

荷重センサを用いた机上動作に基づく動作・個人識別手法

寺田 努^{1,2,a)} 今井 淳南^{1,b)} 村尾 和哉^{3,c)} 塚本 昌彦^{1,d)}

概要: 本稿は、情報処理学会論文誌ジャーナルに投稿する原稿を執筆する際、および論文採択後に最終原稿を準備する際の注意点等をまとめたものである。大きく分けると、論文投稿の流れと、 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ と専用のスタイルファイルを用いた場合の論文フォーマットに関する指針、および論文の内容に関してすべきこと、すべきでないことをまとめたべからずチェックリストからなる。本稿自体も $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ と専用のスタイルファイルを用いて執筆されているため、論文執筆の際に参考になれば幸いである。

キーワード: 机上動作, 行動認識, 荷重センサ

1. はじめに

マイクロエレクトロニクス技術の発展によるコンピュータの小型化や高性能化, 軽量化に伴い, センサを用いてユーザの行動を認識するシステムが数多く提案されている。職場などの公共の空間や屋外においては, ユーザが身につけているスマートフォンや小型のウェアラブルセンサから行動データを取得することができるが, 家庭内においては, ユーザがセンサ類を常時装着することは難しいため, ユーザの身体ではなく, 天井や床, 家具などの環境側にセンサを設置するアプローチが一般的である。その中でもダイニングテーブルなどの机の上にはさまざまな日常動作が集中しており, これらの動作を認識することで家庭内ライフログの生成や動作に合わせた周辺機器の制御が行える。

ユーザの机上での動作を認識する手法としては, カメラによる画像認識を応用したもの [1], [2], [3], [4] が提案されているが, 家庭内にカメラを導入することはユーザのプライバシー保護の観点 [5] や, ユーザに監視されている印象を与えることから望ましくない。また, 感圧センサ [6] や電極を机上面全体に設置するシステムが提案されているが, センサを大量に用いて机を加工する必要がある, 一般

家庭への導入は設置コスト面から難しい。机の加工を必要とせず, 机上面にトレイなどのデバイスを設置する手法 [7], [8], [9], [10], [11] が提案されているが, デバイスの形状により, 設置対象の机の用途が限定されてしまうため, 日常的に使用することは難しい。

そこで, 本論文では, 机の四隅に荷重センサを設置し, 荷重データから机上動作の認識および使用者の識別を行うシステムを提案する。取得する情報は荷重データのみで, 机上での動作以外の行動の推定は困難であり, ユーザのプライバシーに配慮している。システムは, 4つの荷重センサユニットと通信基板から構成されており, 一般的な四脚の机に対して, 後付けで適用できるため, 汎用性が高い。事前にユーザの動作のデータを取得することによって, 機械学習による動作認識と個人識別を行う。

本論文では, 提案手法に基づいたプロトタイプを作成し, 有効性を確かめるためにオフライン認識の評価実験を行った。被験者は10名で, 認識対象の動作は, 日常生活を想定した机上面に触れながら断続的に行われる4種類の動作とした。また, 机の上に追加される物体の重量および位置の認識精度についての評価を行った。

以降, 2章で関連研究を紹介し, 3章では提案システムについて述べる。4章では提案システムを実装した机を紹介し, 5章で評価実験を行う。最後に6章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

机の周辺にセンサデバイスを設置して, 机の状況を認識する研究はこれまでに数多く行われており, 特にカメラを用いた画像認識手法は取得できる情報が多く, 机上の物体

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University
² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency
³ 立命館大学情報理工学部情報システム学科
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
a) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp
b) junna.imai@stu.kobe-u.ac.jp
c) murao@cs.ritsumeikan.ac.jp
d) tuka@kobe-u.ac.jp

判別やユーザの行動認識を高精度で行える。Koike らの研究 [12] では、カメラによる画像認識と机上面へのプロジェクタによる映像投影を用いた学習支援システムを提案しており、本に印刷されたマーカーとユーザの手の動きを認識することによって、ユーザの行動に合わせたコンテンツを提示できる。瀬戸らの研究 [1] では、食事中の行動を認識し、食事の状況に応じて、適切なタイミングで料理の追加の推薦を行う Another Dish Recommender を提案している。これは透明な天板の食卓上で、マーカー付きの皿と摂食動作を行う手をカメラを用いて実時間で認識し、その履歴に基づいて食事の状況を判断する。上東らの研究 [2] では、機械学習の一種である MKL (Multiple Kernel Learning) を用いた画像認識により、食事内容を記録するシステムを提案している。実験では、50 種類もの大規模な食事画像分類を行い、平均分類率 61.34% を達成している。これらの研究では、机の周辺にカメラを設置するため、ユーザに常に監視されている印象を与える恐れがあり、プライバシー保持の観点からも家庭内への導入は難しい。

