

Use It Once, Then Use It As Usual : 家具の動作制約を利用したモーションマッチング手法

宮田 章裕^{1,a)} 有賀 玲子¹ 望月 崇由¹ 井原 雅行¹ 山田 智広¹

受付日 2015年4月6日, 採録日 2015年10月2日

概要: 本稿では, 家具が元々持っている動作制約を利用することで, 1つのトレーニングデータからロバストに家具の動きを判定できるモーションマッチング手法を提案する. 本手法により, ユーザはデバイスを装着/把持したりジェスチャを行ったりする必要はなく, 小型デバイスを貼り付けた家具をいつもどおりに使うだけで, 暮らしを支援するサポート機能が実行されるようになる. たとえば, 玄関のドアに我々の小型デバイスを貼り付けると, ユーザが外出時にドアを開けるだけで天気予報が音声通知されるため, スマートフォンなどを操作して自ら天気予報を確認する手間が省ける. このアプローチは特殊な家具を必要とせず, すでに世界中の各家庭にある動く家具に対して適用可能である. 検証実験では, 本手法が比較手法よりも高精度に家具操作を検出できることを確認できた.

キーワード: インテリジェント家具, インタラクション, センサ, 非ウェアラブル

Use It Once, Then Use It As Usual: A Furniture Motion Matching Method Using Inherent Restrictions

AKIHIRO MIYATA^{1,a)} REIKO ARUGA¹ TAKAYOSHI MOCHIZUKI¹ MASAYUKI IHARA¹
TOMOHIRO YAMADA¹

Received: April 6, 2015, Accepted: October 2, 2015

Abstract: We propose a furniture motion matching method that supports daily life with its practicality by a single training motion and regular use. We construct a model of furniture motion that requires only a single training step by utilizing the restrictions inherent in furniture motion. Users are not required to wear/grasp devices or making gestures, but just use furniture as usual. For example, attaching our small device to front the door allows the user to receive a weather forecast for today; the user can forgo the usual manual check. Our system does not need special furniture, only *movable furniture*, which already exist in homes all over the world. Experiments have confirmed that the proposed method yields higher quality motion matching than the baseline method.

Keywords: intelligent furniture, interaction, sensor, non-wearable

1. はじめに

日々の生活を観察すると, 毎日繰り返される行動 (ADLs: Activities of Daily Living) が非常に多いことに気付く. 目覚まし時計を止め, 冷蔵庫から飲み物を出して飲み, クローゼットを開けて服を選び, 玄関のドアを開けて職場や

学校へ向かう. 家庭内にいるユーザを支援するシステムを設計する際, これらの ADLs を機能実行のトリガとすることで, ユーザは現在の行動を変化させなくても機能実行によるメリットを享受できると考えられる.

しかし, 既存技術でこれを実現することは困難である. 家庭内のユーザを支援するホームコンピューティング技術は数多く提案されているが, ユーザがデバイスを装着しなければならない, ジェスチャを覚えなければならない, 家具を大きく改造しなければならないといった制約があった.

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,
Yokosuka, Kanagawa 239-0847, Japan

a) miyata.akihiro@gmail.com

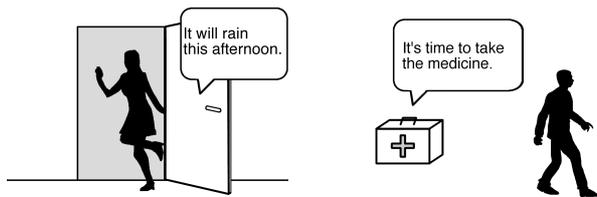


図 1 アプリケーション例
Fig. 1 Usage examples.

上記問題に鑑み、我々は貼り付けるだけで家具をインテリジェント化するデバイスというコンセプトを提案し、技術・サービスデザインの両面から検討を進めている [1], [2], [3]. これは、小型デバイスを貼り付けると家具がインテリジェント化し、家具をいつでもどおり使うだけで、暮らしを支援するサポート機能が実行されるというものがある。たとえば、家を出ようとして開くと今日の天気を教えてくれるドア (図 1 左) や、決まった時間に開けていないと薬の飲み忘れを教えてくれる薬箱 (図 1 右) を想定している。このコンセプトで重要視しているのは、低 ICT リテラシのユーザにも簡単にシステム導入・利用ができることである。上記の例であれば、“ドアを開ける”や“薬箱を開ける”という家具操作をサポート機能実行のトリガとしてシステムに登録する必要があるが、ユーザがこれらの家具操作を1回だけ行ってシステムに登録すれば、システムはユーザが行う同じ家具操作を高精度に検出できることが望ましい。

このコンセプトを実現するために、我々は家具が元々持っている動作制約を利用することで、1つのトレーニングデータからロバストにテストデータをマッチングできる家具操作マッチング手法を考案した。この手法では、家具の動きの大局的な合致性を判定しているため、ユーザはシステムを気遣って慎重に家具を操作する必要はなく、いつでもどおりに操作すればよい。本稿の貢献を以下に示す。

- ユーザがいつでもどおり生活するだけでサポート機能が実行されるシステムコンセプトの提案
- 多くの家具に適用でき、1つのトレーニングデータで高精度に家具操作マッチング可能な手法の考案と評価以降、2章で関連研究を紹介する。3章でシステムコンセプトを提案し、4章で技術課題を解決するための家具操作マッチング手法について、5章でプロトタイプの実装について述べる。6, 7章で家具操作マッチング手法の精度を検証し、8章で本稿の結論を述べる。

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 の分野において長きにわたりホットピックである。ここでは、家庭内のユーザの行動をトリガにしたサービス実行

を目指す事例や、これに利用可能な事例を紹介する。

2.1 ユーザがデバイスを装着する事例

この方式では、ユーザが専用デバイスを装着し、コンピュータを操作するための特別な行為を行う。赤外線を用いたジェスチャ認識システム [4] 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、該当する家具操作 (照明の明るさ調節など) ができる。同様のアプリケーションは、他の腕・指装着型デバイス [5], [6], [7] でも実現できる。ReachMedia [8] は、ユーザがどの日用品を持ったか判定する RFID リーダ内蔵の腕輪型デバイスである。このデバイスは加速度計も内蔵しており、ユーザが日用品を把持した状態でハンドジェスチャを行うと、ジェスチャ・日用品に対応する機能 (例: 日用品に関連する音声を再生) を実行できる。Humantenna [9] は、ユーザが装着した電磁気計で家庭内の壁内配電線が発する電磁気パターンの変化を計測し、ユーザの全身ジェスチャを検出して対応する機能を実行する。BodyScope [10] は、マイクロフォンベースのウェアラブルデバイスであり、ユーザ行動を計測・認識することでコンテキストに対応したアプリケーションを実行する用途に利用可能である。uWave [11] は、ユーザが把持するデバイス内の加速度計のデータを分析し、ジェスチャベースのユーザ認証・インタラクションを実現できる。加速度マッチングに関しては、トレーニングデータのラベル付けの負担を減らす試みがいくつか行われている [12], [13], [14], [15].

