

貼りつけるだけで家具をインテリジェント化するデバイス

宮田 章裕^{1,a)} 有賀 玲子¹ 宮下 広夢¹ 佐藤 隆¹ 井原 雅行¹ 小林 透¹

概要: 本論文では, “家具をインテリジェント化するデバイス” を提案する. 家庭内の家具を操作したとき, 自動的に電子機能が実行されると暮らしが便利になると思われる. 例えば, 玄関のドアを開けたとき, 今から間に合う電車の発車時刻をユーザに提示する機能が実行されれば, ユーザはわざわざ電車の発車時刻を調べる手間が省ける. しかし, 既存技術でこれを実現するためには, ユーザが家庭内にも関わらず何らかのデバイスを装着したり, 特殊なジェスチャを行ったりしなくてはならない場合が多い. ユーザにとって利用しやすいシステムを実現するためには, 電子機能の発動や結果確認のためにコンピュータを明示的に意識・操作することなく, 普段どおりに家具を操作するだけで済むことが望ましい. 我々が提案する小型デバイスは, 加速度センサやスピーカなどを内蔵し, ユーザはこれを接着したドアなどの家具を普段どおりに使うだけで, デバイスから音声出力される電子機能の実行結果を確認できる. 家具は特殊なものである必要は無く, どの国の一般家庭にも数多く存在する可動家具 (引き出し, ドア, 郵便受けなど) に広く適用可能である. 電子機能を実行するためのトリガ操作 (ドアを開けるなど) をシステムに登録する方法も簡単であり, ユーザはトリガ操作を 1 回実行するだけでよい.

A Device to be Attached for Making Furniture Intelligent

AKIHIRO MIYATA^{1,a)} REIKO ARUGA¹ HIROMU MIYASHITA¹ TAKASHI SATO¹ MASAYUKI IHARA¹
TORU KOBAYASHI¹

Abstract: We propose a small device which realizes “**Intelligent Furniture**”. It would be convenient if a digital function automatically gets executed when users handle furniture. For example, executing the function which says train times when the door is opened allows users skip the step of checking the train schedule by themselves. Existing approaches can make this environment, but users were required to wear devices or use special gestures in their house. It is ideal for users that they are unconscious of the existence of computers and use furniture like they normally do it. Users can get the audio-output execution result of digital function by attaching the device, which contains an accelerometer and speaker, to furniture and use it as usual. Our system does not require special furniture, but supports *movable furniture* (e.g., drawer, door, mailbox) in homes all over the world.

1. はじめに

家庭内の家具を操作したとき, 自動的に電子機能が実行されると暮らしが便利になると思われる. 例えば, 玄関のドアを開けたとき, 今から間に合う電車の発車時刻をユーザに提示する機能が実行されれば, ユーザはわざわざ電車の発車時刻を調べる手間が省ける (図 1). あるいは, 洗濯機の蓋を開けたとき, この後の天気予報をユーザに提示す

る機能が実行されれば, ユーザは洗濯物を雨で濡らしてしまう危険を回避できる (図 2).

しかし, 既存技術でこれを実現することは難しい. 家庭内におけるユーザ行動を支援するホームコンピューティング技術はいくつか提案されているが, ユーザが家庭内にも関わらず何らかのデバイスを装着したり, 特殊なジェスチャを行ったりしなくてはならないものが多い. ユーザにとって利用しやすいシステムを実現するためには, 電子機能の発動や結果確認のためにコンピュータを明示的に意識・操作することなく, 普段どおりに家具を操作するだけで済むことが望ましい.

¹ 日本電信電話株式会社 NTT サービスエボリューション研究所
NTT Service Evolution Laboratories, NTT Corporation

^{a)} miyata.akihiro@lab.ntt.co.jp

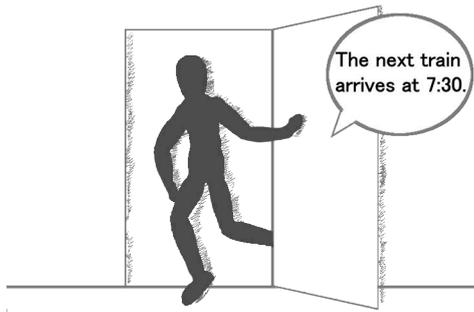


図 1 次の電車の時間を教えてくれるドア

Fig. 1 Door which says train times.



