

全周囲パノラマ画像を利用した携帯端末による 家電の遠隔操作支援システム

谷 直人[†] 小寺 達也[†] 杉本 麻樹[†]

[†] 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

E-mail: [†] {n.tani, kodera, sugimoto}@imlab.ics.keio.ac.jp

あらまし 携帯端末機器を用いて外出先から屋内の家電を遠隔で操作するインタフェースは私達の生活の利便性を高めるうえで有用であると考えられる。従来から家電操作の際に制御用のボタンを携帯端末に表示させるインタフェースが多く提案されているが、本論文では全周囲パノラマ画像を家電制御の操作画面とすることを提案する。複数の操作画面を用いた被験者実験を通じて、パノラマ画像を操作画面として用いることが直感的な家電操作を可能にするかを検証した。

キーワード 遠隔操作, 全周囲画像, 家電制御

Remote operation support system of home appliances by the mobile terminal using the entire circumference panoramic image

Naoto TANI[†] Tatsuya KODERA[†] and Maki SUGIMOTO[†]

[†] Graduate School of Science and Technology, Keio University

3-14-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522 Japan

E-mail: [†] {n.tani, kodera, sugimoto}@imlab.ics.keio.ac.jp

Abstract There are several products which can operate indoor home appliances remotely by mobile consoles. Conventionally, those products use ordinal GUI widgets such as buttons. This paper proposes a remote home appliances control interface that uses circumference panoramic images on a mobile console. We conducted a user study to investigate advantages and disadvantages of the proposed interface.

Keyword Remote Control, Panoramic image, Home appliance control

1. はじめに

2013年に経済産業省は電気用品安全法の解釈を見直し、スマートフォンを用いた外出先からの家電製品の遠隔制御に関する規制を緩和することを決定した。これにより家電の遠隔制御に対して注目が集まっている。家電の遠隔制御の手法としては、通常の家電のリモコン用にボタンに機能を割り付けたUIで制御するシステムが提案されているが、臨場感に乏しい。そこで本研究では高い没入感を提供することが可能なパノラマ画像を用いることで、遠隔でも直感的に家電を操作しやすいシステムを提案する。提案システムでは、室内の全周囲パノラマ画像に表示されている家電をユーザがタップすることでその該当家電の制御を実現する(図1)。

本論文では、パノラマ画像から家電を制御する際の座標系の取り扱いについて説明し、その後ユーザイン

タフェース部分を含めたシステムを説明する。さらにこのシステムを評価する上でのユーザ実験の概要とその結果について述べる。



図1 提案システム：パノラマ画像を観覧し、画像中の家電に対しON/OFFの制御が可能

2. 関連研究

携帯端末から家電を操作する製品の一例としては、携帯端末上のボタンから室内の赤外線送信機を動作させて家電を制御するグラモ社の iRemocon[1]が挙げられる。また SHARP は掃除ロボットに家電の赤外線信号を事前に登録しておくことで外出先から掃除ロボット経由で家電を制御出来る機能を搭載した COCOROBO[2]を発売している。しかし、何れの製品も事前に家電と対応付けした携帯端末上のボタンを使用しているため、他のユーザが使用した際に対応関係が取りづらい。これはボタンの表示だけでは直感的に部屋の様子が分からないことに起因する。

家電の遠隔制御に関しては、従来様々な研究がなされている。Nichols らは XML ベースで機器間の通信を行い、手元のボタンを押すことで機器に備えつけられたボタンを押すことと同様の制御を行うことが出来るシステムを提案した[4]。また Gill らや Guangming らはマイコンの ZigBee を用いて家電を遠隔で制御する手法を提案している[6][7]。この中で Gill らは、家電制御の際に ZigBee の通信を用いることによって Wi-Fi よりも通信における遅延が少ないことを証明した。ZigBee を用いた無線のネットワークという観点では、Yu-Ping らがいわゆるスマートホームと呼ばれる家電の自動制御の手法を提案している[8]。また福地らは、ピン型デバイスを物理的に抜き差しすることで家電を制御するエンドユーザ向けのシステムを提案した[9]。このシステムでは GUI ベースに比べてユーザが直感的に操作出来ることが示されている。しかし、これらの従来研究はユーザが外出先で家電を遠隔に制御することができない。