2.2 環境にデバイスを設置する事例

この方式では、環境に専用デバイスを設置し、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。MouseField [16] は、RFID タグを装着した日用品 (CD など) を、RFID リーダと動きセンサからなる読み取り装置上に置いて動かすことで規定の機能 (CD 再生など) を実行する。Touché [17] は、導電性の家具に電圧変化センサを設置することで、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する。たとえば、金属製のドアノブを1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。WorldKit [18] は、深度カメラとプロジェクタを用いて、ハンドジェスチャを行った場所に照明などを操作するための2次元 GUI を動的に生成する。StickEar [19] は、家庭内の壁面などに貼り付けて用いる音声入出力機能付きセンサノードであり、音声イベントを検出すると既定のアプリケーションを実行する。いくつかのセンサ付きクローゼットシステム [20], [21] は、ユーザがそれを開けると服装コーディネートを支援する機能を持つ。Scratch Input [22] は、どの壁がスクラッチされたか聴診器を用いて判定するシステムであり、壁面を入力装置として利用できる。Mediacup [23], [24] はユーザコンテキストを推測す

る試みであり、Smart-Its プロジェクト [25] へと発展した。Smart-Its では、日用品にセンサが装着されており、ユーザはセンサイベントをトリガとするアプリケーションを利用できる。いくつかのホームセンシングシステムやユビキタス実験住宅 [26], [27], [28], [29], [30], [31] では、家庭内に各種センサ、カメラ、マイクなどが設置されており、収集したデータに基づいて ADLs を推定したり、ユーザのジェスチャやボイスコマンドをシステムが検知したりして機能を実行する試みが行われている。家庭内 ADLs 推定には大量のセンサデータが必要となるため、機械学習で用いるラベル付きセンサデータを異なる家庭間で共有する試みも行われている [32]。Object-Blog システム [33] は、日用品（ハブラシ、薬缶など）に貼り付けた加速度センサや温度センサから収集したデータを Blog コンテンツに変換している。同様の手法を用いて、コンテキストをクエリとした ADLs イベントの検索手法も提案されている [34]。対象のシーンと ADLs を限定することで、センサデータの学習を行わずルールベースで ADLs 検出を行う事例もある [35]。

3. 貼り付けるだけで家具をインテリジェント化するデバイス

3.1 研究の目標

本研究の目標は、ユーザがいつもどおり生活するだけで、暮らしを支援するサポート機能が自動実行されるスマートホーム環境を実現することである。たとえば、玄関のドアを開けたとき、ドアから今日の天気や音声が通知されれば、ユーザはスマートフォンなどを操作して自ら天気予報を確認する手間が省ける。ここで強調したいのが、本研究のターゲットが低 ICT リテラシのユーザであるということである。家庭内でもスマートフォンを肌身離さず携帯し、それを苦勞なく操作して目的を達成できるような高 ICT リテラシのユーザは主要なターゲットではない。また、本研究は実用性を重視していることも強調したい。SF 映画のように見栄えが良いインタラクションが提供できる技術であっても、大がかりな装置が要るなどの限定的な条件でしか利用できないのならば、多くのユーザにメリットを提供することは難しい。

ターゲットユーザにメリットを提供する実用的なシステムの実現には、下記要件を満たすことが必要だと考えた。

要件 1. 日常生活での自然な動作をトリガにサポート機能が実行される：サポート機能は“ドアを開ける”などの自然な動作をきっかけに実行されるべきである。家庭内はくつろぎの場であることが多く、デバイスを一日中装着/把持して生活することに抵抗を感じるユーザは少なくないと思われる。また、ジェスチャは不自然で学習が難しいことが多い [36] ため、低 ICT リテラシのユーザに習得を強いることが望ましい。

要件 2. 家具・家を大きく改造しない：既存の家具・家

にそのまま適用可能であるべきである。家具・家の改造や置換が必要なシステムは、我々のターゲットユーザの多くに受け入れられないと思われるからである。同時に、システムはできるだけ多くの家に適用できることが望ましい。

要件 3. 導入と変更が容易である：システムを導入するためのステップはシンプルであるべきである。導入が困難な家庭内 ICT システムはユーザに敬遠されるからである [37], [38]。また、サポート機能を実行するためのトリガは簡単に追加/変更できることが望ましい。

ユーザがデバイスを装着するアプローチ [4], [8], [9], [11] は、ユーザはデバイスの装着/把持やジェスチャの実行を求められるため、要件 1 を満たしていない。また、このアプローチには機械学習で動作を学習する事例も多いが、教師データ作成のためにユーザに数十回も不自然な動きを強いることも望ましくない。

環境にデバイスを設置するアプローチについては、いくつかの事例 [17], [18] は特殊な家具や大がかりな装置が前提であり、要件 2 を満たしていない。既存の家具・家に導入可能な事例 [28], [33], [34] もあるが、これらは家庭内に複数ノードからなるセンサネットワークを構築する必要があり、ユーザの心理的・技術的負担が大きい [37], [38], [39], [40] ことから、要件 3 を満たしていない。センサ導入キット [41] を用いればユーザ負荷を軽減できる可能性があるが、この事例はセンサネットワークの構築を主眼に置いており、要件 1 は考慮していない。Smart-Its [25] は洗練された開発環境であるが、ユーザはセンサイベントと実行される機能の関連付けをプログラミングしなければならず、要件 3 を満たしていない。

3.2 コンセプト

要件 1 について、サポート機能を実行するためのトリガとして何が適切か考える。ユーザがデバイスを装着したり、ジェスチャを行ったりしない以上、日常生活の中にすでに存在している要素をトリガとする必要がある。ここで、日々の生活を観察すると、“飲み物を飲むときは冷蔵庫を開ける”、“着替えるときにはクローゼットを開ける”、“外出するときはドアを開ける”、“寝る前には電気を消す”といったように、ユーザの生活動作と家具操作が同時に発生することが多いことに気付く。そこで、サポート機能を実行するためのトリガとして、家具操作を利用することにす。以降、トリガとなる家具操作を“トリガ操作”とする。

要件 2 について、家具・家を大きく改造することなく、トリガ操作検出とサポート機能実行を実現する方法を考える。トリガ操作検出については、できるだけ多くの家具操作を検出できることが望ましいが、ユーザがデバイスを装着せずに（要件 1）あらゆる家具操作を検出するためには、環境中に多様なセンサを大量に設置しなければならない。そこで、1 種類のセンサで検出でき、かつ、多くの家具操作

表 1 適用可能な家具の例

Table 1 Examples of supported types of 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・薬箱・ポット・炊飯器・ 工具箱・床下貯蔵庫の蓋など

に共通する要素として、家具の動きに着目する。表 1 に示すように、それ自体が動く家具（ドアなど）や動くパーツ（薬箱の蓋）を持つ家具は世界中の家庭にすでに数多くある。家具の動きを検出できるセンサとしては、加速度センサ、照度センサ、リードスイッチなどが考えられる。しかし、家具設置場所の照明条件は一定とは限らない（例：玄関のドアは、日中は屋外側が屋内側より明るい、夜間は屋内側が屋外側より明るい）ため、照度センサは利用しない。また、リードスイッチは構成上 2 つの部品（本体、磁石部）を家具に装着しなければならないし、装着場所はドアの縁や薬箱の蓋の開き口などに制限されてしまう。よって、照明条件の影響を受けず、装着位置もある程度自由度が高い加速度センサを用いることにする。サポート機能実行については、様々な効果を提供できた方が望ましいが、機能実行のためにプロジェクトなどの大がかりな装置が必要になると要件 2 を満たせない。そこで、サポート機能実行は音声出力によって行うこととする。音声出力であれば安価なスピーカで実現できるし、内容確認のために画面を目視するなどの必要がないため、自然な生活動作を妨げない効果もあると考えられる。

