

家具をインテリジェント化するデバイスの実装と評価

宮田 章裕^{1,a)} 有賀 玲子¹ 宮下 広夢¹ 柳沢 豊² 佐藤 隆¹ 井原 雅行¹ 小林 透^{1,b)}

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”を提案し、検証実験の結果を報告する。家庭内の家具を操作したとき、自動的に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、機能の実行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。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。検証実験の結果、提案手法は既存手法よりも高精度にトリガ操作を検出できた。

An Implementation and Evaluation of a Device to be Attached for Making Furniture Intelligent

AKIHIRO MIYATA^{1,a)} REIKO ARUGA¹ HIROMU MIYASHITA¹ YUTAKA YANAGISAWA² TAKASHI SATO¹
MASAYUKI IHARA¹ TORU KOBAYASHI^{1,b)}

1. はじめに

家庭内の家具を普段どおりに操作するだけで、生活をサポートする機能が必要なタイミングで自動的に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、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。

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おりに使うだけで、デバイスから音声出力される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

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

² 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所
NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation

a) miyata.akihiro@lab.ntt.co.jp

b) 現在、長崎大学大学院工学研究科

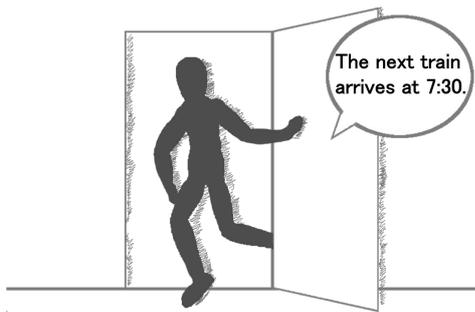


図 1 次の電車の時間を教えてくれるドア

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.

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、検証実験により提案手法の有効性と今後の課題を示すことである。

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、生活をサポートする機能が自動的に実行されるシステムの構築を将来目標としている。しかし、次の問題1)~3)のために既存技術でこれを実現することは難しい。

問題1) システムに機能実行指示を入力するためには、ユーザは普段と異なる行動をしなくてはならない：既存技術においてシステムに機能実行指示を入力するためには、ユーザは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(2章参照)。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。

問題2) システムが出力した実行結果を確認するためには、ユーザは普段と異なる行動をしなくてはならない：実行結果をスマートフォンに提示する既存システムが多いが、この場合、ユーザは宅内においてもスマートフォンを肌身離さず持ち歩かなければならないし、機能が実行されるたびにポケットからスマートフォンを取り出して画面を確認しなければならない。

問題3) 家庭内への導入にかかるコストが大きい：現時点では家庭内にセンサが張りめぐらされたシステムは一般に普及していないために金銭的成本が高く、多くのユーザにとって導入は現実的ではない。自ら家中にセンサを設置することも、作業コストの高さから一般ユーザにとって現実的とは言いがたい[10][11]。

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機能が

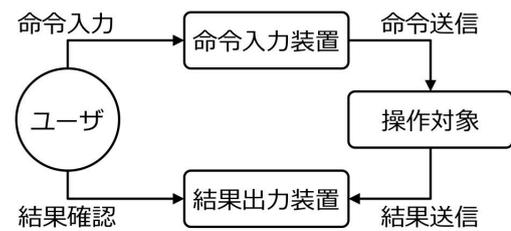


図3 命令入力・結果確認のインタラクションモデル
Fig. 3 The input-output interaction model.

実行される環境の実現：表1に示すように、ユーザがある一軸方向に平行移動させる家具(引き出しなど)、および、垂直/水平軸を中心に回転移動させる家具(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。本研究ではこれらのユーザが動かす家具を可動家具と定義し、これらに対してユーザが特殊な操作(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、システムがこの操作をトリガ操作として検出して既定の機能を自動的に実行することを目指す。このとき、トリガ操作は、ユーザがシステムに1回教示するだけで済むようにする。

目標2) 機能実行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：機能の実行結果が、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機能の実行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る：目標1を実現するため、一般家庭に多く存在する可動家具の操作時に発生する特徴的な加速度パターンを用いて、トリガ操作が行われたか否か判定する(5章)。このアプローチにより、検出対象操作の教師データを1つ得るだ

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

けで、該当操作を高精度・高ロバストに検出することが可能になる。これにより、ユーザは普段どおりの家具操作をトリガ操作としてシステムに1回教示するだけで、システムはトリガ操作を正しく検出して機能を実行できる。

特徴2) 電子機能実行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、ユーザは機能実行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. システム構成

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。

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

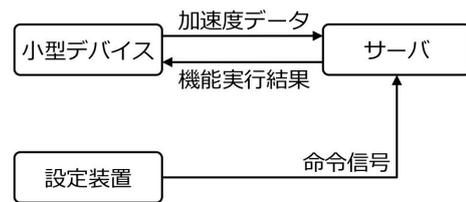


図 4 システム構成

Fig. 4 The system overview.