西川らは3次元のバーチャル環境上に家電を設置し、それらをシミュレータ上で制御することで現実の情報家電を制御する手法を提案し、実用規模での家電制御インタフェースとしての有用性を証明している[10]。

一方で Seifried らはバーチャル環境ではなく、実環境の操作対象がある部屋を対象として、トップのマルチタッチディスプレイを用いた家電制御システムを提案している。部屋の実際の様子を俯瞰図で映し出し、そのディスプレイ上に表示された家電をユーザが直接操作することで、ディスプレイ上の家電も変化させながら実際の家電を制御するシステムを作成した[5]。この手法は家電操作において非常に有効であると考えられるが、俯瞰図に映らない天井の照明などを直感的に操作する際に難点が生じる。

パノラマ画像を用いた研究としては、Sankar らはスマートフォンを用いて屋内のパノラマ画像を作成し、部屋と部屋の間をユーザのタップで移動できるようにすることでその部屋への没入感を提示するシステムを

開発した[3]。さらに Swaminathan らはパノラマ画像中に存在する家電を認識する手法を提案している[11]。この手法では作成された横方向のパノラマ画像中の家電を認識するにとどまり、実際に制御を行うことはしていない。

本研究では、これらの先行研究を踏まえて携帯端末と全周囲360度のパノラマ画像を用いて、ユーザが外出先でも直感的に家電を操作できるようなシステムを提案する。

3. 全周囲パノラマ画像による家電操作

3.1. システム構成

図2に本システムの構成を示す。ユーザは携帯端末から家電の位置情報をサーバに登録する。家電の制御時にはユーザのタップ位置と登録した位置情報を参照し、該当の家電の ON/OFF の状態を識別する。次にサーバからマイコンへ ON/OFF の信号を送信し、マイコンから家電へ制御信号を送信することで家電制御を行う。

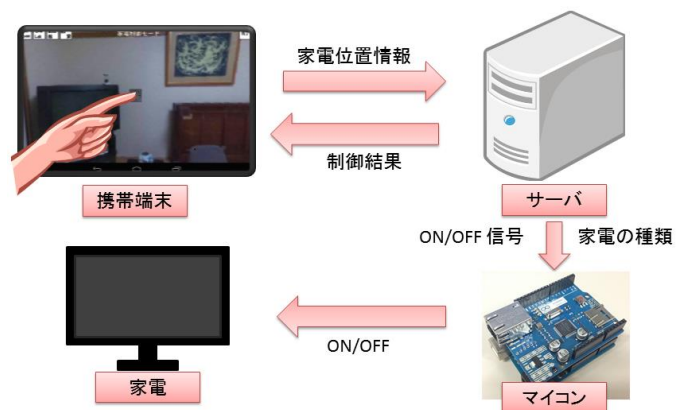


図2 本システムの構成図

3.2. 全周囲パノラマ画像の提示

最初に撮影された全周囲パノラマ画像を球面の内側に貼り付ける。平面のパノラマ画像を使用するため球体の大きさは考慮しない。この球体の中心に、ユーザが任意に回転させることができるカメラを配置することで全周囲パノラマ画像を提示する。このとき携帯端末のジャイロセンサとカメラの動きを対応付けることで、あたかも部屋の中にいるような没入感を与えることができる。

3.3. 家電データベース

表示される全周囲パノラマ画像の中心点は x 軸周りの角度を θ 、 yz 平面からの角度を ϕ としたとき $(\theta, \phi, \text{半径})$ となる(図3)。

また、パノラマ画像の中心点に家電を合わせることで家電の位置を図3で表示されるような極座標と対応付けることができる。

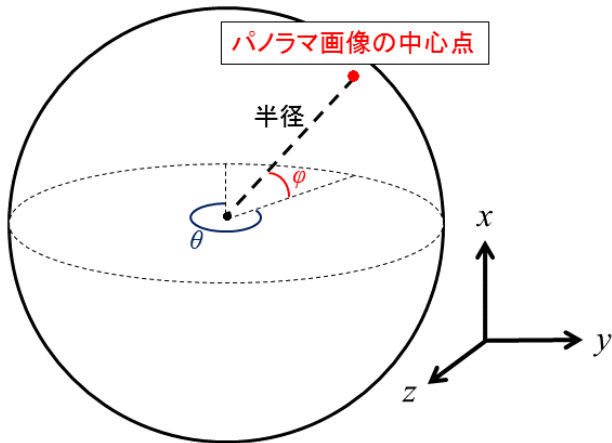


図3 全周囲パノラマ画像の中心点の極座標表

また、パノラマ画像中の家電の位置や家電の ON/OFF の状態をサーバ上のデータベースで登録する。

データベースには家電の「種類」「 θ 」「 ϕ 」「ON/OFF」「家電領域」を登録する。家電領域は、ユーザがパノラマ画像中の家電をタッチしたときに、どの範囲が該当の家電であるかを判別する際に参照する。

