意識せずにサービスを受けられることが求められることから、利用者がこれらの身の回りの機器に組み込まれた小型コンピュータを意識せずとも、利用者が求めるサービスが自動的に提供されることが理想である。しかしながら現在の技術では人間の行動パターンなどから利用者の嗜好を完全に類推することには限界があるため、最低限の利用者自身によるサービスの管理が必要になってくると考えられる。

同様に、身の回りの機器に巧妙にネットワーク接続可能な小型コンピュータが組み込まれ、それらの数が増えてくるにつれ、利用者は自分のいる部屋やまわりの環境に一体どのようなサービスが存在するのかを把握することが困難になると考えられる。これはユビキタスコンピューティングの掲げる「目に見えないコンピュータ」の動作としては理想的であるが、現段階では利用者の欲するサービスを自ら計算機が考えて提供することには限界があることから、ある程度のレベルで利用者が自ら周辺の機器 (サービス) を管理しなければならない。

これらの問題を解決するために、本研究では以下の2つを提案する。まず、第一に利用者が身の回りの機器に対して一度ルール設定を行ってしまえば、それ以降は機器同士が連携して自律的に利用者へサービスを提供するようにする自律的連携モデルを提案する。本提案モデルの特徴は目的が機器と機器の連携になっていることである。第二に、この提案モデルに基づき一般消費者でも、簡単に自ら所有する機器に自律的な連携動作を設定できるユーザインターフェースを持つ携帯管理端末を開発することである。提案モデルでは自律的な連携動作を「トリガ」と「アクション」という単純なルールの組み合わせで表現する。

本稿ではまず本研究で前提とする機器連携モデルの定義を説明する。続いて携帯端末を用いて身の回りにある機器のサービスを視覚的に表示し、タッチパネル操作で簡単に使える一般消費者向けの機器連携システムのプロトタイプ開発について報告する。

2. 機器間の連携モデル

本研究では利用者の身の回りに存在する機器を自律的に連携動作させるためのモデルとして「トリガ」と「アクション」という2種類の命令を用いる。例えば一般的な家電製品には、その製品が持つ固有の動作がある。それらを利用者が操作すること

[†] 豊田工業高等専門学校 専攻科
Toyota National Collage of Technology

でその動作が実行される。本研究ではサービスが実行される条件を「トリガ」と定義し、製品が持つ固有の動作を「アクション」と定義する。従来の機器では同一機器内のセンサーやアクチュエータがトリガとアクションとして動作していたが、本研究ではその関係を単独の機器内部だけでなく、複数の機器にまたがって設定できるようにするためのモデルを提案する。図 1 に機器間の連携モデルの設定例を示す。それぞれの機器にはあらかじめ「トリガ」と「アクション」が内蔵されているものとする。現段階ではこれらのサービスの一覧は製造業者が消費者に公開すると想定する。利用者はこれらの「トリガ」と「アクション」の間に図 1 のような有向グラフで示される連携設定を行うことで、「トリガ」となる条件が真になった時に、他の機器の「アクション」に対応する機能を実行するようになる。一旦このような設定を機器に対して行うことで、その後はこれらの機器同士はルールに基づき自動的に動作するようになる。