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.

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)。電子機能としては、電車の時刻案内や天気予報など、トリガ操作の後にユーザが必要とする情報の提供を想定している(6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。

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し、5.1節のアルゴリズムを用いてトリガ操作の加速度パターンを抽出する。

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の加速度パターンとマッチするかどうか5.2節のアルゴリズムを用いて監視し続ける。トリガ操作とマッチする加速度パターンを検知した場合、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. アルゴリズム

通常、物体の動きにともなう生じる加速度データのマッチングを行う際には、3軸(x軸, y軸, z軸)の加速度変化から特徴的なパターンを抽出して、これをマッチングのための特徴量として用いる。しかし、物体の動きに制約条件が少ない場合(例: 把持して自由自在に振り回せる)、精度良くマッチングを行うためには一定数の教師データが必要となり、トリガ操作の教示を1回のみとすることは困難である。表1に示した可動家具の動きには制約条件がある場合が多い(例: 引き出しは決まった方向にしか開かない)が、この制約条件をユーザが手動でシステムに入力することは、システムの利便性を大きく損ねる。

そこで、提案システムは5.1節に示す加速度パターン抽出アルゴリズムを用いて、ユーザが操作している可動家具の動きの制約条件を推定し、その制約条件に基づいて加速度変化の特徴的なパターンを抽出する。そして、抽出したパターンと5.2節に示す加速度パターンマッチングアルゴリズムを利用して、トリガ操作とマッチする加速度変化を検知する。以降、詳細を示す。

5.1 加速度パターン抽出アルゴリズム

我々は、家庭内の家具について検討を行い、操作家具に対する操作の多くは表1に示すように、ユーザがある一軸方向に平行移動させる操作(引き出しを開くなど)、垂直軸を中心に回転移動させる操作(開き戸を開くなど)、水平軸を中心に回転移動させる操作(郵便受けの蓋を開くなど)に分類できると考え、それぞれの操作時に家具に発生する特徴的な加速度変化タイプをDrawer型, Door型, Mailbox型と定義した。

Drawer型は、可動家具を一方方向に平行移動させる操作を行った場合の加速度変化タイプである。レールに沿って一方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。ここでは、図7のように引き出しの前面に加

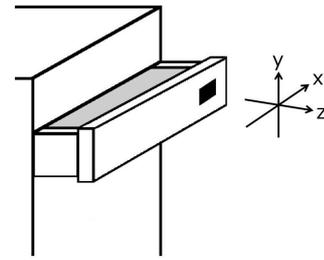


図7 Drawer型の可動家具
Fig. 7 Drawer type.

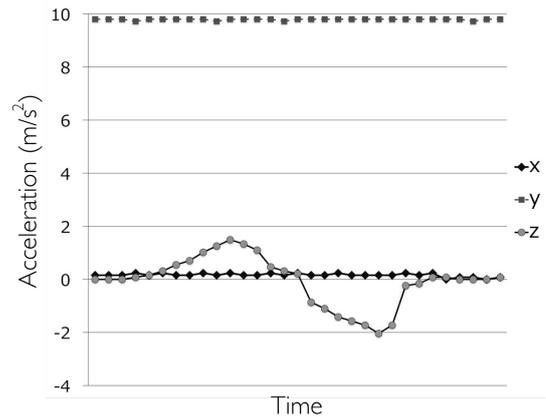


図8 Drawer型の加速度変化
Fig. 8 Acceleration behavior of Drawer type.

速度センサを装着した場合を考える。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が観測される。この加速度変化の特徴は、x軸成分、y軸成分に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、初期状態となる点である。引き出しを閉める場合や、加速度センサの検出軸の方向が逆である場合を想定して加速度変化の特徴を一般化すると、Drawer型の加速度変化は表2のように表せる。なお、A-C軸はそれぞれx-z軸のいずれかに対応する。

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加速度変化タイプである。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。ここでは、図9のように開き戸の前面に加速度センサを装着した場合を考える。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

^{*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。

表 2 Drawer 型の加速度変化

Table 2 Acceleration behavior of Drawer type.