これらの値は携帯端末からサーバへ家電登録をする際の通信時にデータベースに登録される。

3.4. 家電制御デバイス

実際の家電の制御には Arduino を用いる。制御する家電が赤外線に対応している場合は図4に示すような赤外線シールドにあらかじめ家電制御用の赤外線信号を学習させておき、イーサネットシールドにより携帯端末からの HTTP 通信で赤外線信号を発信することで家電を制御する。

制御したい家電が赤外線リモコンに対応してない場合、電子部品のフォトカプラを用いてサーバからの制御信号に基づき家電の ON/OFF を制御する。

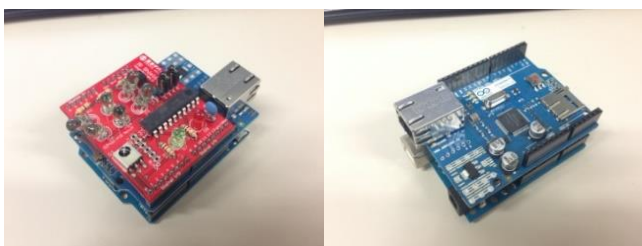


図4 赤外線シールド(左), イーサネットシールド(右)

4. 家電遠隔操作システム

提案システムは、図5のように制御する家電の登録を行う「家電登録シーン」と登録した家電の ON/OFF を制御する「家電制御シーン」に分けられる。

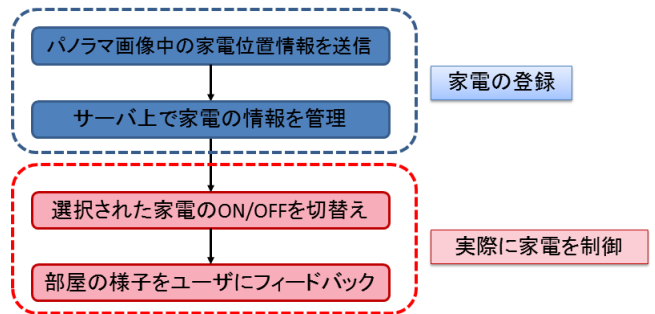


図5 提案システムの流れ

4.1. 家電登録

まず、パノラマ画像から該当する家電の領域を決定する。あらかじめ制御しておきたい家電の写真を用意しておくことで、その写真をテンプレート画像としたパノラマ画像中のテンプレートマッチングを行う。

全周囲パノラマ画像の縦のピクセル数を $height$ 、横のピクセル数を $width$ とすると、 $height = 180^\circ$ 、 $width = 360^\circ$ と極座標系に変換することが出来る。テンプレートマッチングの結果、検出された家電の領域の縦のピクセルを h 、横のピクセルを w とする(図6)。



図6 テンプレートマッチングの概念図

このとき極座標系で表された家電の横の領域 Θ 、縦の領域 Φ は以下のように表すことができる。

$$\Theta = 360^\circ \times w / width$$

$$\Phi = 180^\circ \times h / height$$

次に、ユーザは携帯端末のパノラマ画像中から登録する家電を選択する。ユーザは図7のように画面左端の制御対象の家電を示したパネルをタップしてから画面中央の登録ボタンに該当家電を合わせるようにして登録を行う。また、画面上部にはパノラマ画像の変更を行うパネルを作成した。画面中央の登録ボタンを押したときに、サーバに「家電の種類」「家電の位置(θ , ϕ)」「家電の状態(初期状態は OFF)」「該当家電の領域(Θ , Φ)」の情報を送信し、サーバ上のデータベースに登録する。



図7 家電登録時の携帯端末上の操作画面

4.2. 家電制御

登録が完了すると、家電制御が可能な状態に移行する。ユーザは携帯端末を動かして全周囲パノラマ画像を見回し、登録時と同様に画面中央に配置されたボタンと該当家電が重なったときに家電制御ボタンを押すことで家電の ON/OFF を制御する。