Chang らの研究 [7] では、荷重センサと RFID センサを用いた 9 組の平面状のデバイスを机の上に設置することによって、食事時のユーザが選んだ料理の種類や食事量を取得する手法を提案している。Lin らの研究 [8], [9] では、荷重センサを内蔵したトレイとプロジェクタを用いて、ゲーム要素を交えながら幼児の食事のしつづけを支援するシステムを提案している。川嶋らの研究 [10], [11] では、RFID リーダ、感圧センサ、荷重センサを搭載したトレイを用いて、食器の近接情報と摂食量を重量センサから取得する手法を提案している。この手法では一回の摂食量などユーザの接触動作に関する情報が取得できるため、健康管理システムの構築などに有用であるが、対象とする動作は食事のものに限られている。これに対して本論文で提案するシステムは机上のあらゆる動作の認識を想定している。斎藤らの研究 [6] では、机と椅子の表面に圧力センサを敷き詰めた机を製作し、机と物体の接触を常時検知することで、机上の物体の位置検出、追跡、振動検出を実現している。このシステムにより、机上での読む、書く、タイピングといったデスクワークの動作の認識が可能となるが、机一面に圧力センサを敷き詰める必要があり、コスト面から一般家庭への導入は難しい。Schmidt ら [13] は机の四隅に荷重センサを設置し、テーブル面を入力インタフェースとして利用する手法を提案している。この手法では、任意の点に対してクリックやドラッグの動作を行うことができ、コップや本などの物体が机上に追加・除去されたことを認識する。ユーザは普段と同じように机を使用でき、センサの設置によって机のユーザビリティは低下しない。しかし、仕事や食事などのユーザの机上動作の認識までは行っていない。本論文では、机の四隅に荷重センサを設置し、日常生活を想定した机上動作の認識システムを提案する。

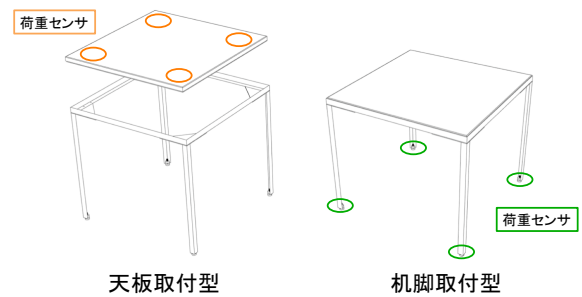


図 1 荷重センサの取付位置

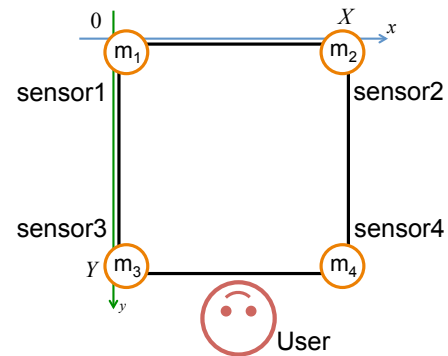


図 2 センサの座標およびユーザと机の位置関係

3. 机上動作認識システム

本章では、本論文で提案する机上動作認識システムの想定環境や認識手法について述べる。なお、ハードウェアおよび物体の位置・重量の認識部分に関しては、筆者らの既存研究 [14] と重複するため詳細はそちらを参照されたい。

3.1 想定環境

提案する机上動作認識システムでは、荷重センサ設置方法として図 1 に示すように取付位置を天板裏の四隅とする天板取付型と、机脚の下とする机脚取付型を想定している。天板取付型は天板が取り外せるタイプの机に適用でき、机上からセンサまでの距離が短いため、床面からの振動などのノイズを受けにくいと考えられる。一方、机脚取付型は四本の机脚をもつ机に適用でき、センサを机脚と床面の間に設置する。一般家庭に多く普及している机に後付けで適用可能なため、汎用性が高い。本論文で想定する机上動作とは、1 人のユーザによって行われる机上への物体の追加や、机上に置かれた物体の除去、机上に触れながら断続的に行われる動作である。荷重センサは図 2 に示すように、センサにかかっている重量を出力する。また、4 個の荷重センサをそれぞれ sensor1 から sensor4 とし、sensor1 の座標を (0,0)、sensor4 の座標を (X,Y) として定義する。以降の説明では、ユーザは sensor3 と sensor4 が設置された方向から机を使用している状態を仮定する。

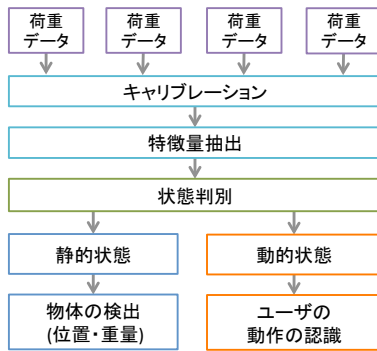


図 3 処理の流れ

3.2 認識手法

提案手法は図3に示すように、荷重センサから取得したデータに対してキャリブレーションを行い、その後、荷重の平均値や分散値などの特徴量を計算し、机上状態が静的状態であるか動的状態であるかを判別する。静的状態とは、机上に変化がない状態であり、静的状態と判別すると、机上に追加された物体の位置と重量の検出および机上から除去された物体の検出を行う。動的状態とは机上に変化がある状態であり、ユーザが机上に触れながら行っている動作の認識およびユーザの個人識別を行う。