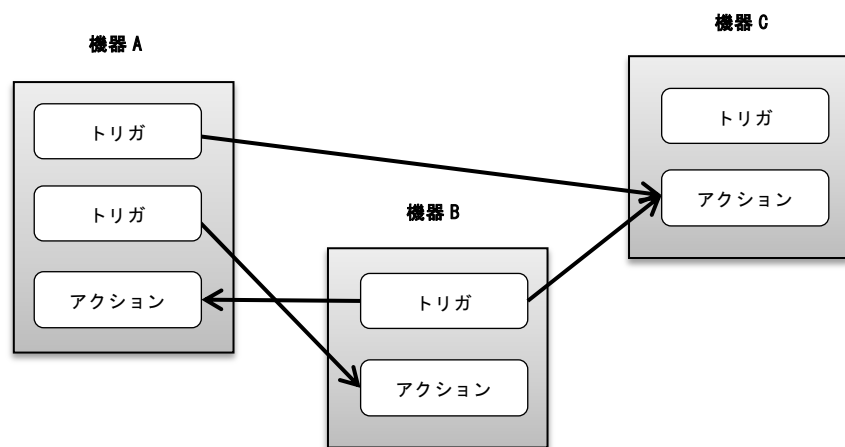


図 1 機器間の連携モデルの設定例

3. 機器間連携モデルのデモシステム構成

本稿では機器間連携モデルを実際に動作させるためのデモシステムの開発を行った。デモシステムの操作対象は既存の家電機器とした。図 2 にデモシステムの構成を示す。デモシステムは小型プロキシシステムと携帯端末の 2 種類の要素から構成されるものとする。

第一に小型プロキシシステムは無線 LAN を備えた小型コンピュータであり、家電機器を赤外線線で操作する機能を有するものとする。小型プロキシシステムを既存の家

電製品と組み合わせることで機器同士の連携モデルの動作を検証する。連携の設定は小型プロキシシステムに保管され、一旦設定されたルールに基づいて家電機器を連携させられるようにする。小型プロキシシステムに実装するソフトウェアを「機器連携アプリケーション」と呼ぶことにする。

第二に利用者に簡単に連携設定をおこなわせるために管理用の携帯端末のアプリケーションを開発する。この携帯端末用アプリケーションでは視覚的に身の回りの無線 LAN に接続された機器をアイコンで提示し、タッチパッドによるインタフェースでサービス間の連携を簡単に設定できるようにする。携帯端末に実装するソフトウェアを「管理アプリケーション」と呼ぶことにする。以上で述べたデモシステムを実装し、評価をすることで機器間の連携モデルの有用性を検証するものとする。

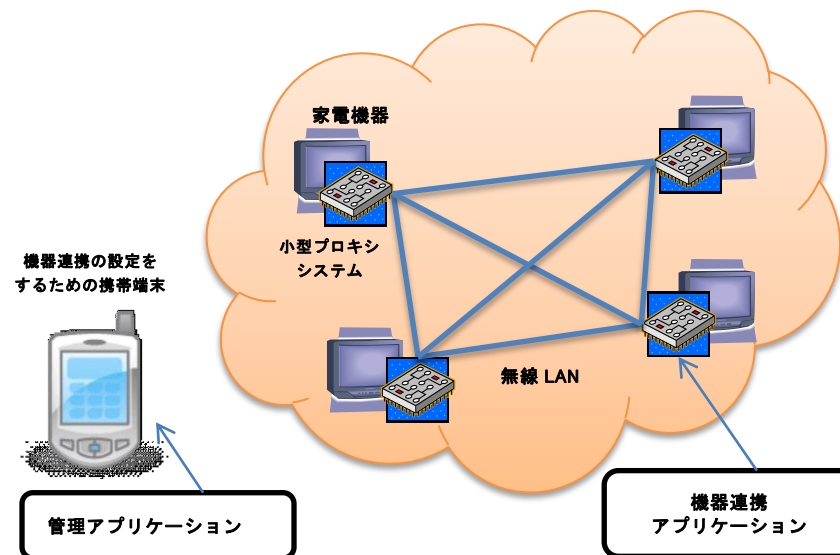


図 2 デモシステムの構成

4. 小型プロキシシステムの機器連携アプリケーションの設計

小型プロキシシステムで動作する機器連携アプリケーションのユースケース図を図 3 に示す。機器連携アプリケーションの持つ機能には以下の 4 つの機能が必要であ

る。(1) 他の小型プロキシシステムの探索, (2) 管理アプリケーションとの間の連携設定の処理, (3) トリガに基づく設定されたアクションの実行の処理, (4) 赤外線による家電機器の操作の処理, の4つがある。小型プロキシシステムは連携動作を実行するために参加しているネットワークに存在している他の小型プロキシシステムを自動的に把握する必要があるために(1)の探索機能が必要である。携帯端末の管理アプリケーションからは機器が持っているサービスの一覧を要求される。よって自分の持つサービスの一覧を送信する機能と管理アプリケーションで決定された連携動作の設定データを保管する機能を(2)で実現する。連携設定完了後にそれぞれの機器は管理端末が存在しなくても、「トリガ」が発生した時に自動的に関連付けられた他の機器(の小型プロキシシステム)の「アクション」を実行する必要があるため(3)の機能が必要である。(4)では、「アクション」が実行された時に、その「アクション」に対応した家電機器の機能を赤外線によって実行する。以上が機器連携アプリケーションに必要とされる機能である。