要件 3 について、システムの導入・変更を容易にするためのインタラクションデザインを行う。まず、上記で検討した加速度センサとスピーカなどの必要な装置を小型デバイスとして一体化し、そのデバイスを家具に貼り付けるというプロセスを導入する。いくつかの事例 [19], [25] が示しているように、デバイスを家具などに貼り付けるアプローチは既存家屋内にスマートホーム環境を構築するための手段として、低 ICT リテラシユーザにとってハードルが低い。次に、トリガ操作をシステムに登録するためのインタラクションデザインを行う。まず思いつくのは、ありうるトリガ操作をサービス提供者が事前に洗い出しておき、ユーザはその中から任意の操作を選択するという方式である。しかし、たとえばドアの場合で考えても、左開き/右開き（引き戸の場合）、左押し開き/右押し開き、左引き開き/右引き開き（開き戸の場合）などの多様な操作方法が考えられる。あらゆる家具とその操作方法を洗い出し・管理するのはサービス提供者にとって負担であるし、多くの選択肢の中から自分が行う操作を選択するのは低 ICT リテラシユーザにとって負担である。そこで、家具をいつも

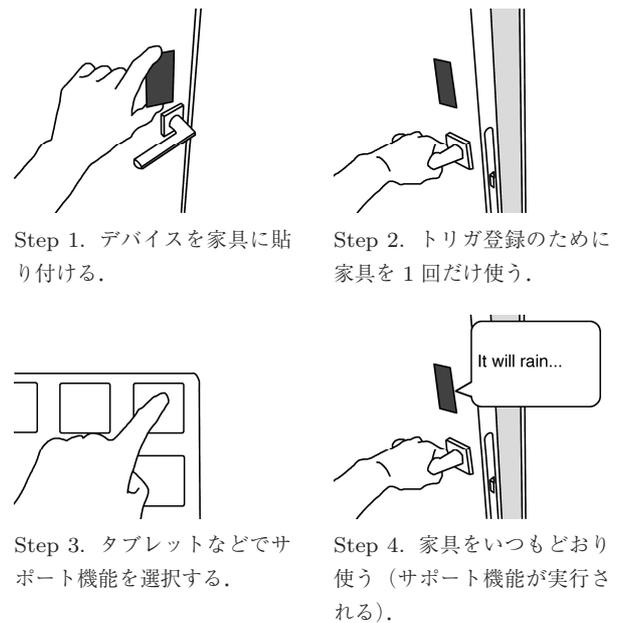


図 2 提案システムの利用ステップ
Fig. 2 The procedure for using our system.

どおりに 1 回だけ使う ことでトリガ操作登録を行う方式を採用する。このような Programming-by-Example アプローチは、低 ICT リテラシユーザがシステムを導入/変更する際のハードルを下げる効果があると考えられる [42]。

上記検討に基づき、貼り付けるだけで家具をインテリジェント化するデバイスというコンセプトを提案する。これは、デバイスを貼り付けた家具をいつもどおりに使うと、家具が（実際には貼り付けたデバイスが）暮らしを支援するサポート機能を実行するというものである。詳細を図 2 に示す。Step 1 では、ユーザはデバイスを家具に貼り付ける。Step 2 では、ユーザはトリガ操作をシステムに登録するために、家具を“1 回だけ”（これが後述する技術課題につながる）使う。Step 3 では、実行したいサポート機能をタブレット PC などで選択する。すると、ユーザは家具を“いつもどおり”使うだけで、サポート機能が実行されるようになる（Step 4）。この導入手順（図 2 の Step 1~3）は低 ICT リテラシのユーザにも十分に容易だと思われる。また、システムの変更も容易になると思われる。もしユーザがトリガ操作を変更したければ（例：“ドアを開ける”から“ドアを閉じる”）、彼女は Step 2 だけを行えばよい。もし、トリガ操作を行う家具を変更したい場合であっても（例：“ドア”から“窓”）、彼女は Step 1 と Step 2 を行うだけでよい（もしサポート機能も変更したいなら Step 3 も行う）。

4. 家具テンプレートによる加速度マッチング

4.1 技術課題

3.2 節のコンセプトを実現する際の課題を考える。加速度センサ値の変化有無を検知するだけでも、家具が操作さ

れたかどうか判定できるが、この方法では実現できるサービスの質が低下する。たとえば、開けたとき天気を通知してくれるドア (図 1 左) を実現する場合、ドアを開けたときも、閉じたときも通知が行われてしまい、ユーザが煩わしさを感じてしまう。また、決まった時間に開けていないと薬の飲み忘れを教えてくれる薬箱 (図 1 右) を実現する場合、薬箱の蓋に貼り付けた加速度計の変化の有無だけでは、薬箱の蓋が開けられたのか、薬箱が持ち運ばれたのか区別できない。すなわち、家具が動いたかどうかだけではなく、家具操作の同一性を判定する必要がある。操作の同一性を判定する手段として機械学習の利用が考えられるが、必要なトレーニングデータ量の低減を目指す研究事例でさえ、数十のトレーニングデータが必要 [12], [14] である。システムの導入・変更のたびにユーザに数十回も家具の操作を強いては要件 3 が満たせない。この状況をふまえ、本研究の課題を 1 回のトレーニングイベントだけから精度良く家具操作マッチングを行う技術の実現と設定する。

4.2 アプローチ

技術課題を達成するために、我々は世界中にある家具の種類を調査し、“動く家具”の多くは動作に制約があることに気付いた (表 1)。一般に、制約がある動きのマッチングの方が、そうでない動きのマッチングより容易である。そこで、我々は、これらの制約に基づいて家具動作のモデルを構築した。具体的には、家具の動きを観察し、観測された動きの制約に基づいて **Drawer 型**、**Door 型**、**Mailbox 型** の 3 種類に分類した。次に、それぞれの動きによって発生する x, y, z 軸の加速度変化の様子を調査し、変化の大局的なパターンを表 2 のように体系化した。そして、各型の家具の動きの制約によって生じる各軸の加速度変化の大局的なパターンの組合せを表 3, 表 4, 表 5 のような家具テンプレートとして表現した。下記に詳細を示す。

Drawer 型 : 1 軸方向への平行移動のみ可能である (例: 机の引き出し)。ここでは、図 3 (a) の黒塗り部分のように引き出しの前面に加速度センサ*1 を貼り付けた場合を考える。加速度センサの検出軸は、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、引き出しは 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、静止を順番に行う。このとき、加速度計は図 3 (b) のように、z 軸成分に初期値、単調増加、正の極大値、単調減少、負の極小値、単調増加、初期値となる変化を検出し、x 軸成分、y 軸成分にはほとんど変化を検出しない。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異なる場合を考慮すると、x 軸、

*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 9.8 m/s² の値を示すものとする。

表 2 各軸の加速度変化パターン

Table 2 The acceleration change patterns of the axis.

ID	加速度変化シーケンス	サンプル
P ₁	(ほぼ変化なし)	
P ₂	初期値, 単調増加, 正の極大値, 単調減少, 負の極大値, 単調増加, 初期値	
P ₃	初期値, 単調減少, 負の極大値, 単調増加, 正の極大値, 単調減少, 初期値	
P ₄	初期値, 単調増加, 正の極大値, 単調減少, 初期値	
P ₅	初期値, 単調減少, 負の極大値, 単調増加, 初期値	
P ₆	初期値, ほぼ単調減少, 初期値から約 9.8 m/s ² 小さい値	
P ₇	初期値, ほぼ単調増加, 初期値から約 9.8 m/s ² 大きい値	
P ₈	(その他)	

表 3 Drawer 型テンプレート

Table 3 The template of Drawer type.