キャリブレーションは、机上に物体が無く机上で動作を行っていない状態で各センサ値が0になるように設定し、キャリブレーション済センシングデータを $(m_1(t), m_2(t), m_3(t), m_4(t))$ と表す。以降、本論文では荷重とは机または天板を除いた、机に置かれている物体や加えられている力による重量を意味する。

3.2.1 特徴量の抽出

キャリブレーション済センシングデータを用いて、時刻 t における、総荷重 $m(t)$ 、総荷重平均値 $m_{ave}(t)$ 、総荷重分散値 $m_{var}(t)$ 、を以下の式に基づき計算する。 n は計算に用いるウィンドウサイズを示す。

$$m(t) = m_1(t) + m_2(t) + m_3(t) + m_4(t) \quad (1)$$

$$m_{ave}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n}^t m(i) \quad (2)$$

$$m_{var}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n}^t (m(i) - m_{ave}(t))^2 \quad (3)$$

3.2.2 状態判別

机上に対して荷重が加わる状態として、机上にコップなどの物体が存在する状態と、机上面に対してユーザが何らかの動作を行っている状態がある。前者では荷重の変化が起きないが、後者ではユーザによって、さまざまな荷重の変化が引き起こされる。そこで本論文では、机上状態として以下に示すように静的状態と動的状態の2種類を定義する。

- 静的状態

荷重が安定している状態であり、ユーザが机を利用していない、または机に触れていない状態である。机上に物体が置かれている状態は静的状態に含まれる。

- 動的状態

ユーザが机の手前側の端に腕や手を接触させながら行う動作や、机上面全体に荷重をかける動作など、荷重が安定していない状態である。

次にこれらの机上状態を判別する手法について述べる。提案手法では、初期状態を静的状態として、総荷重分散値 $m_{var}(t)$ が閾値 α 以上となった時、動的状態に遷移する。その後、動的状態において動作無しと判別される状態が時間 t_{stable} 以上継続した時点で、静的状態に遷移する。

3.2.3 物体の検出および位置と重量の推定

動的状態から静的状態に遷移した際には、直前の動的状態においてユーザが机上に何らかの物体を追加または除去したかを判別し、追加された場合はその物体の位置および重量を計算し、除去された場合はその物体を特定する。物体の追加および除去は、一度につき一つの物体に対して一回行われるものとする。また、ユーザが物体を机上面に沿って移動させたり、物体が自ら移動して位置が変化することは考えないものとする。ここで、直前の静的状態において机上に置かれていた各物体には物体番号が付与され、物体番号 j の物体の重量を M_j 、センサごとの荷重を $(M_{j1}, M_{j2}, M_{j3}, M_{j4})$ とする。また、位置座標 (x_{M_j}, y_{M_j}) を、次式に基づき計算する。

$$x_{M_j} = \frac{1}{2} \left(\frac{M_{j2}}{M_{j1} + M_{j2}} + \frac{M_{j4}}{M_{j3} + M_{j4}} \right) X \quad (4)$$

$$y_{M_j} = \frac{1}{2} \left(\frac{M_{j3}}{M_{j1} + M_{j3}} + \frac{M_{j4}}{M_{j2} + M_{j4}} \right) Y \quad (5)$$

物体が追加された後の静的状態における総荷重 $m(t)$ と直前の静的状態における総荷重の差 d およびセンサごとの差 d_i を以下の式に基づき計算する。ただし、 k は既に追加されている机上の物体の個数とする。

$$d = m(t) - \sum_{j=1}^k M_j \quad (6)$$

$$d_i = m_i(t) - \sum_{j=1}^k M_{ji} \quad (1 \leq i \leq 4) \quad (7)$$

$|d| \geq \beta$ を満たせば、直前の動的状態において机上に何らかの物体が追加または除去されたことがわかる。ただし、 β は重量変化を物体として認識する正の値の閾値である。 $d \geq \beta$ を満たすとき、荷重値の変化が正であることから、物体が追加されたことがわかる。新たに追加された物体の物体番号を $k+1$ として、物体の重量およびセンサごとの荷重は以下の式に基づき計算する。

$$M_{k+1} = d \quad (8)$$

$$M_{(k+1)i} = d_i \quad (1 \leq i \leq 4) \quad (9)$$

また、 $d \leq -\beta$ を満たすとき、荷重値の変化が負であることから、机上の物体が除去されたことがわかる。ここで、既に追加されている物体の中から、以下の式を満たす物体番号が j_{lost} である物体を、動的状態中に除去された物体であると判断する。

$$\exists j_{lost}, \forall j: \sum_{i=1}^4 |M_{j_{lost}i} - |d_i|| < \sum_{i=1}^4 |M_{ji} - |d_i|| \quad (10)$$