図 2 この後の天気予報を教えてくれる洗濯機

Fig. 2 Wash machine which says today's weather.

そこで我々は“家具をインテリジェント化するデバイス”を提案する。これは加速度センサやスピーカなどを格納した小型デバイスであり、ユーザはこれを接着したドアや洗濯機などの家具を普段どりに使うだけで、デバイスから音声出力される電子機能の実行結果を確認できる。家具は特殊なものである必要は無く、どの国の一般家庭にも数多く存在する可動家具（引き出し、ドア、郵便受けなど）に広く適用可能である。電子機能を実行するためのトリガ操作（ドアを開けるなど）をシステムに登録する方法も簡単であり、ユーザはトリガ操作を1回実行するだけでよく、機械学習ベースの既存技術に見られるように数十回トリガ操作を実行して教師データを作成する必要も無い。

本論文の貢献するところは、家庭内においてユーザがコンピュータを意識すること無くテクノロジーのメリットを享受できるシステムの一例を提案すること、および、システムの実現方式を示すことである。

2. ホームコンピューティング

コンピュータを使って、家庭内の設備や家そのものをインテリジェント化する試みは、Human-Computer Interaction (HCI) の分野において長きに渡りホットトピックであり、本研究の対象分野である。ここでは特に、センサを用いて家庭内のユーザの行為を推測する試みや、推測結果に基づいてユーザに適切なサービスを提供する試みを紹介する。

2.1 ユーザがデバイスを装着する事例

2.1.1 コンピュータ操作を意識する方式

この方式では、ユーザが専用デバイスを装着（把持を含む）し、コンピュータを操作するための特別な行為を行う。[1]では、ユーザが専用グローブを装着してジェスチャを行うと、システムが赤外線を用いてジェスチャ認識を行い、該当する家具操作（照明の明るさ調節、音楽プレイヤー操作など）が行われる。[2]では、ユーザが専用デバイスを把持してジェスチャを行うと、システムがデバイス上の加速度計の変化に基づいてジェスチャ認識を行い任意機能を実行できる。[3]では、RFIDリーダと加速度計を内蔵した腕輪デバイスを装着したユーザがRFIDタグを装着した日用品を持ってジェスチャを行うと、その日用品に関連する音声再生される。[4]では、ユーザが電磁気計を装着して家庭内の壁の近くでジェスチャを行うと、壁内配電線などが発する電磁気パターンに変化が生じ、システムが電磁気計の変化に基づいてジェスチャ認識を行い任意機能を実行できる。

2.1.2 コンピュータ操作を意識しない方式

この方式ではユーザが専用デバイスを装着するが、ジェスチャなどのコンピュータを操作するための特別な行為は行わない。[5]では、ユーザが、カメラ、マイク、加速度計を内蔵する腕輪デバイスを装着して日常生活の動作（コーヒーを淹れている、植木に水をやっているなど）を行うと、システムはデバイスから取得した画像、音声、加速度データに基づいてユーザの行動内容を推定する。

2.2 環境にデバイスを装着する事例

2.2.1 コンピュータ操作を意識する方式

この方式では、環境に専用デバイスを装着し、ユーザがコンピュータを操作するための特別な行為を行う。[6]では、導電性の家具に電圧変化センサを装着することで、システムはユーザが家具に対してどのようなハンドジェスチャを行ったか識別できる。例えば、金属製のドアノブを、触れていないのか、1本指で触れているのか、2本指で触れているのか、手全体で握っているのか識別できる。

2.2.2 コンピュータ操作を意識しない方式

この方式では、環境に専用デバイスを装着し、ユーザがジェスチャなどのコンピュータを操作するための特別な行為は行わない。[7]では、家庭内にセンサネットワークを構築することで、ユーザは家庭内で日常生活を送るだけで、システムはユーザが各時間においてシャワーを浴びているか、トイレに入っているか、眠っているか推測できる。[8]では、ドアや歯ブラシなどの家具・日用品に加速度計・温度計・マイクなどを搭載したセンサデバイスを装着することで、システムは家具・日用品に関するイベントを検出してブログ記事としてコンテンツ化する。彼らは同じ環境を利用して、ユーザが日用品を用いるだけで、それらに関連

する Web ページを自動検索する試みも行なっている [9] .