家電制御ボタンが押されたとき、どの家電が押されたのかの判定を最初に行う。このとき押された画像座標上での位置を (x, y) 、家電登録時に登録された位置座標を (θ, ϕ) 、さらにあらかじめ決定された家電領域を (Θ, Φ) とする。このとき、家電領域を考慮した登録時の位置座標が制御時の位置座標に一致した家電を操作する。式に表すと、

$$\theta - \Theta / 2 \leq x \leq \theta + \Theta / 2$$

かつ

$$\phi - \Phi / 2 \leq y \leq \phi + \Phi / 2$$

をみたす (θ, ϕ) がデータベース上にあれば、 (x, y) でタップされた家電は (θ, ϕ) の位置で登録された家電であると判明する。

タップされた家電のデータベース上の状態が OFF であれば ON、ON であれば OFF の信号をサーバから Arduino へ送信する。Arduino から該当家電へ ON/OFF の制御が行われたのち、携帯端末上のパノラマ画像を図8のように更新する。これによりユーザは現在の部屋の様子を確認しながら家電を制御することができる。

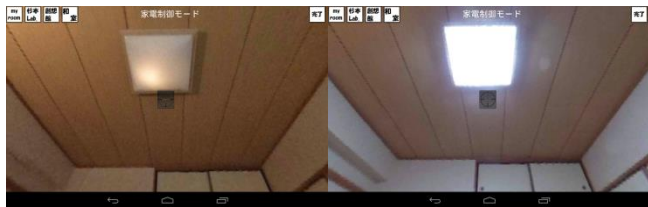


図8 制御前(左)と制御後(右)の操作画面

5. 実験

本システムを評価するためにユーザ実験を行った。被験者は20代男性11名、20代女性1名であり、携帯端末として Google Nexus7(2013)を利用した。

5.1. 実験条件

提案システムと比較を行うため、図9に示すような3つの操作画面をそれぞれ作成した。ボタンに基づくリモコン式操作画面を「ボタン」、パノラマ画像そのままの操作画面を「パノラマそのまま」、6方向の写真の操作画面を「6画面」と表記する。



図9 リモコン式操作画面(左)、パノラマ画像そのままの操作画面(右上)、6方向の写真の操作画面(右下)

操作対象とした家電は、TV1台・エアコン1台・ディスプレイ2枚・電球2個・天井照明機器1個・デスクライト1つの計8つとした。

リモコン式操作画面は家電の種類が文字で書かれており、その下にそれぞれ ON/OFF のボタンが配置されている。したがって、ユーザはボタンを押して ON/OFF の制御を行うが、現在の部屋の状態は表示されない。パノラマ画像そのままの操作画面と6方向の写真の操作画面では、表示されている家電をタップすることで ON/OFF が切り替わるようになっている。これらの操作画面と、提案システムである全周囲パノラマ画像を球面に適用した場合の操作画面とを「家電制御の正確性」「家電制御時間」「画面タップ回数」の観点で比較した。

被験者は、「部屋の様子を事前に学習した後に実験を行った被験者」と「部屋の様子を事前に学習せずに実験を行った被験者」を区別して実験を行った。前者は実験前に提案手法の操作画面を使ってどの位置にどの家電があるかを調べてもらい、部屋の様子をつかんでもらった。

5.2. 実験手法

被験者が参照する教示用モニタ上に図10のように8つの家電がランダムに ON/OFF になっている写真を表示し被験者に提示した。



図 10 被験者に提示した 8 つの家電写真真例

被験者にはその 8 つの家電の状態通りになるように、携帯端末上の操作画面で ON/OFF を制御させた。表示された家電の状態に制御し終えたと被験者が感じたら、家電の状態をランダムに変えて再び提示させた。本実験では最終的に 5 つの ON/OFF の状態をそれぞれ 4 つの操作画面で 3 回ずつ制御してもらった。

提示する家電の写真を変えた時にはそれ以前の各家電の状態は維持されているとし、状態遷移時に家電の状態に変化がなかった場合、被験者は改めてその家電の ON/OFF を制御する必要はないとした。