タイプ ID	軸の特徴	動作軸
DR ₁	A 軸 : P ₂ , B 軸 : P ₁ , C 軸 : P ₁	A 軸
DR ₂	A 軸 : P ₃ , B 軸 : P ₁ , C 軸 : P ₁	A 軸

表 4 Door 型テンプレート

Table 4 The template of Door type.

タイプ ID	軸の特徴	動作軸
DO ₁	A 軸 : P ₄ , B 軸 : P ₂ , C 軸 : P ₁	A 軸, B 軸
DO ₂	A 軸 : P ₄ , B 軸 : P ₃ , C 軸 : P ₁	A 軸, B 軸
DO ₃	A 軸 : P ₅ , B 軸 : P ₂ , C 軸 : P ₁	A 軸, B 軸
DO ₄	A 軸 : P ₅ , B 軸 : P ₃ , C 軸 : P ₁	A 軸, B 軸

表 5 Mailbox 型テンプレート

Table 5 The template of Mailbox type.

タイプ ID	軸の特徴	動作軸
M ₁	A 軸 : P ₆ , B 軸 : P ₇ , C 軸 : P ₁	A 軸, B 軸

y 軸、z 軸の加速度変化パターンはそれぞれ表 2 において P₁, P₁, P₂/P₃ に該当する。これを一般化すると表 3 のようになる。なお、P₂₋₇ に該当する加速度変化を示す軸を以降“動作軸”とする。

Door 型 : 垂直方向の軸を中心とした回転移動のみ可能である (例: 開き戸)。ここでは、図 4 (a) のように開き戸の前面に加速度センサを貼り付けた場合を考える。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。この状態で開き

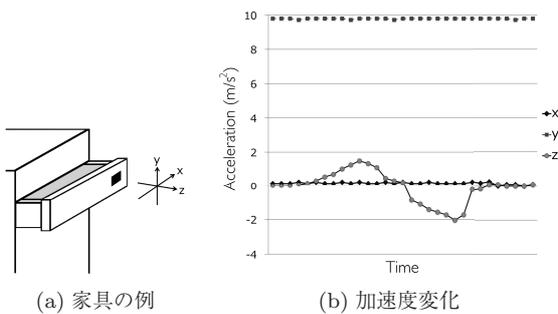


図 3 Drawer 型
Fig. 3 Drawer type.

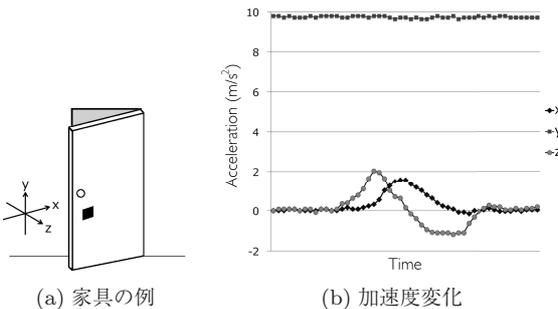


図 4 Door 型
Fig. 4 Door type.

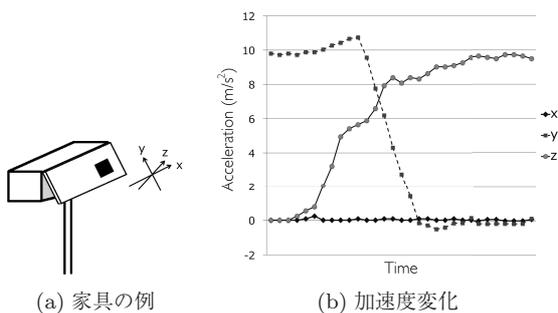


図 5 Mailbox 型
Fig. 5 Mailbox type.

戸を手前方向に開いた場合、開き戸は 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、静止を順番に行う。このとき、加速度計は図 4(b) のように、x 軸成分に初期値、単調増加、正の極大値、単調減少、初期値となる変化を検出し、z 軸成分に初期値、単調増加、正の極大値、単調減少、負の極小値、単調増加、初期値となる変化を検出し、y 軸成分にはほとんど変化を検出しない。開き戸を閉める場合などを考慮すると、x 軸、y 軸、z 軸の加速度変化パターンはそれぞれ表 2 において P_4/P_5 、 P_1 、 P_2/P_3 に該当する。これを一般化すると表 4 のようになる。

Mailbox 型：水平方向の軸を中心とした回転移動のみ可能である（例：郵便受けの蓋）。ここでは、図 5(a) のように郵便受けの前面に加速度センサを貼り付けた場合を考える。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。この状態で蓋を上方向に開いた場合、蓋は 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、静止を順番に行う。ただし、蓋を開く前は 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、蓋を開くにつれて z 軸正の方向に移っていくので、加速度計は図 5(b) のように、y 軸成分に 9.8m/s^2 付近から 0 付近の変化を検出し、z 軸成分に 0 付近から 9.8m/s^2 付近の変化を検出し、x 軸成分はほとんど変化を検出しない。蓋を閉める場合などを考慮すると、x 軸、y 軸、z 軸の加速度変化パターンはそれぞれ表 2 において P_1 、 P_6 、 P_7 に該当する。これを一般化すると表 5 のようになる。

作成した家具テンプレートを用いて、トリガ操作を登録する際の家具操作であるトレーニング操作と、トリガ操作登録後に発生する家具操作であるターゲット操作のマッチングを行う。具体的には、下記のようにトレーニングフェーズとマッチングフェーズを行う。

トレーニングフェーズ：

Step T1. 1 回のトレーニング操作によって発生する各軸の加速度変化が表 2 のどのパターンか判定し、トレーニング操作の各軸のパターンの組合せ $P = (P_x, P_y, P_z)$ を求める。

Step T2. P に対応する家具タイプ $T (DR_{1-2}, DO_{1-4}, M_1)$ のいずれかを求める。

Step T3. T の動作軸（表 3~5 参照）の加速度データ A を記録する。このとき、いずれかの家具タイプ T に判定された家具は動作軸以外の軸（すなわち P_1 と判定された軸）の方向にはほとんど動かないことを想定しているため、動作軸以外の軸の加速度データは記録しない。

マッチングフェーズ：

Step M1. ターゲット操作に対して Step T1 同様の分析を行い、軸パターンの組み合わせ $P' = (P'_x, P'_y, P'_z)$ を求める。

Step M2. P' が P と一致するか判定し、一致する場合のみ Step M3 を行う。

Step M3. Step T3 で記録した動作軸について、ターゲット動作から抽出した加速度データ A' とトレーニング動作から抽出した加速度データ A の類似度を計算する。もし類似度が規定の閾値を上回った場合、ターゲット動作はトレーニング動作と合致すると判定する。

Step T1 に記載のとおり、 A は 1 回のトレーニング操作のみから抽出されたものである。しかし、トレーニング操作時の家具の操作の仕方が、その家具のいつもの使い方の典型的なものであるとは限らない。たとえば、“ドアを開ける”というトリガ操作を登録するとき、いつもより勢いよく開けてしまうかもしれない。そのため、1 回の典型的ではない可能性がある操作から得られた A と、以降同じト

リガ操作をした際に得られる A' をマッチングさせるためには、Step M3 における類似度の閾値をある程度低めにする必要がある。ところが、閾値が低いとマッチングにおいて誤検出が多く発生してしまう。

そこでポイントとなるのが、Step M3 で加速度データの類似度を計算する前に、Step M2 を実施している点である。このステップでは、 P と P' を比較することで、トレーニング操作とターゲット操作の各軸の加速度変化が“大局的に見て”一致するか判定している。これにより、家具の操作の仕方が多少異なってもトレーニング操作とターゲット操作の合致性を精度良く判定できるので、次の Step M3 における類似度の閾値はある程度低めにしても誤検出が発生しにくい（あるいは、多少の誤検出が許容できる利用シーンであれば、Step M3 は実施しなくてもかまわない）。