3.2.4 動作の認識および個人の識別

ユーザが机上面に接触しながら断続的に行う動作を認識するために、事前に取得した動作ごとの学習データから 12 種類の特徴量を計算し、機械学習アルゴリズムの一種であるランダムフォレストによる分類器の生成を行う。その後、机上状態が動的状態と判別された時刻 t において、事前に生成した分類器を用いて動作の判別を行う。また、各動作をユーザごとに区別して学習することによって、動作認識に加えて、個人識別を行う。以下に、動作の認識および個人の識別の手法について説明する。

動作認識および個人識別には机上での動作の特徴をあらわす 12 種類の特徴量を用いる。12 種類の特徴量は、総荷重 $m'(t)$ の変化に着目した 2 種類の特徴量、重心座標 $x'(t), y'(t)$ の変化に着目した 4 種類の特徴量、移動角度 $\theta(t)$ に着目した 6 種類の特徴量から構成される。12 種類の特徴量の計算には、ユーザの動作による荷重のセンサ値 ($m'_1(t), m'_2(t), m'_3(t), m'_4(t)$)、ユーザの動作による総荷重 $m'(t)$ 、ユーザの動作による荷重の重心座標 ($x'(t), y'(t)$)、時刻 $t-1$ および時刻 t の重心座標を結んだ直線の傾きである移動角度 $\theta(t)$ を用いる。 $m'(t), x'(t), y'(t), \theta(t)$ は以下の式に基づき計算する。

$$m'_i(t) = m_i(t) - \sum_{j=1}^k M_{ji} \quad (1 \leq i \leq 4) \quad (11)$$

$$m'(t) = m'_1(t) + m'_2(t) + m'_3(t) + m'_4(t) \quad (12)$$

$$x'(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{m'_2(t)}{m'_1(t) + m'_2(t)} + \frac{m'_4(t)}{m'_3(t) + m'_4(t)} \right) X \quad (13)$$

$$y'(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{m'_3(t)}{m'_1(t) + m'_3(t)} + \frac{m'_4(t)}{m'_2(t) + m'_4(t)} \right) Y \quad (14)$$

$$\theta(t) = \tan^{-1} \frac{y(t) - y(t-1)}{x(t) - x(t-1)} \quad (-180^\circ < \theta(t) \leq 180^\circ) \quad (15)$$

総荷重 $m'(t)$ の変化に着目した特徴量は、机上面に対して垂直方向の動作の変化を表す $f_1(t), f_2(t)$ の 2 種類である。特徴量 $f_1(t)$ は $m'(t)$ の平均値、 $f_2(t)$ は $m'(t)$ の分散値として、以下の式に基づき計算する。 n は計算に用いるウィンドウサイズを示す。

$$f_1(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n}^t m'(i) \quad (16)$$

$$f_2(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n}^t \left(m'(i) - \frac{1}{n} \sum_{j=t-n}^t m'(j) \right)^2 \quad (17)$$

重心座標 $x'(t), y'(t)$ の変化に着目した特徴量は、机上面に対して水平方向の動作の変化を表す $f_3(t), f_4(t), f_5(t), f_6(t)$ の 4 種類である。特徴量 $f_3(t)$ は $x'(t)$ の分散値、 $f_4(t)$ は $y'(t)$ の分散値として、以下の式に基づき計算する。

$$f_3(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n}^t \left(x'(i) - \frac{1}{n} \sum_{j=t-n}^t x'(j) \right)^2 \quad (18)$$

$$f_4(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n}^t \left(y'(i) - \frac{1}{n} \sum_{j=t-n}^t y'(j) \right)^2 \quad (19)$$

特徴量 $f_5(t)$ はウィンドウサイズ n における始点座標と終点座標の間の距離として、以下の式に基づき計算する。

$$f_5(t) = \sqrt{(x'(t) - x'(t-n))^2 + (y'(t) - y'(t-n))^2} \quad (20)$$

特徴量 $f_6(t)$ はウィンドウサイズ n における座標群の単回帰分析による直線の傾きとして、以下の式に基づき計算する。

$$f_6(t) = \frac{\sum_{i=t-n}^t (x'(i) - \frac{1}{n} \sum_{j=t-n}^t x'(j)) (y'(i) - \frac{1}{n} \sum_{j=t-n}^t y'(j))}{\sum_{i=t-n}^t (x'(i) - \frac{1}{n} \sum_{j=t-n}^t x'(j))^2} \quad (21)$$

重心座標の移動角度 $\theta(t)$ に着目した特徴量は、動作の水平方向における向きの偏りを表す $f_7(t), f_8(t), f_9(t), f_{10}(t), f_{11}(t), f_{12}(t)$ の 6 種類である。特徴量 $f_7(t)$ は $\theta(t)$ の中央値、 $f_8(t)$ は $\theta(t)$ の分散値として、以下の式に基づき計算する。なお、 $median(A)$ は集合 A の中央値を表す。

$$A = \{\theta(t-n), \theta(t-(n-1)), \theta(t-(n-2)), \dots, \theta(t)\} \quad (22)$$

$$f_7(t) = median(A) \quad (23)$$

$$f_8(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n}^t \left(\theta(i) - \frac{1}{n} \sum_{j=t-n}^t \theta(j) \right)^2 \quad (24)$$