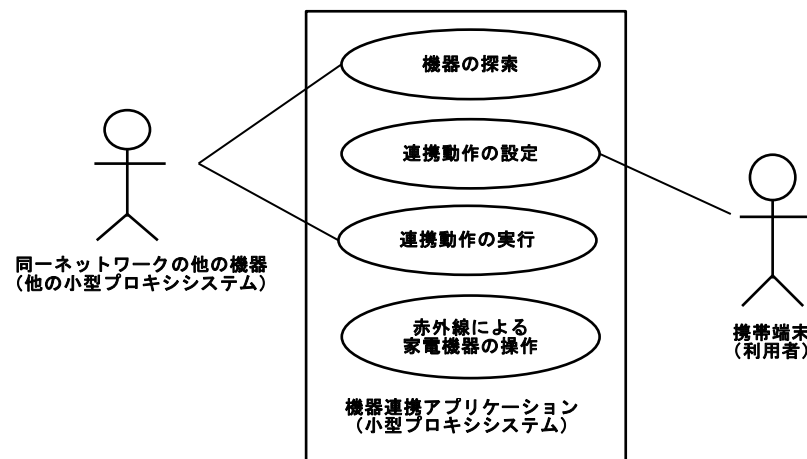


図 3 機器連携アプリケーションのユースケース図

5. 携帯端末で動作する管理アプリケーションの設計

携帯端末で動作する管理アプリケーションのユースケース図を図4に示す。管理アプリケーションに必要とされる機能は、(1) ネットワーク内にある全ての小型プロキシシステムの探索する機能, (2) 探索の結果見つかった小型プロキシシステムをアイコンで画面上へ可視化する機能, (3) 可視化された機器同士の連携動作をグラフィカ

ルユーザインターフェースで設定する機能, の3つである。利用者が管理端末をもってネットワークに参加した際に身の回りに存在する機器の一覧を画面に表示するために、小型プロキシシステムの探索を(1)で行う。利用者は画面に表示された探索の結果見つかった機器(小型プロキシシステム)を画面上にアイコンとして表示して既に連携動作が設定されている場合はその関係をグラフで表示する。(3)では画面上に表示された機器のトリガとアクションに線をつなぐ操作をすることで連携動作の設定を行う。設定内容はトリガの機器の小型プロキシシステムへ送信する。以上が管理アプリケーションの持つ機能である。

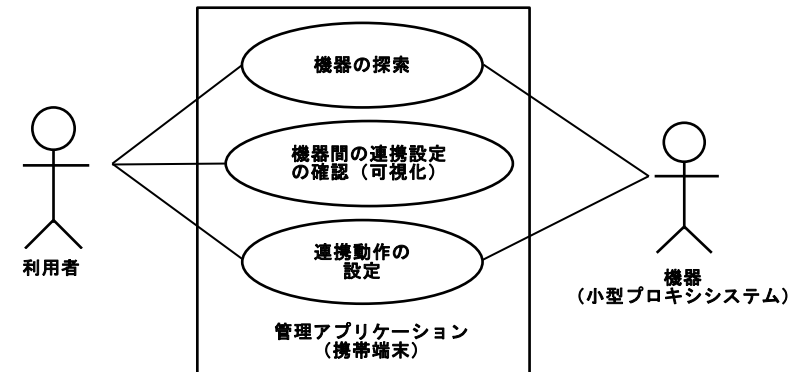


図 4 管理アプリケーションのユースケース図

6. プロトタイプ実装

4節の小型プロキシシステムと5節の機器連携を管理するための携帯端末のプロトタイプ実装を行った。小型プロキシシステムと携帯端末の通信プロトコルには Universal Plug and Play (UPnP) [4]を採用した。以下に各システムの実装を示す。