5. 実装

5.1 クライアントモジュール

クライアントモジュールは、3軸加速度センサ、バッテリー、スピーカ、ストレージ、無線通信モジュールからなる。加速度センサは 15 Hz で計測を行い、約 1 秒ごとにバッファリングした加速度データをまとめてサーバモジュールに無線通信で送信する。各クライアントモジュールはユニークな ID を持つため、サーバモジュールはクライアントモジュールを区別できる。サーバモジュールからコマンドを受信すると、クライアントモジュールは対応する音声（例：“午後から雨が降ります”）をストレージから読み込んでスピーカから再生する。図 6(a) にクライアントモジュールの外観を示す。家庭内の空間に馴染むよう、クライアントモジュールは図 6(b) のような木製/布製、あるいは 3D プリンティングしたケースに格納することを想定している。

5.2 サーバモジュール

サーバモジュールは、クライアントモジュールから加速度データを受信する。トレーニングフェーズでは、サーバモジュールは 4.2 節記載の手順でトリガ操作の特徴を記録する。すなわち、加速度データを分析して加速度パターンの組合せ P と動作軸の加速度データ A を記録する。マッチングフェーズでは、サーバモジュールは 4.2 節記載の手順でトリガ操作を検出する。すなわち、加速度データを分析して速度パターンの組合せ P' を判定し、 P と P' が一致する場合は動作軸の加速度データ A' を記録し、 A と A' の類似度を計算する。類似度計算手法そのものは本研究の本質ではないため、今回はベーシックな手法である Dynamic time warping (DTW) [43] を用いた。ただし、2つの連続信号の類似度を判定できるものであれば、その他の最新の手法を用いてもかまわない。

加速度データ (A, A') は加速度計の実測値のままでは



図 6 クライアントモジュールのプロトタイプ
Fig. 6 A prototype of the client module.

表 6 量子化方法

Table 6 The method of quantization.

範囲	値	範囲	値
$s < -9.800$	-6	$0.245 \leq s < 0.490$	1
$-9.800 \leq s < -4.900$	-5	$0.490 \leq s < 0.735$	2
$-4.900 \leq s < -0.980$	-4	$0.735 \leq s < 0.980$	3
$-0.980 \leq s < -0.735$	-3	$0.980 \leq s < 4.900$	4
$-0.735 \leq s < -0.490$	-2	$4.900 \leq s < 9.800$	5
$-0.490 \leq s < -0.245$	-1	$9.800 \leq s$	6
$-0.245 \leq s < 0.245$	0	$(s$ の単位: m/s^2)	

取扱いが難しいため、一般的な信号処理の手法に則り、ノイズ除去、量子化を行ったうえで、ベクトルとして扱う。ノイズ除去には新しいデータほど重みが大きくなるような線形加重移動平均を用いた。具体的には、 s_i をある時点 T の加速度データであるとした場合、直近 N サンプルの加速度データを用いて、

$$s'_i = \frac{Ns_i + (N-1)s_{i-1} + \dots + 2s_{i-N+2} + s_{i-N+1}}{N + (N-1) + \dots + 2 + 1}$$

$$= \frac{2}{N(N+1)} \sum_{j=1}^N (N-j+1)s_{i-j+1}$$

のように線形加重移動平均を求め、 s'_i を T におけるノイズ除去済みの加速度データとした。今回の実装では $N = 10$ とした。続いて、 s'_i に対して量子化を行う。事前観察の結果、家具を動かす際には $\pm 0.98 \text{ m/s}^2$ 程度までの加速度が発生することが多かったため、この範囲の分解能が高まるよう、表 6 に示す方法で量子化を行うこととした。

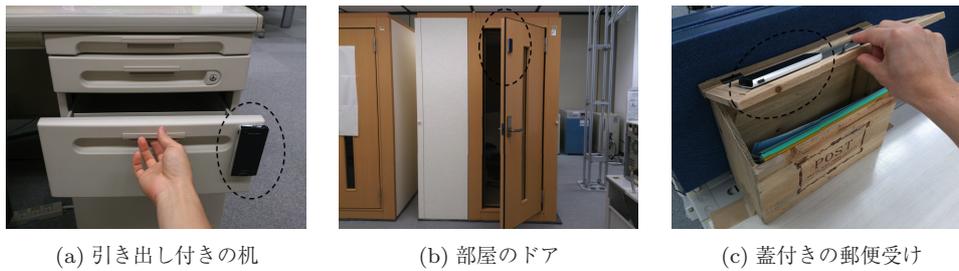
5.3 コントローラ

ユーザはコントローラを用いて、システムのフェーズ（トレーニングフェーズ/マッチングフェーズ）を切り替えたり、図 2 の Step 3 に示すようにトリガ操作が行われた場合に実行されるサポート機能を設定したりできる。

6. 評価実験 1

6.1 概要

システムの実用性に大きな影響を与えると思われる、トリガ操作マッチングの精度を評価するための実験を行った。具体的には、加速度計を 3 種類の家具に貼って 13 人の被験者に使用させ、被験者あたり 1 回だけトレーニング操作を



(a) 引き出し付きの机

(b) 部屋のドア

(c) 蓋付きの郵便受け

図 7 評価実験 1 に用いた家具

Fig. 7 Pieces of furniture used for Experiment 1.

行った場合の家具操作マッチングの精度を測定した。対象の家具は環境に固定されているものを選定した。具体的には、Drawer 型として引き出し付きの机 (図 7(a)), Door 型として部屋のドア (図 7(b)), Mailbox 型として蓋付きの郵便受け (図 7(c)) を用いた。

6.2 データセット

加速度データを取得するために、各図中の丸印の位置に、加速度計*2を貼り付けた。被験者 13 人 (20~40 代の男性 11 人, 女性 2 人) 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 回ずつ行った。順序効果を相殺するため、被験者が操作する家具の順番はランダムに決定した。結果として、家具ごとに“開ける”と“閉じる”の操作時に発生する加速度データ 130 回分 (13 人の被験者ごとに 10 回ずつ) のデータセットを得た。

6.3 実験 1-1: 被験者ごとの操作検出

被験者ごとに、“開ける”と“閉じる”の操作時の加速度データ集合から、“開ける”の操作時のものを検出する精度を測定した。具体的には、被験者ごとに、1 回の“開ける”操作をトレーニングデータ、残り 9 回の“開ける”操作と 10 回の“閉じる”操作の集合をテストデータとする交差検定を実施した。

提案手法は、4.2 節のトレーニングフェーズ、マッチングフェーズ記載の方法で加速度データを分析する。ベースライン手法は、家具の動きの制約を考慮せずに加速度データを分析する。すなわち、すべての軸の加速度データを用いてトレーニング、マッチングを行う。両手法とも、操作時の加速度データにノイズ除去、量子化を施したうえでベクトルとして扱い、DTW [43]*3を用いてベクトル間の距離を計算した (5.2 節参照)。トレーニングデータとテストデータの距離がトレーニングデータのベクトルのノルムの 70 パーセント以下の場合、両手法ともトレーニングデータとテストデータが合致すると判定した。

*2 実験時には図 6 (a) のクライアントモジュールは開発中であったため、15 Hz で加速度を計測するアプリケーションを動作させた Android スマートフォンで加速度計を実現した。

*3 複雑化を避けるため、シンプルな手法として DTW を用いた。

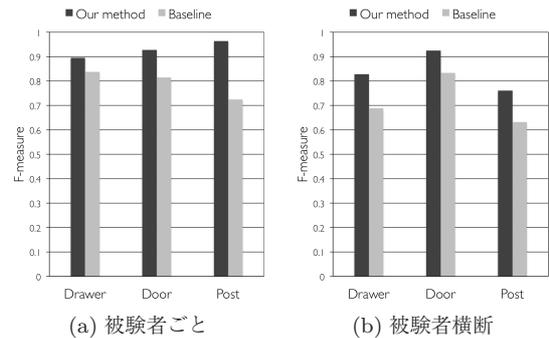


図 8 F 値 (評価実験 1)

Fig. 8 F-measure (Experiment 1).