3. 家具をインテリジェント化するデバイスの提案

3.1 研究の目標

我々は、ユーザが専用デバイスを装着したりジェスチャを行ったりせずに、すなわち、コンピュータの存在を意識せずに家庭内で普段どおりに生活するだけで、テクノロジーのメリットを享受できるホーム ICT システムの構築を将来目標としている。

しかし、従来のホーム ICT システムは [10][11] で指摘されているように、既存の家屋であれば多くのセンサデバイスを新規導入する必要があること、新たにセンサデバイスを組み込んだ家屋を新規建設するにしても技術仕様が標準化されていないことなどを理由に、現実的にはユーザにとって導入障壁が高いものとなっており、現在広く普及しているとは言いがたい。

技術的観点から考えても、2 章で紹介した事例の多くはユーザにデバイス装着やジェスチャ修得の負荷を課すため、我々の将来目標を実現する手段にはならない。ユーザや日常品の動き検出に機械学習ベースのアプローチを採用するものも多く、ユーザは事前に数十回ジェスチャなどを実行して教師データを作成しておかなければならない。2.2.2 節の方式はユーザがデバイスを装着したりジェスチャを修得したりする必要が無い点で好ましいが、前記将来目標を実現するためにはより実用性・柔軟性を高める必要があると我々は考えている。

ユーザにとって利用しやすいシステムを実現するためにはインタラクションモデルの観点からの検討も重要である。ユーザが操作対象に対して命令を入力し、出力された結果を確認するインタラクションモデルを単純化すると図 3 のようになる。命令入力装置と操作対象が物理的に分離している場合は、ユーザには命令入力装置と操作対象の関連付けを把握するための知覚負荷が生じる。例えばテレビを操作したい場合、関連付けられているリモコンを把握しなければならない。同様に、結果出力装置と操作対象が物理的に分離している場合は、ユーザには結果出力装置と操作対象の関連付けを把握するための知覚負荷が生じる。例えば大量のサーバがあるデータセンターでラックコンソール上の出力内容を確認する場合、どのサーバの出力結果であるか把握しなければならない。知覚負荷を低減させるためには、命令入力装置、操作対象、結果出力装置が物理的に一体化していることが望ましい。

上記の検討から、将来目標を達成するためのステップとして、本研究では下記を研究の目標として設定する。

目標 1) 可動家具を普段どおりに操作するだけで電子機能が発動する：表 1 に示すように、ある一軸方向に平行移動する家具（引き出しなど）、および、垂直 / 水平軸を中心

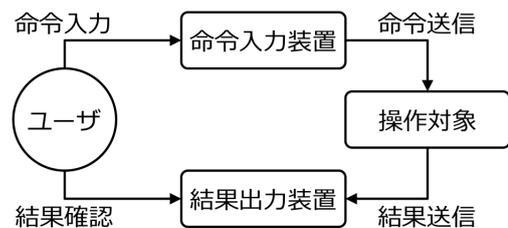


図 3 命令入力・結果確認のインタラクションモデル
Fig. 3 The input-output interaction model.

表 1 可動家具の例

Table 1 Examples of movable furniture.

一軸方向に 平行移動する家具	机・箆笥・食器棚・冷蔵庫の引き出し、 玄関・部屋・ベランダの引き戸、 押入れ、カーテンなど
垂直軸を中心に 回転移動する家具	玄関・部屋・洋棚・冷蔵庫の開き戸、 出窓、三面鏡など
水平軸を中心に 回転移動する家具	郵便受け・ポット・炊飯器・ 床下貯蔵庫の蓋など

に回転移動する家具（開き戸、郵便受けなど）はどの国の一般家庭にも数多く存在する。本研究ではこれらを可動家具と定義し、これらに対して特殊な操作（ジェスチャをする、音声で命令を発するなど）をししたり、何らかの命令入力装置を意識したりすることなく、普段どおりに操作（引き出しを開くなど）するだけで既定の電子機能が発動することを目指す。