小型プロキシシステムのハードウェアにはLinuxが動作するGumstix社のOveroボードを使用した。開発した小型プロキシシステムの外観を図5に、ハードウェアの仕様を表1に示す。小型プロキシシステムは家電機器を操作するために赤外線ユニット(バッファロー社・PC-OP-RS1)をUSB接続している。プロトタイプ実装ではあらかじめ操作対象の家電機器の赤外線データを準備しておき家電機器の操作を実現した。小型プロキシシステムでは4節で説明した機器連携アプリケーションを動作させて機器連携モデルを実現した。機器の探索, 連携動作の設定, および他の機器のアクションの実行にはUPnPを利用した。LinuxでUPnPアプリケーションの開発にあたりCyberLinkForC[5]を使用した。機器探索にはUPnPのSSDPを利用し, 連携動作の設

定情報の受信と他の機器のアクション実行には SOAP を利用した。



図 5 小型プロキシシステム
 を実装した Overo ボード

表 1 Overo ボードの仕様

| | |
|--------|-----------------------------------|
| OS | Linux 2.6.32 |
| CPU | Texas Instruments OMAP3 720MHz |
| メモリ | 256MB |
| ネットワーク | IEEE 802.11b,g |
| I/O | USB 2.0 |

携帯端末のハードウェアには Covia 社の Smart Q5 を採用した。管理アプリケーションを実装した Smart Q5 を図 6 に、仕様を表 2 に示す。この携帯端末は OS として Android が動作しており、管理アプリケーションをこの上で動作する Android プログラムとして実装した。Smart Q5 はタッチパネルを採用しており指またはペンで操作することができる。今回開発したプロトタイプ実装ではこのタッチパネルインターフェースを活用することで専門的な知識を持たない一般利用者でも使いやすいユーザーインターフェースを目指した。UPnP ライブラリとして CyberLinkForJava[5]を使用した。連携設定を機器の小型プロキシシステムへ転送するために SOAP を利用した。



図 6 管理アプリケーションを
 実装した Smart Q5

表 2 Smart Q5 の仕様

| | |
|----------------|----------------|
| OS | Android 2.1 |
| CPU | ARM11 667MHz |
| メモリ | 128MB |
| ネットワーク | IEEE 802.11b,g |
| 入力 インターフェース | 感圧式タッチパネル |

7. デモシステム

デモシステムでは利用者が携帯端末を持っており、身の回りの機器の連携動作を携

帯端末の画面を操作することで設定する。デモシステム用に照明とエアコンを用意した。各機器は表 3 に示すトリガとアクションを提供するものとし、照明とエアコンのそれぞれに対して小型プロキシシステムを設置した。照明は赤外線で作動できるものを使用し、「アクション」として「照明をつける・照明を消す」を用意した。エアコンは「アクション」として「電源を入れる・電源を消す」を用意した。照明とエアコンはそれぞれ自分自身のオン・オフを「トリガ」として提供できるようにした。以上に加えて携帯端末がネットワークに参加することを「トリガ」として、各機器は「アクション」を実行することができるようにした。以下のデモシナリオを用意し動作確認を行った。(1)「照明」のスイッチをオンにすると、それをトリガとして、「エアコン」の電源をオンにするアクションを実行する。(2) 携帯端末がネットワークに参加するとトリガが発生し、「照明」と「エアコン」の電源をオンにするアクションを実行する。