特徴量 $f_9(t), f_{10}(t), f_{11}(t), f_{12}(t)$ は、ウィンドウサイズ n において、移動角度 $\theta(t)$ が一定の条件を満たす個数をとし、以下の条件に基づき計算する。

- f_9 : $(-115^\circ \leq \theta(t) \leq -65^\circ)$ を満たす $\theta(t)$ の個数
- f_{10} : $(-25^\circ \leq \theta(t) \leq 25^\circ)$ を満たす $\theta(t)$ の個数
- f_{11} : $(65^\circ \leq \theta(t) \leq -115^\circ)$ を満たす $\theta(t)$ の個数
- f_{12} : $(\theta(t) \leq -165^\circ$ または $165^\circ \leq \theta(t))$ を満たす $\theta(t)$ の個数

4. 実装

提案手法に基づき、天板取付型と机脚取付型の 2 種類のプロトタイプを実装した。天板取付型のプロトタイプは、図 4 に示すような正方形の天板が取り外せる机を製作し、天板裏側の四隅に設けた窪みに、荷重センサを設置してい



図 4 机の外観（左）と天板裏に設置した荷重センサ（右）

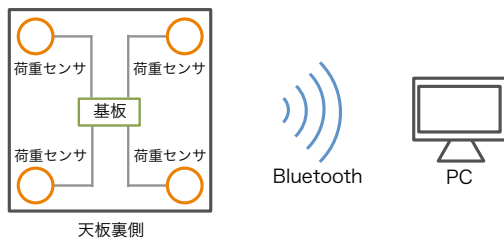


図 5 天板取付型のシステム構成

表 1 天板取付型の各パーツのサイズと重量

	サイズ [mm]	重量 [kg]
机（天板）	30(H) × 790(W) × 790(D)	10.0
机（脚部）	690(H) × 800(W) × 800(D)	9.1

る。各机脚には高さを調整可能なスペーサを設置し、机を設置する場所に応じて、天板の水平を保つことができる。各センサは図 5 に示すように天板裏側の中央に設置した基板に有線で接続されており、取得したデータは Bluetooth によって PC へ送信される。電源は、5V を供給するために、乾電池 4 本または AC アダプタを使用する。机全体の寸法および重量を表 1 に示す。

机脚取付型のプロトタイプは、図 6 に示すように 4 つの荷重センサユニットとコントロールボックスから構成される。荷重センサユニットは、床面と接する下部パーツ、荷重センサ、机脚にユニット固定するための上部パーツから構成されており、図 7 に荷重センサユニットを机脚に取り付けた状態を示す。上部パーツは 3D プリンタを用いて製作されており、取り付け対象の机脚の形状に合わせて変更することができる。各荷重センサユニットは有線でコントロールボックスに接続されており、取得したデータは Bluetooth によって PC へ送信される。電源は、5V を供給するために、乾電池 4 本を使用する。

荷重センサは任天堂社のバランス Wii ボード [15] に内蔵されているものを使用した。このセンサは測定誤差 0.2kg、耐荷重 130kg である。PC はレノボ社の ThinkPad X230 (CPU; Corei5-3320M 2.60GHz, メモリ; 8GB, OS; Windows 7 Home Premium) を使用し、アプリケーションの開発には、マイクロソフト社の Visual C# 2010 および WiimoteLib[16] を用いた。



図 6 荷重センサユニットとコントロールボックス



図 7 机脚に装着された荷重センサユニット

表 2 実験で用いたパラメータの値

パラメータ	値
座標系 (X, Y)	(1.00, 1.00)
特徴量計算ウィンドウサイズ (n)	15
動的状態終了の条件ウィンドウサイズ (t_{stable})	15
遷移条件の閾値 (α)	0.005 kg
物体として認識する最小重量 (β)	0.200 kg

5. 評価実験

本論文で提案する机上動作認識システムの性能を評価するために、物体の検出、動作の認識および個人の識別について、それぞれの精度を求める実験を行った。ハードウェアとしては、天板取付型の机を用いた。

5.1 物体の検出精度

5.1.1 実験内容

本実験では、提案手法による物体の検出精度を評価するために、机上面に設定した 9 つの基準点に、重量の異なる物体を追加し、検出した位置と重量を、実際の位置と重量と比較した。9 つの基準点と座標軸を図 8 に示す。3 種類の重量の物体を 9 種類の基準点に 5 回ずつの追加を行い、計 135 回試行した。物体は重量 300g, 600g, 900g のペットボトル 3 種類とし、実験で採用したウィンドウサイズなどのパラメータを表 2 に示す。