目標 2) 電子機能発動時にもユーザはコンピュータの存在をできるだけ意識しない：電子機能の発動結果が、家具から離れたディスプレイやポケットの中のスマートフォンの画面に表示される場合、ユーザは家具を操作した後にそれらの画面を確認しなくてはならない。本研究では、離れたところにある画面などの結果出力装置を意識せずに電子機能の発動結果を確認できることを目指す。

目標 3) 導入するデバイスは最小 1 個である：家具操作を検知するためには何らかのセンサが必要であるが、家中にセンサネットワークを構築することが前提のシステムではユーザにとって導入障壁が高い。電子機能発動結果を表示する機器を用意することもユーザにとっては負担となる。現在多くのユーザが持っているスマートフォン上に結果を表示することも考えられるが、家庭内において老若男女が朝起きてから夜眠るまで肌身離さずスマートフォンを手にして生活しているとは考えにくい。本研究では、家庭内に少なくとも 1 個のデバイスがあればシステムが利用可能であることを目指す。

3.2 提案方式

我々は、下記特徴を持つ“家具をインテリジェント化するデバイス”を提案する。

特徴 1) 加速度センサを用いて可動家具の動きを検知す

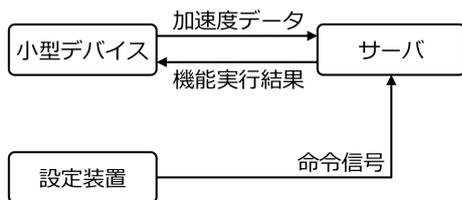


図 4 システム構成

Fig. 4 The system overview.

る：目標 1 を実現するため、可動家具が普段どおりに動かされたか否か、操作中の可動家具の加速度変化を計測・分析して判定する。これにより、ユーザはジェスチャや発話など、本来の家具操作に必要無い余計な行動をしなくて済む。操作検知に加速度変化を用いるのは、この方法がより多くの可動家具に適用可能だからである。例えば、引き出しを開いたことを検知するのであれば引き出し内部の照度変化（引き出しが開かれると内部は外光により明るくなる）を計測する方法も考えられるが、これでは陽が射すリビングのガラス戸を開いたことは検知できない。

特徴 2) 電子機能発動結果は音声出力で提供する：目標 2 を実現するため、電子機能を発動した結果はスピーカにて音声出力する。これにより、ユーザは機能発動結果を確認するためにわざわざコンピュータの画面を確認しなくて済む。音声出力の性質上、映像でなければ表現できないようなリッチな情報は提供できないが、本研究においてはユーザが極力コンピュータを意識せずに済むことを重視する。

特徴 3) センサ・スピーカ・通信モジュールを格納した小型デバイスを可動家具に接着する：目標 3 を実現するため、可動家具の操作検知に用いる加速度センサ、電子機能の発動結果出力に用いるスピーカ、センサデータを分析サーバに送信する通信モジュールを 1 つの小型デバイスに格納する。これにより、ユーザは 1 つの可動家具にこのデバイスを接着するだけで、家具を操作すると電子機能が発動する環境を構築できる。家具を改造せずにそのまま活用できるため、ユーザにとって導入障壁が低い。

特徴 1~3 を備えるシステムを構築することで目標 1~3 を実現できる。特筆すべきは、提案方式は図 3 において命令入力装置と操作対象と結果出力装置が物理的に一体化している点である。これにより、ユーザにとってはあたかも家具と直接インタラクションしているように感じられるモデルになっており、この小型デバイスを可動家具に接着した後はユーザはデバイスを意識する必要が無い。

4. 実装

図 4 に示すとおり、システムは小型デバイス、設定装置、サーバからなる。



図 5 開発中のデバイス

Fig. 5 The device under development.

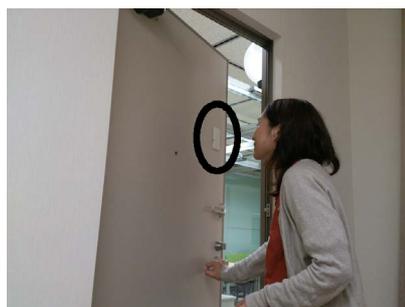


図 6 ドアにデバイスを接着した様子

Fig. 6 The device attached to the door.