表 3 デモシステムで使う機器と各機能

| 機器名 | 関数の種類 | 関数名 | 内容 |
|------|-------|------------------|--------------------|
| 照明 | トリガ | triggerSwitchOn | スイッチがオンになった時に発生 |
| | トリガ | triggerSwitchOff | スイッチがオフになった時に発生 |
| | アクション | actionLightOn | 照明の電源をオンにする |
| | アクション | actionLightOff | 照明の電源をオフにする |
| エアコン | トリガ | triggerPowerOn | エアコンの電源がオンになった時に発生 |
| | トリガ | triggerPowerOff | エアコンの電源がオフになった時に発生 |
| | アクション | actionPowerOn | エアコンの電源をオンにする |
| | アクション | actionPowerOff | エアコンの電源をオフにする |

図 7 にデモシステムでの連携動作を設定した際の手順を示す。手順 (1) のように携帯端末の管理アプリケーション画面に無線ネットワークから自動的に検出された機器の一覧がアイコンで表示された。これらの機器から連携設定したい機器を選択すると新しい手順 (2) の画面が表示される。各機器のサービスにおいて、先頭に (T) と表示されているものが「トリガ」を意味しており、(A) と書かれているサービスが「アクション」を意味している。手順 (1) と手順 (2) を繰り返すことで手順 (3) に示すようなボックスが画面に追加されていく。最初は連携設定がないのでボックス間に線はひかれていないが、手順 (3) において機器間の連携を設定する際に可視化されたボックス同士をタッチして線を結ぶ。基本的に「トリガ」から「アクション」へ向けて

の線しか引くことができない。これは、本研究において自律的な機器連携の動作を「トリガ」の条件を満たした際に、他の機器への「アクション」を実行すると定義しているためである。最終的に連携動作が実行されたとき、赤外線ユニットを介してあらかじめ登録してあるアクションの赤外線データが送信されて家電機器の操作が実行された。

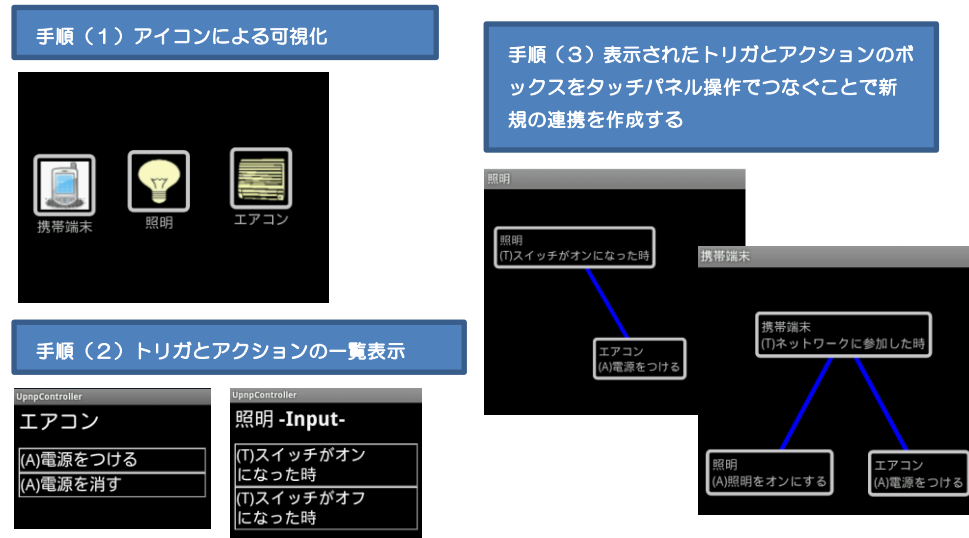


図 7 管理アプリケーションによる連携の設定手順

8. 関連研究

本稿で紹介した管理アプリケーションでは利用者は携帯端末のタッチパネルの操作で機器間の連携動作の設定を行うことができる。例えば、アイコンやボックスを移動させる、ボックス間に線を引くといった直感的な操作である。さらに、一般消費者でも理解しやすいように、連携の設定を「もし～したら」を意味するトリガと「～を実行する」を意味するアクションという2つの関係で表現した。これらの工夫によってユビキタスコンピューティング環境における自律的な機器連携のイメージを一般消費者に理解しやすい形で提示できるようになったと考えられる。

河口らによる Cogma の Appliance Bonding [6] ではグラフによる機器連携の可視化を実現している。Appliance Bonding の可視化では機器で利用される機能をノードと