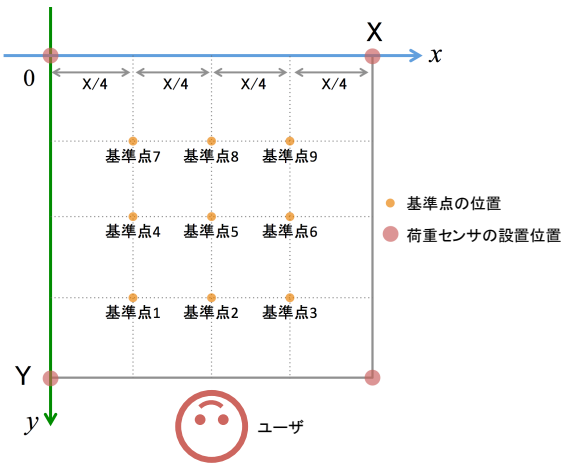


図 8 基準点の位置関係

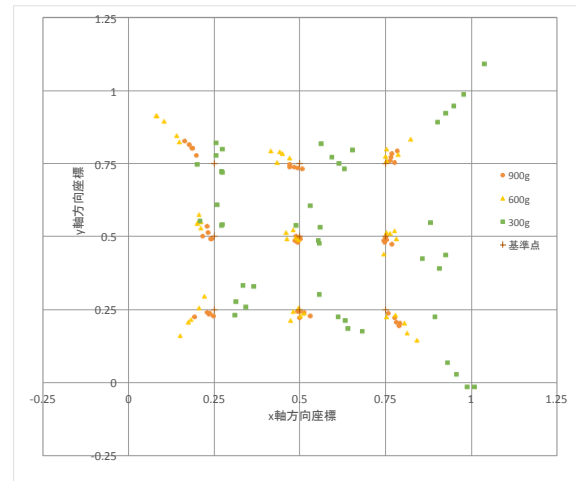


図 9 各試行における検出位置の座標

5.1.2 結果と考察

各試行における検出位置の座標をプロットしたものを図 9 に、基準点ごとの検出位置の誤差を図 10 に、基準点ごとの検出重量の誤差を図 11 に示す。

基準点ごとの検出位置の平均誤差は 6.8cm，最大誤差は 300g の物体における 50.7cm となった。物体の重量ごとでは，300g の物体において平均誤差は 12.7cm，最大誤差は 50.7cm となり，600g の物体において平均誤差は 5.3cm，最大誤差は 16.3cm となり，900g の物体において平均誤差は 2.5cm，最大誤差は 9.0cm となった。このことから，物体の重量が大きくなるほど検出位置の誤差は小さくなるのがわかる。また，検出位置の誤差は，荷重センサとの距離が小さい基準点ほど大きくなる傾向がある。これは，ある荷重センサに距離が小さい位置では，他の荷重センサとの距離が大きくなり，机の天板のたわみなどの影響により荷重センサに理想的に荷重が加わらなくなっているからであると考えられる。

基準点ごとの検出重量の平均誤差は 38g，最大誤差は 900g の物体における 109g となった。物体の重量ごとでは，300g の物体において平均誤差は 24g，最大誤差は 50g となり，600g の物体において平均誤差は 14g，最大誤差は 38g となり，900g の物体において平均誤差は 77g，最大誤差は 109g となった。また，図 11 より，300g の物体の誤差は負の方向に，600g の物体の誤差は 0 付近に，900g の物体の誤差は正の方向に偏っている。このことから，机上に追加された物体の重量に応じて一定の誤差が生じていると考えられる。物体の重量について，より広い範囲で同様の実験を行い，誤差の傾向を測定することによって，追加された物体の重量に応じて補正を行うことが可能であると考えられる。

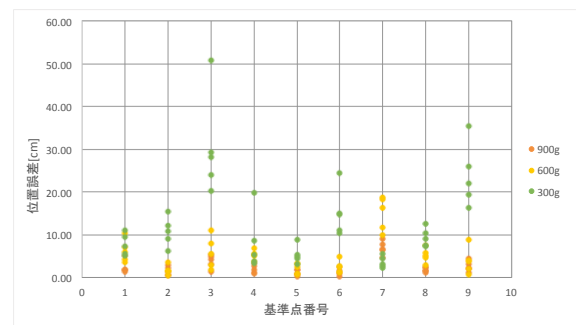


図 10 基準点ごとの検出位置の誤差

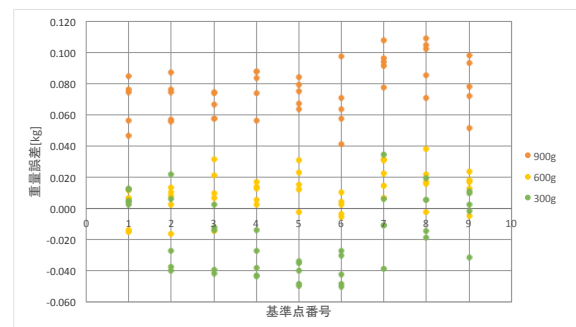


図 11 基準点ごとの検出重量の誤差

5.2 動作の認識および個人の識別の精度

5.2.1 実験内容

本実験では，動作の認識および個人の識別の精度を評価

するために，図 12 に示すタイピング，マウス操作，筆記，布巾掛けの計 4 種類の動作について，被験者 A から J までの計 10 名（男性 9 名，女性 1 名，21 才～25 才）からデータを採取した。タイピングの動作では，ノートパソコンのキーボードを用いて，タイピングゲームを行う。マウス操作の動作では，ノートパソコンに接続した外付けマウスを用いて，シューティングゲームを行う。筆記の動作では，バインダーとボールペンを用いて文章の書き写しを行う。布巾掛けの動作では，布巾を用いて机上面全体の拭き取りを行う。取得したデータから各動作について，30 秒間のデータを切り出し前半 10 秒のデータを機械学習における学習データ，後半 20 秒をデータを検証用データとし