4.1 小型デバイス

現在、我々は 3 軸加速度センサ、スピーカ、無線通信モジュールを搭載したデバイスを開発しており、長辺が 10cm 以下の薄いプレート型の筐体に収められるよう改良を進めている（図 5）。このデバイスは加速度データをサーバに送信し、サーバから機能実行結果を受け取った場合はその内容を音声出力する。可動家具にはマジックテープなどを用いて接着する（図 6）。

4.2 設定装置

小型デバイスを可動家具に接着した後、電子機能を発動させるトリガ操作と、発動する電子機能の種類を登録する装置である。トリガ操作は、ユーザが実際に可動家具を操作することで登録できる。具体的には、設定装置から操作登録開始信号をサーバに送信した後、ユーザが可動家具を実際に操作（例：引き出しを開く）し、設定装置から操作登録終了信号をサーバに送信する（4.3 節参照）。電子機能は、電車の時刻案内や天気予報などの種類を想定している（5 章参照）。設定装置は Web アプリケーションとして実装し、家庭内の PC、タブレット、スマートフォンなどで利用できる。

4.3 サーバ

サーバは、小型デバイスから受信する加速度データを分析し、トリガ操作とマッチする加速度変化を検知すると小型デバイスに機能実行結果を送信する。

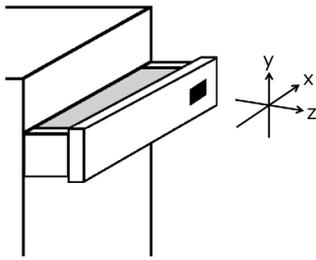


図 7 Drawer 型の可動家具
Fig. 7 Drawer type.

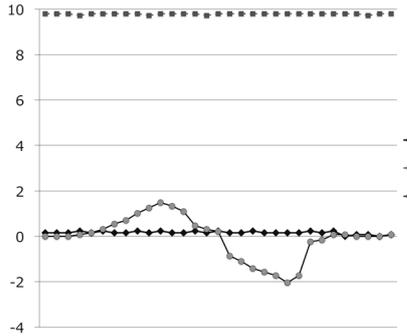


図 8 Drawer 型の加速度変化
Fig. 8 Acceleration data of Drawer type.

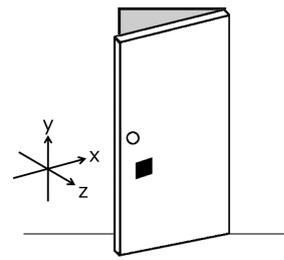


図 9 Door 型の可動家具
Fig. 9 Door type.

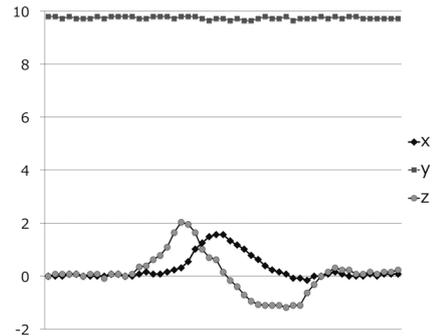


図 10 Door 型の加速度変化
Fig. 10 Acceleration data of Door type.

トリガ操作登録時は、設定装置から操作登録開始信号を受信してから操作登録終了信号を受信するまでの間に小型デバイスから受信した加速度データを記録する。このとき、トリガ操作を Drawer 型, Door 型, Mailbox 型のいずれかの型に分類する。

Drawer 型は、可動家具を一方向に平行移動させる操作を行った場合の操作信号パターンである。レールに沿って一方向に動く引き出し、引き戸などを操作した場合がこれに該当する。例えば、図 7 のように引き出しの前面に小型デバイス（黒塗りの部分）を装着したとする。加速度センサ^{*1}の検出軸は、引き出しの前面から見たとき、左から右の方向が x 軸正の方向、下から上の方向が y 軸正の方向、奥から手前の方向が z 軸正の方向とする。この状態で引き出しを手前方向に開いた場合、z 軸正の方向に向かって移動する直線運動において、静止状態から、加速、等速運動、減速、静止を行うことになり、図 8 のような加速度変化パターンが観測される。すなわち、x 軸成分はほとんど変化が無く、y 軸成分はほとんど変化が無く、z 軸成分は初期状態、単調増加、正の極大値、単調減少、負の極小値、単調増加、初期状態となる。