図 8 (a) は提案手法・ベースライン手法の F 値の平均値を示す。Drawer 型, Door 型, Mailbox 型のそれぞれについて、提案手法がベースライン手法より高い F 値を示した。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。提案手法の方が高い F 値を示したのは、提案手法が家具動作の制約を利用しているため、動作軸以外の軸の加速度データに生じるランダムな変化の影響を抑制できたからだと考えられる。

実際、加速度データには多くのランダムな変化が確認された。たとえば、机の引き出しを手前方向に動かしたとき、本来引き出しが動く方向ではない上下方向に不規則な加速度変化が発生していた。これは、家具が持つ“あそび”や、家具の加工精度の悪さに起因するものと思われる。提案手法は家具動作の制約 (例: 引き出しは前後方向にしか動かない) を利用しているため、この不規則な加速度変化の影響を受けにくいだが、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。

また、提案手法が検出に失敗したテストケースを分析すると、トレーニングデータが操作している家具と異なる家具として判定されている場合が大半であった。たとえば、Door 型であるドアを操作するタスクにおいて、ドアを開けた場合は図 4 (b) のような加速度が発生するはずであるが、たまたま x 軸 (向心力方向) の加速度変化が小さい場合は Drawer 型 (図 3 (b)) と判定されることがある。この場合、トレーニングデータが Drawer 型、大半のテストデータが Door 型となってしまう、トリガ操作は正しく検出さ



(a) キャスタ付き引き出し (b) キャスタ付きキャビネット (c) 薬箱

図 9 評価実験 2 に用いた家具

Fig. 9 Pieces of furniture used for Experiment 2.

れない。しかし、この問題はアプリケーションの工夫で克服できる。たとえば、ユーザがトリガ操作のトレーニングデータを登録した際（図 2 Step 2）、トリガ操作の判定結果（Drawer 型など）をユーザに通知する案がある。ユーザは、判定結果と自分が操作した家具が合致していれば Step 3 に進み、異なっていれば Step 2 をやり直せばよい。

6.4 実験 1-2：被験者横断的な操作検出

被験者横断的に、“開ける”と“閉じる”の操作時の加速度データ集合から、“開ける”の操作時のものを検出する精度を測定した。具体的には、全被験者の操作データをマージし、1 回の“開ける”操作をトレーニングデータ、残り 129 回の“開ける”操作と 130 回の“閉じる”操作の集合をテストデータとする交差検定を実施した。以降の処理は実験 1-1 と同じである。

図 8 (b) に提案手法・ベースライン手法の F 値を示す。Drawer 型、Door 型、Mailbox 型のそれぞれについて、提案手法がベースライン手法より高い F 値を示した。

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。たとえば、提案手法を用いて、開けると天気予報を教えてくれる玄関のドア（図 1 左）を実現する場合、親がドアを開けるトリガ操作をシステムに 1 回教示すれば、子がドアを開けてもシステムはそのトリガ操作を精度良く検出することができる。

7. 評価実験 2

7.1 概要

評価実験 1 と同様に、10 人の被験者に家具を使用させ、トリガ操作マッチングの精度を評価する実験を行った。対象の家具は環境に固定されておらず、移動可能なものを用いた。具体的には、Drawer 型としてキャスタ付き引き出し（図 9 (a)）、Door 型としてキャスタ付きキャビネット（図 9 (b)）、Mailbox 型として薬箱（図 9 (c)）を用いた。

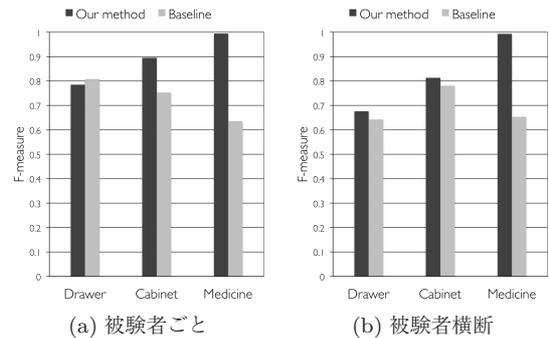


図 10 F 値 (評価実験 2)

Fig. 10 F-measure (Experiment 2).

7.2 データセット

評価実験 1 と同様に、各図中の丸印の位置に、加速度計を貼り付けた。被験者 10 人（20～30 代の男性 8 人、女性 2 人）は、各家具の可動部分に対して、“開ける”と“閉じる”の操作、および、家具自体を“移動させる”操作を 10 回ずつ行った。“移動させる”については、キャスタ付き引き出し/キャビネットは任意の方向に押して移動させ、薬箱は持ち上げて他の場所に置いた。順序効果を相殺するため、被験者が操作する家具の順番はランダムに決定した。結果として、家具ごとに“開ける”と“閉じる”、“移動させる”の操作時に発生する加速度データ 100 回分（10 人の被験者ごとに 10 回ずつ）のデータセットを得た。

7.3 実験 2-1：被験者ごとの操作検出

被験者ごとに、“開ける”と“閉じる”、“移動させる”の操作時の加速度データ集合から、“開ける”の操作時のものを検出する精度を測定した。具体的には、被験者ごとに、1 回の“開ける”操作をトレーニングデータ、残り 9 回の“開ける”操作と 10 回ずつの“閉じる”と“移動させる”操作の集合をテストデータとする交差検定を実施した。提案手法、ベースライン手法の実装は評価実験 1 と同じである。

図 10 (a) は提案手法・ベースライン手法の F 値の平均値を示す。Door 型、Mailbox 型について、提案手法がベースライン手法より高い F 値を示した。t 検定を行うと、Door 型では 5% 水準、Mailbox 型では 1% 水準で有意差が認められた。これは、Door 型・Mailbox 型であれば、環境に固定

されていない家具でも提案手法によるトリガ操作マッチングが有効であることを示している。一方、Drawer型では、F値は提案手法・ベースライン手法で同程度となり、有意差は認められなかった。これは、キャスタ付き引き出しを手前に動かす場合と、引き出しを開ける場合に生じる加速度パターンが類似しているためと思われる。

7.4 実験 2-2：被験者横断的な操作検出

被験者横断的に、“開ける”と“閉じる”、“移動させる”の操作時の加速度データ集合から、“開ける”の操作時のものを検出する精度を測定した。具体的には、全被験者の操作データをマージし、1回の“開ける”操作をトレーニングデータ、残り99回の“開ける”操作と100回ずつの“閉じる”と“移動させる”操作の集合をテストデータとする交差検定を実施した。以降の処理は実験 2-1と同じである。

図 10(b)に提案手法・ベースライン手法のF値を示す。Drawer型、Door型、Mailbox型について、提案手法がベースライン手法より高いF値を示した。これは環境に固定されていない家具の場合でも、提案方式は複数人で共同利用するシーンに適用可能であることを示唆している。