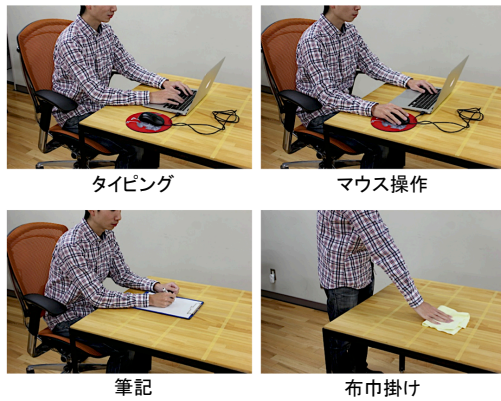


図 12 認識対象の動作

た. 解析には機械学習ソフトウェアである Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) [17] を使用し, 分類木は RandomForest を用いた. 生成する木の木の本数は 100 本とする. データの解析は被験者 10 人全てのデータを用いるグループと, 一般的な家庭の人数を想定し, 被験者 A から D までの 4 人データを用いるグループの 2 グループに対して行った.

5.2.2 結果と考察

被験者 10 人の全員のデータを用いた動作認識の結果を表 3 に, 被験者 A から D までの 4 人のデータを用いた動作認識の結果を表 4 に示す. 平均 Recall は被験者 10 人のグループにおいては 93.7%, 被験者 4 人のグループにおいては 95.5% が得られた. これらの結果から, 事前にユーザのデータの学習を行うことにより, 机に対して断続的に行われる動作については, 識別対象者数にかかわらず高い精度で認識できることがわかった. 一方, 実生活において日常生活の動作を認識する場合, 複数の動作が組み合わされた食事などの動作について対応する必要がある. ユーザの動作による荷重の他に利用可能な情報として, 机上に追加される皿やコップなどの物体の重量, 位置, 追加時刻, 除去時刻などが考えられる.

次に個人の識別の精度について考察する. 被験者 10 人の全員を対象とした個人識別の結果を表 5 に, 被験者 A から D までの 4 人を対象とした個人識別の結果を, 表 6 に示す. 平均 Recall は 10 人のグループにおいては 65.3%, 4 人のグループにおいては 88.8% が得られ, 10 人のグループと比較して 4 人のグループの識別精度が高くなった. 家庭内の日常生活においては, 机を共有する人数は限られる場合が多く, 提案手法によって 4 種類の動作については個人のラベル付けが可能であると考えられる. 動作ごとの個人識別の平均 Recall は, 10 人のグループの場合, タイピングが 74.1%, マウス操作が 79.7%, 筆記が 59.2%, 布巾掛けが 48% となり, 布巾掛けの識別精度が他の動作と比較して低くなった. 4 人のグループにおいても, 同様の傾向が見られた. これは, マウス操作の動作は被験者間で大きな

表 3 動作認識の精度 (被験者 10 人)

In \ Out	Type	Mouse	Write	Dry up	Recall
	Type	2876	90	78	0
Mouse	19	3165	5	1	0.99
Write	331	23	1968	34	0.84
Dry up	0	15	64	3117	0.98
Precision	0.89	0.96	0.93	0.99	—

表 4 動作認識の精度 (被験者 4 人)

In \ Out	Type	Mouse	Write	Dry up	Recall
	Type	1151	46	28	0
Mouse	17	1222	14	0	0.98
Write	53	4	954	14	0.93
Dry up	3	0	26	1198	0.98
Precision	0.94	0.96	0.93	0.99	—

違いがあるのに対して, 布巾掛けの動作が被験者間で似かよっていることが原因であると考えられる.

6. まとめ

本論文では, 机の四隅に設置された荷重センサから机上動作を認識するシステムを提案した. 提案システムは机上の状態を, 荷重が安定している静止状態と, 荷重が安定していない動的状態の 2 種類に分類し, 静的状態においては机上の物体の位置と重量の検出を行い, 動的状態においては机上での動作の認識を行う. 評価実験から, 机上に追加された物体について, 重量を平均誤差 38g, 位置を平均誤差 6.8cm で検出した. また, 4 人のグループ内において 4 種類の動作を 95.5% の精度で認識し, 個人の識別を 88.8% の精度で実現した. 今後の課題として, 実環境での利用に向けて, 食事などの複数の動作が組み合わされた動作の認識を行うために, 認識アルゴリズムの改良を予定している. また, 認識結果を利用した周辺家電の自動制御や家庭内ライフログアプリケーションを制作する予定である.