Door 型は、可動家具を垂直方向の軸を中心に回転移動させる操作を行った場合の操作信号パターンである。垂直方向の辺を蝶番で固定した開き戸、出窓、戸棚の戸などを操作した場合がこれに該当する。例えば、図 9 のように開き戸の前面に小型デバイスを装着したとする。加速度センサの検出軸は、開き戸の前面から見たとき、左から右の方向が x 軸正の方向、下から上の方向が y 軸正の方向、奥から手前の方向が z 軸正の方向とする。この状態で郵便受けを上方向に開いた場合、y 軸正の方向が向心力方向、z 軸正の方向が接線方向となる円運動において、静止状態から、加速、等速運動、減速、静止を行うこととなる。

向が x 軸正の方向、下から上の方向が y 軸正の方向、奥から手前の方向が z 軸正の方向とする。この状態で開き戸を手前方向に開いた場合、x 軸正の方向が向心力方向、z 軸正の方向が接線方向となる円運動において、静止状態から、加速、等速運動、減速、静止を行うことになり、図 10 のような加速度変化パターンが観測される。すなわち、x 軸成分は初期状態、単調増加、正の極大値、単調減少、初期状態となり、y 軸成分はほとんど変化が無く、z 軸成分は初期状態、単調増加、正の極大値、単調減少、負の極小値、単調増加、初期状態となる。

Mailbox 型は、可動家具を水平方向の軸を中心に回転移動させる操作を行った場合の操作信号パターンである。水平方向の辺を蝶番で固定した郵便受けの蓋、床下貯蔵庫の蓋などを操作した場合がこれに該当する。例えば、図 11 のように郵便受けの前面に小型デバイスを装着したとする。加速度センサの検出軸は、郵便受けの前面から見たとき、左から右の方向が x 軸正の方向、下から上の方向が y 軸正の方向、奥から手前の方向が z 軸正の方向とする。この状態で郵便受けを上方向に開いた場合、y 軸正の方向が向心力方向、z 軸正の方向が接線方向となる円運動において、静止状態から、加速、等速運動、減速、静止を行うこととなる。ただし、郵便受けを開く前は y 軸正の方向に $9.8m/s^2$ で働いていた重力加速度の影響が、郵便受けを開くにつれて z 軸正の方向に移っていくため、図 12 のような加速度変化パターンが観測される。すなわち、x 軸成分はほとんど変化が無く、y 軸成分は $9.8m/s^2$ 付近から 0 付近に変化

*1 ここで用いる加速度センサは重力加速度の影響を受け、静止状態で上向きに $9.8m/s^2$ の値を示すものとする。

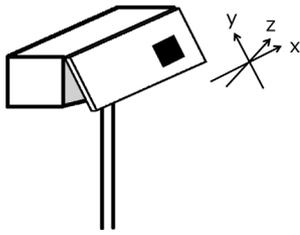


図 11 Mailbox 型の可動家具
Fig. 11 Mailbox type.

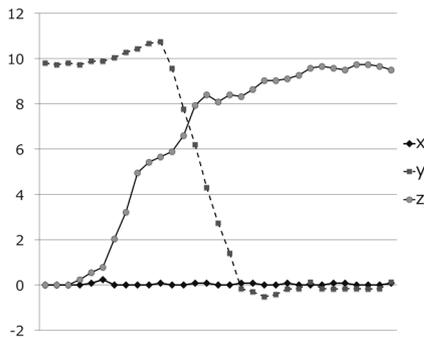


図 12 Mailbox 型の加速度変化
Fig. 12 Acceleration data of Mailbox type.