8. ユースケース

8.1 ユースケースシナリオ

提案システムは、すでに家庭内にある多くの家具(表 1)に対して、簡単な手順(図 2)で導入可能である。そのため、多くのユースケースシナリオが考えられる。

ドア：デバイスを玄関のドアに貼り付けると、外出時に有用な情報を取得できる。たとえば、外出しようとしてドアを開けるだけで、降水確率や渋滞の有無を知ることができる。これを実現するためには、デバイスをドアに貼り付け、“ドアを開ける”をトリガ操作として登録し、天気予報などをサポート機能として登録すればよい。実験 2の結果が示すように、このドアの機能は家族や複数のユーザで共同利用することもできる。もし、考えなおして、天気予報を起きた直後に知りたいと思ったとしても、デバイスを寝室のドアに貼り替え、そのドアを開ける操作をトリガ操作として再登録するだけで済む。また、ドアを開けるたびに降水確率を通知されるのは煩わしいので、実用化するには、降水確率が閾値を超えている場合だけ通知する、毎朝1回だけ通知するなどの工夫も必要である。

薬箱：デバイスを薬箱の蓋に貼り付けると、薬の飲み忘れの通知を受けられるようになる。これを実現するためには、“蓋を開ける”というトリガ操作と、薬を飲むべき時刻を登録するだけでよい。すると、システムは、指定時刻に蓋が開けられていなければ通知を発信できる。デバイス連携の考え方を導入すると、このシナリオを拡張することも可能である。たとえば、デバイスを薬箱と玄関のドアに貼り付けて連携させる例が考えられる。この場合、薬箱を開

けないまま、外出しようとしてドアを開けると、“薬を飲み忘れていました”とドアから(厳密にはドアに貼り付けたデバイスから)音声通知を受けられる。

洗濯機：デバイスを洗濯機の蓋に貼り付けると、蓋を開けて洗濯物を入れて洗濯機を回そうとする前に、雨の予報を知ることができる。これを実現するためには、“蓋を開ける”をトリガ操作として、天気予報をサービス機能として登録すればよい。

しつけ：デバイスを引き出しやドアに貼り付けると、しつけツールにすることができる。たとえば、引き出しなどが開けられた後、一定時間内に閉じられなければ、“開けた後は閉めなさい”という音声を送ることができる。これを実現するためには、引き出しなどを“開ける”と“閉じる”の両方をトリガ操作として登録する。1つのデバイスで両方の操作が登録できるようにしてもよいし、“開ける”を登録するデバイスと“閉じる”を登録するデバイスを連携させてもよい。

8.2 ユースケースの受容性調査

提案システムのユースケースの受容性を調査するため、一般参加者を集め、8.1節のユースケースの実機デモを体験してもらった後、インタビューを行った。一般参加者は20～60代の男女21人であり、意見にバイアスがかかるのを避けるため、研究者やスマートホーム・家電業界の企業に勤務している人は除いた。デモ体験・インタビューは5～6人ずつのグループに分かれて行った。

ユースケースに対する印象はおおむね好評であり、特にドアや洗濯機に適用するシーンに対しては利用意欲を示す参加者が多かった。当初想定していなかったものとしては、外出時に食料品の在庫を通知してほしいという意見が複数者から聞かれた。食事中に醤油やドレッシングなどがなくなっていることに気付くが、翌日スーパーなどに出かけるときには忘れていたことが多いためだという。これは、食料品の在庫量を計測できるようなIoT技術と提案システムを連携させれば実現できるかもしれない。一方で、玄関のドアでプライベートな情報が音声通知されることへの懸念の声も聞かれたため、内容に応じて通知方法・タイミングを制御するなどの工夫が必要であることも分かった。

全ユースケースに共通して、提案システムの導入手順(図 2)に対するヒアリングも行った。多くの参加者は手順に困難さは感じていない様子であり、特に、Step 1において貼り付けるデバイスが1つで済む点や、Step 2において家具操作が1回で済む点に対して「簡単である、これならできる」という意見が多かった。一方で、「なんとかできるが、もっと簡単にしてほしい(60代女性)」という意見もあった。実用化に向けては、ユーザが導入時に行う作業をこれ以上増やすことは避けるべきであり、可能であれば、より簡便な導入方法を検討していく必要があると考え

られる。

9. おわりに

我々は、ユーザがいつでもどおり生活するだけで、暮らしを支援するサポート機能が自動実行されるスマートホーム環境を実現することを目指し、“貼り付けるだけで家具をインテリジェント化するデバイス”というコンセプトを提案した。低 ICT リテラシのユーザへの受容性を高めるためには、1回のトレーニングイベントだけから精度が高い家具操作マッチングを行う技術の実現が必要であると考え、家具の動作制約を利用した家具操作マッチング手法を考案した。この手法は、多くの家具が元々持っている動作の制約を利用して構築した家具動作モデルに基づいており、世界中の家庭にすでに数多く存在している動く家具に適用できる。利用するセンサは小型・低価格な加速度計であり、カメラなどと異なりプライバシーの問題も少ない。評価実験において、考案したマッチング手法は被験者ごと/被験者横断の両条件において高精度にトリガ操作を検出できることを確認した。提案手法においても誤検出は発生したが、6.3節末で述べたようにアプリケーションを工夫し、正しいトレーニングデータが登録されるようにすれば、これらの誤検出は低減すると考えられる。以上のことから提案方式は、技術・サービスの両側面から Human-Computer Interaction コミュニティに大きく貢献するものと考えられる。

提案方式には制約もある。原理上、動かして使用しない家具や動きの自由度が高すぎる家具には適用できない。これらに適用するためには他のセンサの導入が必要である。また、加速度データからの個人識別は容易ではないため、家具の操作者ごとに異なるサポート機能を実行することも難しい。本研究ではユーザがデバイスを把持/装着しないことを制約条件としているが、将来的に多くのユーザがウェアラブルデバイスを装着するようになれば、家具側でウェアラブルデバイスを検知してユーザ識別を行い、ユーザごとに異なるサポート機能を実行することは可能である。なお、提案手法の F 値の平均値は 0.9 を超えており、我々が想定するユースケース (8.1 節) においては十分な精度であると考えられるが、誤検出を許容できないシーンに提案手法を適用する場合には改善が必要と思われる。たとえば、加速度センサだけでなく角速度センサも併用したり、トレーニングフェーズを1回のみではなく、2~3回行ったりすることで、検出精度を向上させることができる可能性がある。

今後は、提案方式のコンセプトや家具操作マッチング精度、レスポンス速度などのユーザ受容性を検証する必要がある。また、提案システムは暮らしを支援することを狙っているため、実用化に向けては、ユーザに長期間利用してもらったうえで満足度などを評価する必要もある。求めら

れる要件はサービスデザインやユーザ層によって大きく変わると考えられるため、文献 [3] のように具体的なシーン、ユーザ層を設定し、想定ユーザからフィードバックを得ながら評価、システム改良を行っていく方針である。