	特徴	特徴軸
DR1	A 軸が, 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, 初期状態と変化する. B 軸, C 軸はほとんど変化しない.	A 軸
DR2	A 軸が, 初期状態, 単調減少, 負の極小値, 単調増加, 正の極大値, 単調減少, 初期状態と変化する. B 軸, C 軸はほとんど変化しない.	A 軸

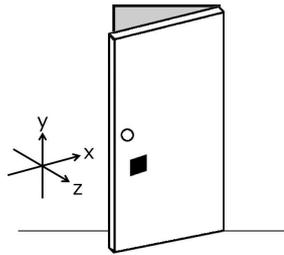


図 9 Door 型の可動家具
Fig. 9 Door type.

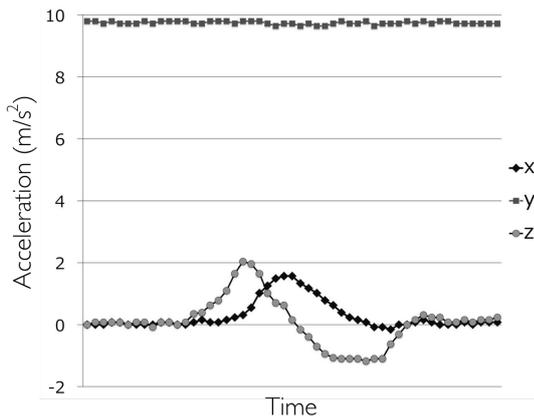


図 10 Door 型の加速度変化

Fig. 10 Acceleration behavior of Door type.

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が観測される. この加速度変化の特徴は, 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, 初期状態となる点である. 開き戸を閉める場合などを想定して加速度変化の特徴を一般化すると, Door 型の加速度変化は表 3 のように表せる.

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加速度変化タイプである. 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. ここでは, 図 11 のように郵便受けの前面に加速度センサを装着したと

表 3 Door 型の加速度変化

Table 3 Acceleration behavior of Door type.

	特徴	特徴軸
DO1	A 軸が, 初期状態, 単調増加, 正の極大値, 単調減少, 初期状態と変化する. B 軸が, 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, 初期状態と変化する. C 軸はほとんど変化しない.	A 軸, B 軸
DO2	A 軸が, 初期状態, 単調増加, 正の極大値, 単調減少, 初期状態と変化する. B 軸が, 初期状態, 単調減少, 負の極小値, 単調増加, 正の極大値, 単調減少, 初期状態と変化する. C 軸はほとんど変化しない.	A 軸, B 軸
DO3	A 軸が, 初期状態, 単調減少, 負の極小値, 単調増加, 初期状態と変化する. B 軸が, 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, 初期状態と変化する. C 軸はほとんど変化しない.	A 軸, B 軸
DO4	A 軸が, 初期状態, 単調減少, 負の極小値, 単調増加, 初期状態と変化する. B 軸が, 初期状態, 単調減少, 負の極小値, 単調増加, 正の極大値, 単調減少, 初期状態と変化する. C 軸はほとんど変化しない.	A 軸, B 軸

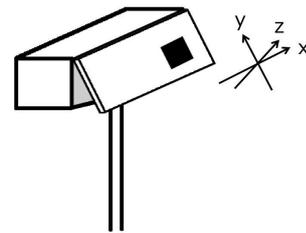


図 11 Mailbox 型の可動家具
Fig. 11 Mailbox type.

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, 静止を行うことになる. 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が観測される. この加速度変化の特徴は, 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 付近に変化し, z 軸成分は 0 付近から $9.8m/s^2$ 付近に変化する点である. 郵便受けを閉める場合などを想定して加速度変化の特徴を一般化すると, Mailbox 型の加速度変化は表 4 のように表せる.

本アルゴリズムでは, 入力された 3 軸の加速度データを分析して, 加速度変化が DR1-2, DO1-4, M1 のどのタイプであるか判定し, 各タイプにおける特徴軸の加速度デー

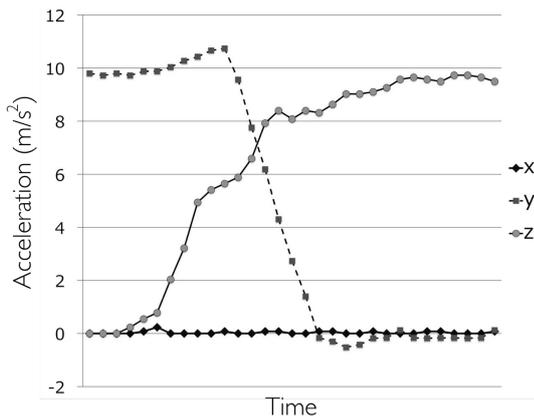


図 12 Mailbox 型の加速度変化

Fig. 12 Acceleration behavior of Mailbox type.