5.3. 結果

図 11 に家電制御のミス率を各手法, 各回において測定した結果を示す。図 12 には家電制御にかかった時間を各手法, 各試行回数において測定した結果を示す。図 13 に家電制御中の画面のタップ回数を各手法, 各回において測定した結果を示す。「部屋の様子を事前に学習した後に実験を行った被験者」と、「部屋の様子を事前に学習せずに実験を行った被験者」を分けて、平均と標準偏差を示している。

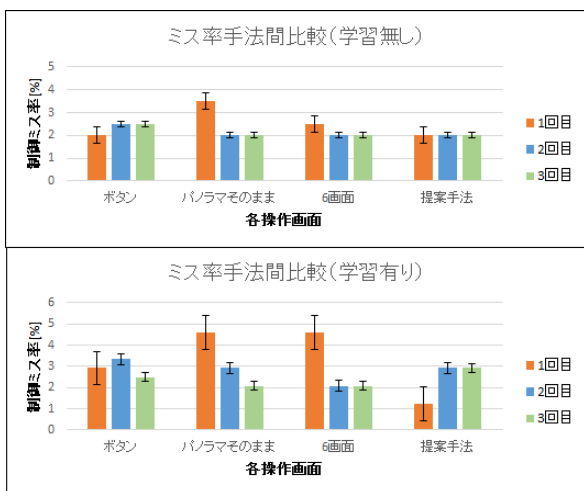


図 11 学習無しの被験者(上)と, 学習有りの被験者(下)との各手法間の家電制御ミス率の比較

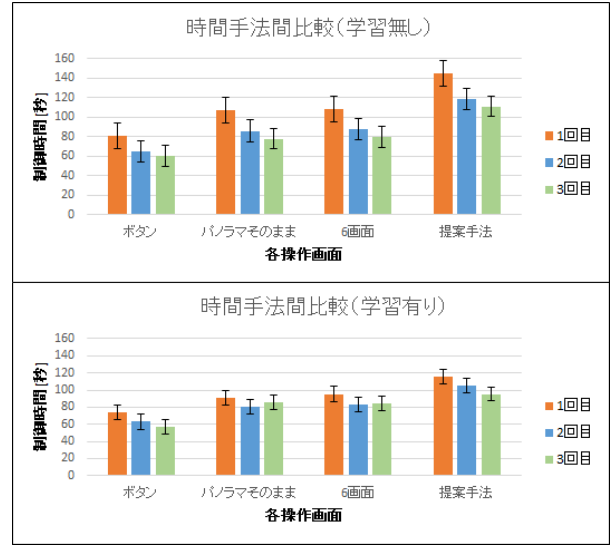


図 12 学習無しの被験者(上)と, 学習有りの被験者(下)との各手法間の家電制御時間の比較

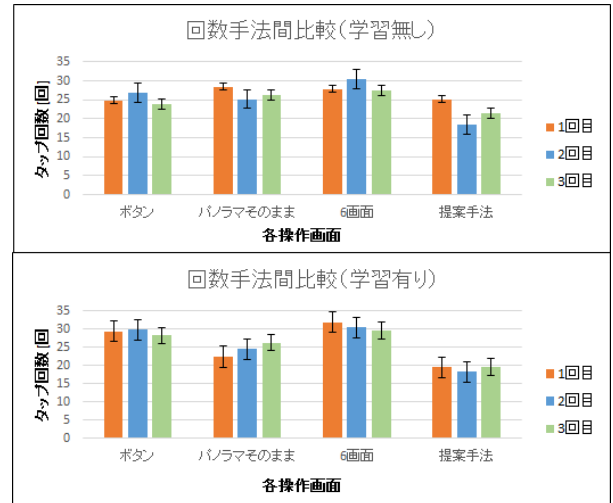


図 13 学習無しの被験者(上)と, 学習有りの被験者(下)との各手法間の画面タップ回数の比較

6. 議論

実験結果より「ミス率」「制御時間」「タップ回数」についてそれぞれ考察する。「各操作画面の違い」と「試行回数」と「学習の有無」を要因とした三元配置分散分析を行った。

ミス率については、すべての分析結果で、有意水準 5% で有意差が認められなかった。

制御時間については、操作画面による違いと学習の有無による違いについて有意水準 5% で有意差が認められたが、操作画面による違いと学習の有無による違いの交互作用でも、有意水準 5% で有意差が認められた。このことから学習の有無でそれぞれ適している操作画面と適していない操作画面があることが分かる。また、試行回数による違いについても、有意水準 5%