参考文献

- [1] 宮田章裕ほか：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 インタラクシオン'13 (2013).
- [2] 宮田章裕ほか：家具をインテリジェント化するデバイスの実装と評価, 情報処理学会 DICOMO'13 (2013).
- [3] 宮田章裕ほか：貼り付けるだけで家具をインテリジェント化するデバイスのサービスデザイン検討, 信学会 MVE 研究会, Vol.113, No.469, pp.139–144 (2014).
- [4] Rahman, A.M. et al.: Motion-path Based Gesture Interaction with Smart Home Services, *MM'09* (2009).
- [5] Kim, D. et al.: Digits: Freehand 3D Interactions Anywhere Using a Wrist-worn Gloveless Sensor, *UIST'12* (2012).
- [6] Ogata, M. et al.: iRing: Intelligent Ring Using Infrared Reflection, *UIST'12* (2012).
- [7] Yang, X.D. et al.: Magic Finger: Always-available Input Through Finger Instrumentation, *UIST'12* (2012).
- [8] Feldman, A. et al.: ReachMedia: On-the-move Interaction with Everyday Objects, *ISWC'05* (2005).
- [9] Cohn, G. et al.: Humantenna: Using the Body as an Antenna for Real-time Whole-body Interaction, *CHI'12* (2012).
- [10] Yatani, K. et al.: BodyScope: A Wearable Acoustic Sensor for Activity Recognition, *UbiComp'12* (2012).
- [11] Liu, J. et al.: uWave: Accelerometer-based personalized gesture recognition and its applications, *Pervasive and Mobile Computing*, Vol.5, No.6, pp.657–675 (2009).
- [12] Huynh, T. et al.: Towards Less Supervision in Activity Recognition from Wearable Sensors, *ISWC '06* (2006).
- [13] Förster, K. et al.: On the use of brain decoded signals for online user adaptive gesture recognition systems, *Pervasive'10* (2010).
- [14] Stikic, M. et al.: Exploring semi-supervised and active learning for activity recognition, *ISWC'08* (2008).
- [15] Maekawa, T. et al.: Training data selection with user's physical characteristics data for acceleration-based activity modeling, *Personal Ubiquitous Computing*, Vol.17, No.3, pp.451–463 (2013).
- [16] Masui, T. et al.: MouseField: A Simple and Versatile Input Device for Ubiquitous Computing, *UbiComp'04* (2004).
- [17] Sato, M. et al.: Touché: Enhancing Touch Interaction on Humans, Screens, Liquids and Everyday Objects, *CHI'12* (2012).
- [18] Xiao, R. et al.: WorldKit: Rapid and Easy Creation of Ad-hoc Interactive Applications on Everyday Surfaces, *CHI'13* (2013).
- [19] Yeo, K.P. et al.: StickEar: Making Everyday Objects Respond to Sound, *UIST'13* (2011).
- [20] Matthews, T. et al.: Augmenting Collections of Everyday Objects: A Case Study of Clothes Hangers As an Information Display, *Pervasive'04* (2004).
- [21] Tsujita, H. et al.: Complete Fashion Coordinator: A Support System for Capturing and Selecting Daily Clothes with Social Network, *AVI'10* (2010).
- [22] Harrison, C. et al.: Scratch Input: Creating Large, Inex-

- pensive, Unpowered and Mobile Finger Input Surfaces, *UIST'08* (2008).
- [23] Gellersen, H.W. et al.: The MediaCup: Awareness Technology Embedded in an Everyday Object, *LNCS*, Vol.1707, pp.308-310 (1999).
- [24] Beigl, M. et al.: Mediacups: Experience with Design and Use of Computer-augmented Everyday Artefacts, *Computer Networks*, Vol.35, No.4, pp.401-409 (2001).
- [25] Beigl, M. et al.: Smart-Its: An Embedded Platform for Smart Objects, *SOC'03* (2003).
- [26] Morris, M. et al.: New Perspectives on Ubiquitous Computing from Ethnographic Study of Elders with Cognitive Decline, *UbiComp'03* (2003).
- [27] Tapia, E.M. et al.: Activity Recognition in the Home Using Simple and Ubiquitous Sensors, *LNCS*, Vol.3001, pp.158-175 (2004).
- [28] Kasteren, T.V. et al.: Accurate activity recognition in a home setting, *UbiComp'08* (2008).
- [29] Duong, T. et al.: Efficient duration and hierarchical modeling for human activity recognition, *Artificial Intelligence*, Vol.173, No.8-Jul, pp.830-856 (2009).
- [30] 椎尾一郎ほか：Ocha House とユビキタスコンピューティング, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.12, No.1, pp.7-12 (2010).
- [31] 平井重行ほか：京都産業大学の生活型実験住宅 Home (くすいーほーむ) について, 信学技報, Vol.110, No.35, pp.43-50 (2010).
- [32] Kasteren, T.V. et al.: Transferring knowledge of activity recognition across sensor networks, *Pervasive'10* (2010).
- [33] Maekawa, T. et al.: Object-Blog System for Environment-Generated Content, *Pervasive Computing*, Vol.7, No.4, pp.20-27 (2008).
- [34] Maekawa, T. et al.: Context-aware web search in ubiquitous sensor environments, *ACM Trans. Internet Technology*, Vol.11, No.3, pp.12:1-12:23 (2012).
- [35] Caroux, L. et al.: Verification of daily activities of older adults: A simple, non-intrusive, low-cost approach, *ASSETS'14* (2014).
- [36] Norman, D.A.: Natural User Interfaces Are Not Natural, *Interactions*, Vol.17, No.3, pp.6-10 (2010).
- [37] 中谷桃子ほか：家庭における初心者ICT利用を促進するサポートデザイン, 信学会論文誌, J97-D(1), pp.39-49 (2014).
- [38] Poole, E.S. et al.: Computer Help at Home: Methods and Motivations for Informal Technical Support, *CHI'09* (2009).
- [39] Tokuda, H.: Smart furniture: A platform for context-aware embedded ubiquitous applications, *EMSOFT'04* (2004).
- [40] Hinze, A. et al.: Event-based applications and enabling technologies, *DEBS'09* (2009).
- [41] Beckmann, C. et al.: Some Assembly Required: Supporting End-User Sensor Installation in Domestic Ubiquitous Computing Environments, *UbiComp'04* (2004).
- [42] Chin, J. et al.: End-user Customisation of Intelligent Environments, *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*, pp.371-407 (2010).
- [43] Myers, C.S. et al.: 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).



宮田 章裕 (正会員)

2005年日本電信電話株式会社入社。2008年慶應義塾大学大学院博士課程修了。ヒューマンコンピュータインタラクションの研究に従事。現在、NTTサービスエボリューション研究所研究主任。博士(工学)。



有賀 玲子 (正会員)

2010年慶應義塾大学大学院理工学研究科修了。同年日本電信電話株式会社入社。現在、NTTサービスエボリューション研究所研究員。ヒューマンインタフェースの研究に従事。



望月 崇由

2001年早稲田大学大学院人間科学研究科修了。同年日本電信電話株式会社入社。主に画像通信技術を用いた家族間コミュニケーション支援システムの研究開発に従事。2005~2014年NTTレゾナントにて、検索サービスを中心としたポータルサイト向けサービスの開発。現在、NTTサービスエボリューション研究所主任研究員。



井原 雅行 (正会員)

1994年東京工業大学大学院理工学研究科電気電子修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。人間の好みのモデル化、価値観共有、ヒューマンアフォーダンス、災害時情報共有の研究等に従事。2002~2003年加国 New Media Innovation Center およびブリティッシュコロンビア大学にて客員研究員。2007~2009年NTTコムウェア。2010年東京工業大学大学院博士課程修了。現在、NTTサービスエボリューション研究所主幹研究員。博士(工学)。



山田 智広 (正会員)

1992年新潟大学大学院修士課程修了。同年日本電信電話株式会社に入社。以来、デジタルコンテンツ配信、アプリケーション技術に関する研究開発に従事。2007年MBA取得。2013年より同社サービスエボリューション研究所

にて、インタラクション技術の研究開発グループのグループリーダー。