してエッジには送受信されるデータを表示する。本研究と比較すると機器の機能としてトリガとアクションの区別をしている点異なる。南らによる STONE [7]ではサービスグラフという可視化によって機器間の連携を設定する方法を示している。STONE はサービス合成時の透過性を保証するための高度なネームサービスを提供している。しかしながらサービスグラフの編集を行うユーザインターフェースの詳細は示されていない。機器間の連携のためのユーザインターフェースの研究としては Rodden [8]らが画面上で機器の機能を示すジグソーパズルのピースを組み合わせることで機器間の連携を設定するシステムを提案している。Gross らは CommunicationBus[9]と呼ばれるユビキタスコンピューティング環境の編集システムを提案している。CommunicationBus ではセンサーや条件のアイコンとアクチュエータのアイコンを並べることで連携動作の設定をおこなう。Mavrommati[10]らの eGadgets では機器間の連携を行わせる Plug-synapse モデルを提案し、GUI として機器間の連携を各機器の関係を示すマトリックスで表示させて設定するユーザインターフェースを示している。本稿で示したモデルはトリガとアクションを明示的に区別して扱う点が上記の研究と異なる点である。

今後は一般消費者に適した直観的な連携動作の設定を実現するユーザインターフェースを検討していく必要がある。次のステップとして本稿で示した機器連携モデルのプロトタイプ実装を IPv6 ネットワークで動作するように拡張する。そして既に開発済みの IC チップで所有権を管理し、機器連携の動作を所有権に基づいてアクセス制御する M2M のセキュリティ機構[2]を今回開発した自律連携ネットワークへ適用していきたい。

9. まとめ

本研究では機器間の自律的な連携動作を「トリガ」と「アクション」という単純なルールの組み合わせで表現する M2M の自律的な機器連携モデルを示した。携帯端末上にそれぞれの機器をアイコンとして表示し、それらのアイコン間をタップ動作によって線をつなぐことで簡単に連携動作を設定できることを示した。本稿では既存の家電機器で機器連携モデルをデモンストレーションするための小型プロキシシステムもあわせて開発した。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金若手研究 (B) 課題番号 21700090 によって実施されたものである。

参考文献

- 1) N. Gershenfeld, R. Krikorian, and D. Cohen, The Internet of things, Scientific American, 291:44, pp.76-81, (2004).

- 2) M. Hirano, T. Okuda, and S. Yamaguchi, Design and Implementation of an Inter-Device Authentication Framework Guaranteeing Explicit Ownership, IPSJ Digital Courier, Vol.4, pp.114-127 (2008).
- 3) Mark Weiser, Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing, Communication of ACM, Vol.36, Issue 7, pp.75-84 (1993).
- 4) UPnP Forum, UPnP Device Architecture version 1.0 (2008).
- 5) Cyber Garage, <http://www.cybergarage.org/>. (2011年2月14日閲覧)
- 6) 河口信夫, 梶克彦, 稲垣康善, Appliance Bonding: 情報家電間連携の動的な指示手法, 情報処理学会情報家電コンピューティング研究グループ, 第3回研究会予講集(2002).
- 7) 南正輝, 杉田馨, 森川博之, 青山友紀, ユビキタス環境に向けたインターネットアプリケーションプラットフォーム, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-B, No.12, pp.2313-2330 (2002).
- 8) Rodden, T., Crabtree, A., et al., Between the Dazzle of a New Building and its Eventual Corpse: Assembling the Ubiquitous Home, Proc. ACM DIS'04. pp.71-80 (2004).
- 9) Gross, T. and Marquardt, N., CollaborationBus: An Editor for the Easy Configuration of Ubiquitous Computing Environments. In Proceedings of the Fifteenth Euromicro Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing, pp.307-314 (2007)
- 10) Mavrommati, I., Kameas, A. and Markopoulos, P., An Editing Tool that Manages Device Associations in an In-Home Environment, Personal and Ubiquitous Computing 8, 3-4 pp.255-263 (2004).