表 4 Mailbox 型の加速度変化

Table 4 The acceleration behavior of Mailbox type.

	特徴	特徴軸
M1	A 軸が、 $9.8m/s^2$ 付近から 0 付近に変化する。 B 軸が、0 付近から $9.8m/s^2$ 付近に変化する。 C 軸はほとんど変化しない。	A 軸, B 軸

タを加速度パターンとして出力する。

5.2 加速度パターンマッチングアルゴリズム

随時発生する 3 軸の加速度データと、5.1 節で出力した特徴軸の加速度パターンとのマッチング結果を出力するためのアルゴリズムである。

パターンマッチング方法には Dynamic time warping[12]を用いる。これにより、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ける特徴軸のみを用いてマッチングを行い、特徴軸以外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の加速度変化は DR1 であり、z 軸が特徴軸である。本来、特徴軸以外の 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。この 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。

6. 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)。

我々は上記アプリケーションのコンセプトデモを [13] にて展示し、研究者および一般来場者から好評を得た。

7. 評価実験

7.1 実験概要

この実験の目的は、“家具をインテリジェント化するデバイス”の利便性に大きな影響を与えるトリガ操作検出アルゴリズムの精度を検証することである。具体的には、可動家具に加速度センサ (Android 端末) を取り付け、被験者 13 名にトリガ操作をしてもらい、トリガ操作検出の精度を測定する。

7.2 実験方法

Drawer 型の可動家具として袖机 (図 13)、Door 型の可動家具として防音室 (図 14)、Mailbox 型の可動家具として郵便箱 (図 15) を用意した。袖机は引き出し、防音室はドア、郵便箱は蓋が可動であり、“開ける”と“閉じる”という操作が行える。各家具は自重により可動部分を操作しても家具全体が大きく動いてしまうことは無い。各家具の可動部分には、各図中の丸印の位置に、加速度測定アプリケーションをインストールした Android 端末をマジックテープで装着した。加速度測定アプリケーションは我々が実装したものであり、x 軸・y 軸・z 軸方向の加速度を測定し続ける。サンプリング間隔は約 60 ミリ秒であった。

被験者 13 名 (20 代~40 代の男性 11 名、女性 2 名) は、各家具の可動部分に対して、“開ける”と“閉じる”の操作を 10 回ずつ行う。順序効果を相殺するため、被験者が操作する家具 (袖机、防音室、郵便箱) の順番はランダムとした。

精度測定は“開ける”操作の検出について行なった。具体的には、1 回の“開ける”操作を教師データ、残りの“開ける”操作と“閉じる”操作の集合をテストデータとし、“開ける”操作を検出する精度の測定を下記 2 とおりの方法で行なった。

方法 1) 被験者ごとに測定：被験者ごとに、1 回の“開ける”操作を教師データ、残り 9 回の“開ける”操作と 10 回の“閉じる”操作をテストデータとする交差検定を実施。

方法 2) ユーザ横断的に測定：全被験者の操作データ (“開ける”操作と“閉じる”操作 130 回ずつ) をマージし、1 回の“開ける”操作を教師データ、残り 129 回の“開ける”操作と 130 回の“閉じる”操作をテストデータとする交差検定を実施。



図 13 袖机

Fig. 13 A desk with drawers.



図 15 郵便箱

Fig. 15 A mailbox.



図 14 防音室

Fig. 14 A small room.

提案手法は、教師データの加速度変化から 5.1 節のアルゴリズムにて加速度パターンを抽出する。この加速度パターンと 5.2 節のアルゴリズムを用いて、テストデータから教師データとマッチするものを検出する。

ベースライン手法として、5.1 節のアルゴリズムを用いず、3 軸すべての加速度変化を利用してパターンマッチングを行う方法を設定した。加速度パターンのマッチングには提案手法と同じく 5.2 節のアルゴリズムを用いる。

7.3 実験結果

ユーザごとに測定した F 値の平均値を図 16 に示す。Drawer 型、Door 型、Mailbox 型の各型において、提案手法は 0.89, 0.93, 0.96 であり、ベースライン手法は 0.84, 0.81, 0.72 であった。1%水準で t 検定を行うと、各型において提案手法とベースライン手法に有意差が認められた。

ユーザ横断的に測定した精度を図 17 に示す。Drawer

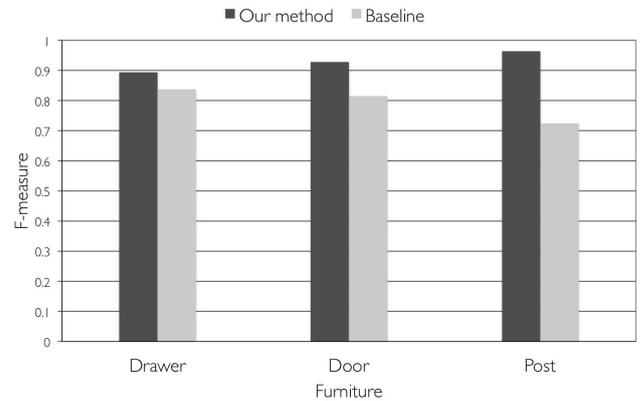


図 16 F 値 (ユーザごとに測定, N = 13)

Fig. 16 F-measure (Per-user, N = 13).