し、z 軸成分は 0 付近から $9.8m/s^2$ 付近に変化する。

トリガ操作登録後は、小型デバイスから受信する加速度データがトリガ操作とマッチするか監視し続ける。Dynamic time warping[12]を用いることで、トリガ操作登録時よりも速い/遅い速度で可動家具を動かしてもマッチングが可能である。さらに、トリガ操作登録時に判定した型においてほとんど変化しないはずの軸のデータを無視することでマッチングのロバスト性を高めている。例えば、図 7 の引き出しを開ける場合は本来 x 軸と y 軸は大きく変化しないはずであるが、可動家具には“あそび”があるため開け方によっては x 軸 / y 軸に加速度変化が生じてしまうことも少なくない。x 軸と y 軸の加速度データを無視することでこの影響を受けずに正確にマッチングを行える。

トリガ操作とマッチする加速度データを検知した場合、すなわち、ユーザがトリガ操作と同じ操作を可動家具に対して行った場合、設定装置で登録した機能を実行し、実行結果を小型デバイスに送信する。

5. アプリケーション

提案方式により、一般家庭内にある既存の可動家具をインテリジェント化でき、暮らしを便利にするアプリケーションが数多く実現可能である。例えば、トリガ操作として玄関のドアを開ける操作、機能として最寄り駅を既定時間後に発車する電車の時刻案内を登録すると、外出時に開けるだけで今から間に合う電車の発車時刻を教えてくれるドアが実現でき、ユーザはわざわざ電車の発車時刻を調べる手間が省ける(図 1)。あるいは、トリガ操作として洗濯

機の蓋を開ける操作、機能として既定時間後の天気予報を登録すると、洗濯をしようと蓋を開けるだけでこの後の天気予報を教えてくれる洗濯機が実現でき、ユーザは洗濯物を雨で濡らしてしまう危険を回避できる(図 2)。

6. おわりに

本論文では、家具を普段どおりに操作するだけで暮らしを便利にする機能が発動する環境を容易に構築可能な家具をインテリジェント化するデバイスを提案した。導入障壁を下げるために、ユーザはコンピュータ操作を意識する必要が無いインタラクションモデルを採用し、最小 1 個のデバイスだけで利用可能なようにシステムをデザインした。今後はデバイスの小型・軽量化、家具操作の検出精度の検証、提案システムに対するユーザ評価を行う方針である。

参考文献

- [1] Rahman, Hossain, Parra and Saddik: Motion-path Based Gesture Interaction with Smart Home Services, Proc. of MM'09 (2009).
- [2] Liu, Wang and Zhong: uWave: Accelerometer-based Personalized Gesture Recognition and Its Applications, Proc. of PerCom2009 (2009).
- [3] Feldman, Tapia, Sadi, Maes and Schmandt: ReachMedia: On-the-move Interaction with Everyday Objects, Proc. of ISWC2005 (2005).
- [4] Gabe, Morris, Patel and Tan: Humantenna: Using the Body as an Antenna for Real-time Whole-body Interaction, Proc. of CHI'12 (2012).
- [5] Maekawa, Yanagisawa, Kishino, Ishiguro, Kamei, Sakurai, and Okadome: Object-based Activity Recognition with Heterogeneous Sensors on Wrist, Proc. of Pervasive 2010 (2010).
- [6] Sato, Poupyrev and Harrison: Touché: Enhancing Touch Interaction on Humans, Screens, Liquids, and Everyday Objects, Proc. of CHI'12 (2012).
- [7] Kasteren, Noulas, Englebienne and Kröse: Accurate Activity Recognition in a Home Setting, Proc. of UbiComp'08 (2008).
- [8] Maekawa, Yanagisawa, Kishino, Kamei, Sakurai and Okadome: Object-Blog System for Environment-Generated Content, IEEE Pervasive Computing, Vol.7 Issue 4, pp.20-27 (2008).
- [9] Maekawa, Yanagisawa, Sakurai, Kishino, and Okadome: Context-aware Web Search in Ubiquitous Sensor Environments, ACM Transactions on Internet Technology, Vol.11 Issue 3, No.12 (2012).
- [10] Tokuda: Smart Furniture: A Platform for Context-aware Embedded Ubiquitous Applications, Proc. of EM-SOFT'04 (2004).
- [11] Hinze, Sachs and Buchmann: Event-based Applications and Enabling Technologies, Proc. of DEBS'09 (2009).
- [12] Myers and Rabiner: A Comparative Study of Several Dynamic Time-warping Algorithms for Connected Word Recognition, The Bell System Technical Journal, Vol.60 No.7, pp.1389-1409 (1981).