で有意差が認められた。これは実験の回数が増えることで、事前の学習の有無や操作画面に関係なく被験者が家電の制御操作に慣れていったと考えられる。

タップ回数については、操作画面による違いで、有意水準 5%で有意差が認められた。また、学習の有無による違いと操作画面による違いの相互作用で、有意水準 5%で有意差が認められた。このことから学習の有無でそれぞれ適している操作画面と適していない操作画面があることが分かる。提案手法と 6 方向の写真の操作画面の比較を行うと、6 方向の写真の操作画面では写真と写真の間が繋がっていないことによって、空間の近くに断絶が出来ており、空間全体をうまく把握できない点や、家電領域が提案手法に比べ小さく、タップしづらい点が提案手法より劣っていると考えられる。

パノラマ画像そのままの操作画面と提案手法の比較を行うと、パノラマ画像を球面に適用せずそのまま使用した場合には図 14 のように画像の上下端付近にある家電が歪んでしまったり、左右端付近の家電が見切れてしまったりという問題点が存在する。また、被験者の中には天井照明を見つけられない被験者もいた。



図 14 上下の端が歪んでしまっているパノラマ画像

7. まとめと今後の展望

本研究では携帯端末の操作画面に全周囲パノラマ画像を用いることでより直感的に家電の遠隔制御を行うことが出来るシステムを開発した。ユーザ実験を通して、提案システムが特に画面タップ回数の観点で直感的に操作できることを示した。

今後の展望としては、LadyBug (全方向ビデオカメラ) 等を用いて部屋を撮影し、ユーザがその様子を確認できるようにすることを考えている。実際の部屋の様子がよりリアルタイムに把握できることから、ユーザへのフィードバックが本システムより十分に行われることになる。

また、Oculus Rift 等の HMD と組み合わせて、没入感の高い家電操作システムを構築することも今後の可

能性の一つと考えられる。例えば HMD を装着したユーザのジェスチャを認識することで家電を制御できれば、ユーザがその部屋の中にいるような感覚を提示させることができるであろう。

文 献

- [1] “iRemocon”. 株式会社グラモ.
<http://i-remocon.com/>
- [2] “ロボット家電 COCOROBO”. 株式会社 SHARP.
<http://www.sharp.co.jp/cocorobo/>
- [3] A. Sankar and S. Seitz. Capturing indoor scenes with smartphones. In Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology, UIST '12, pages 403-412, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [4] Jeffrey Nichols, Brad Myers, Thomas K. Harris, Roni Rosenfeld, and Mathilde Pignol. Generating remote control interfaces for complex appliances. In Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology, UIST '02. ACM, 2002.
- [5] Thomas Seifried, Michael Haller, Stacey D. Scott, Florian Perteneder, Christian Rendl, Daisuke Sakamoto, and Masahiko Inami. Cristal: a collaborative home media and device controller based on a multi-touch display. In Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '09, pages 33-40, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [6] K. Gill, Shuang-Hua Yang, Fang Yao, and Xin Lu. A zigbee-based home automation system. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 55, No.2, 2009.
- [7] Guangming Song, Fei Ding, Weijuan Zhang, and Aiguo Song. A wireless power outlet system for smart homes. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Volume:54, Issue: 4, 2008.
- [8] Yu-Ping Tsoul, Jun-Wei Hsieh, Cheng-Ting Lin, and Chun-Yu Chen. Building a remote supervisory control network system for smart home applications. In IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, SMC '06, pages 1826-1830, Taipei, 2006.
- [9] 福地健太郎, 杉本麻樹, Charith Fernando, Shengdong Zhao, 稲見昌彦, and 五十嵐健夫. Push-pin: ピン型タグを用いたホームオートメーションのためのプログラミングシステム. インタラクション 2010 論文集(情報処理学会シンポジウムシリーズ), Vol. 2010, No. 4, 2010.
- [10] 西川博志, 山本眞也, 玉井森彦, 西垣弘二, 木谷友哉, 柴田直樹, 安本慶一, and 伊藤実. 仮想空間を用いたスマートスペースアプリケーション向けシミュレータ. 情報処理学会論文, 2008.
- [11] R. Swaminathan, M. Nischt, and C. Kuhne. Localization based object recognition for smart home environments. In IEEE International Conference on Multi-media and Expo, pages 921-924, Hannover, 2008.