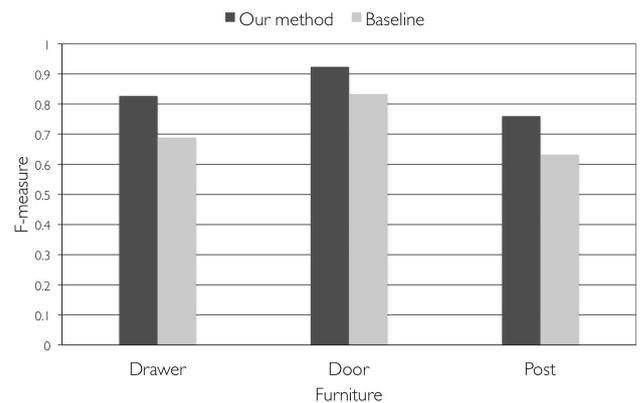


図 17 F 値 (ユーザ横断的に測定)

Fig. 17 F-measure (Cross-user).

型、Door 型、Mailbox 型の各型において、提案手法は 0.82, 0.92, 0.76 であり、ベースライン手法は 0.69, 0.83, 0.63 であった。

7.4 考察

まず、ユーザごとに測定した場合の結果 (図 16) について考察する。各型において提案手法がベースライン手法を上回ったのは、加速度パターン抽出アルゴリズムの効果によるものだと考えられる。提案手法では、加速度変化が DR1-2, DO1-4, M1 のどのタイプであるか自動判定し、特徴軸の加速度パターンのみを抽出してマッチングに利用する。これにより、引き出し、ドア、蓋を持つ“あそび”や家具のガタツキに起因するノイズの影響を受けず、精度よくマッチングが行えたと思われる。実際、いくつかの加速度データを確認したところ、家具の操作方向とは異なる方向に不規則に加速度が生じる現象が認められた。例えば、引き出しを手前に開く操作であるにも関わらず、上下方向の加速度変化が発生しているケースがあった。提案手法はこの不規則に発生する加速度の影響を受けにくい、ベースライン手法は大きく影響を受けて F 値が低下したものと考えられる。

次に、ユーザ間で測定した場合の結果 (図 17) について考察する。この場合も、加速度パターン抽出アルゴリズムの効果により、各型において提案手法がベースライン手法を上回ったと考えられる。ここで特筆すべきは、あるユーザのトリガ操作から抽出した加速度パターンを用いて、他のユーザのトリガ操作を検出するタスクにおいても、提案手法はベースライン手法を上回っている点である。これは、1つの家具を複数人が共同利用するシーンにおいても、提案手法はベースライン手法よりも有効であることを示唆している。例えば、提案手法を用いて、蓋を開けると天気予報を教えてくれる洗濯機 (6章) を実現する場合、親が蓋を開けるトリガ操作をシステムに1回教示すれば、子が蓋を開けてもシステムは精度良くそのトリガ操作を検出することができる。利用用途にもよるが、家庭内よりも大勢のユーザが1つの家具を共同利用するケース、例えば、公共設備のドアなどに適用できる可能性もある。

今後検証すべき項目として、ユーザ受容性が挙げられる。本実験により、トリガ操作の検出精度において、提案手法がベースライン手法を上回ったことは確認できたが、6章のようなアプリケーションを実現するにあたり十分な精度であるか否かは未検証である。また、これらのアプリケーションのコンセプトは [13] の展示では好評であったが、実生活にて利用した場合にユーザに受け入れられるか否かも十分に確認できておらず、今後検証が必要であると考えている。

8. 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。家具の動きの制約条件を自動推定して特徴軸の加速度パターンのみをマッチングに利用するアルゴリズムを構築し、高精度なトリガ操作検出を実現した。今後はデバイスの小型・軽量化、ユーザ受容性の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).
- [13] 宮田, 有賀, 宮下, 佐藤, 井原, 小林: 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, 情報処理学会インタラクション 2013 インタラクティブセッション (2013).