謝辞

本研究の一部は, 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (さきがけ) および文部科学省科学研究費補助金挑戦的萌芽研究 (25540084) によるものである. ここに記して謝意を表す.

参考文献

- [1] 瀬戸優貴, 松坂要佐, 井上智雄: 追加料理推薦システム Another Dish Recommender における実時間食事状況認識, 情報処理学会研究報告, Vol. 2009-GN-70, No. 3, pp. 1-6 (Jan. 2009).
- [2] 上東太一, 甫足 創, 柳井啓司: Multiple Kernel Learning による 50 種類の食事画像の認識, 電子情報通信学会論文誌, Vol. 93, No. 8, pp. 1397-1406 (Aug. 2010).
- [3] 森 麻紀, 栗原一貴, 塚田浩二, 椎尾一郎: 投影型拡張現実

表 5 個人識別の精度 (被験者 10 人)

	Type		Mouse		Write		Dry up	
	Recall	Precision	Recall	Precision	Recall	Precision	Recall	Precision
A	0.64	0.54	0.89	0.97	0.63	0.47	0.63	0.68
B	0.67	0.92	0.81	0.50	0.66	0.85	0.35	0.59
C	0.74	0.72	0.97	0.87	0.79	0.76	0.46	0.45
D	0.95	0.91	0.89	0.70	0.60	0.45	0.61	0.54
E	0.84	0.54	0.57	0.93	0.63	0.62	0.38	0.40
F	0.90	0.96	0.42	0.61	0.47	0.37	0.57	0.31
G	0.75	0.81	0.99	0.82	0.31	0.63	0.66	0.61
H	0.59	0.65	0.80	0.97	0.63	0.45	0.28	0.35
I	0.93	0.87	0.63	0.90	0.63	0.86	0.38	0.53
J	0.41	0.61	1.00	0.96	0.57	0.60	0.48	0.51
Average	0.74	0.75	0.80	0.82	0.59	0.61	0.48	0.50

表 6 個人識別の精度 (被験者 4 人)

	Type		Mouse		Write		Dry up	
	Recall	Precision	Recall	Precision	Recall	Precision	Recall	Precision
A	0.99	0.87	0.90	1.00	0.90	0.80	0.93	0.82
B	0.74	0.99	0.98	0.91	0.73	0.92	0.99	0.91
C	0.98	0.92	1.00	0.96	0.93	0.98	0.49	0.65
D	0.99	0.98	0.96	0.97	0.89	0.74	0.67	0.66
Ave	0.93	0.94	0.96	0.96	0.86	0.86	0.77	0.76

- システムの食卓への応用, 情報処理学会創立 50 周年記念全国大会講演論文集, Vol. 72, No. 4, pp. 412-442 (Mar. 2010).
- [4] 福地健太郎, 暦本 純一: SmartSkin を用いた多点入力システムの実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 7, pp. 1682-1692 (July 2005).
- [5] 神尾 崇: 画像認識を応用した高度映像セキュリティシステム, パナソニック技報, Vol. 54, No. 4, pp. 13-17 (Jan. 2009).
- [6] 斎藤 昇, 澤井章代, 森 武俊, 佐藤知正: センサデスクを用いた机上作業の認識, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, Vol. 2000, No. 2A1-76-113 (May 2000).
- [7] K. H. Chang, S. Y. Liu, H. H. Chu, J. Y. J. Hsu, C. Chen, T. Y. Lin, C. Y. Chen, and P. Huang: The Diet-Aware Dining Table: Observing Dietary Behaviors over a Tabletop Surface, *Proc. of the 4th International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2006)*, pp. 366-382 (May 2006).
- [8] T. Y. Lin, K. H. Chang, S. Y. Liu, and H. H. Shu: A Persuasive Game to Encourage Healthy Dietary Behaviors of Young Children, *Demo Paper & Adjunct Proc. of the 8th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2006)* (Sep. 2006).
- [9] J. L. Lo, T. Y. Lin, H. H. Chu, H. C. Chou, J. H. Chen, J. Y. J. Hsu, and P. Huang: Playful Tray: Adopting Ubicomp and Persuasive Techniques into Play-based Occupational Therapy for Reducing Poor Eating Behavior in Young Children, *Proc. of the 9th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2007)*, pp. 38-55 (Sep. 2007).
- [10] 川嶋稔夫, 谷杉泰苗, 光藤雄一: センシングトレイと ID ウェアを用いた摂食モニタリングシステム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 106-WIT, No. 285, pp. 61-66 (Oct. 2006).
- [11] 小野康弘, 川嶋稔夫, ハルトノ ピトヨ: 摂食シーケンスパターンの解析, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 108-PRMU, No. 198, pp. 241-246 (Aug. 2008).
- [12] H. Koike, Y. Sato, Y. Kobayashi, H. Tobita, and M. Kobayashi: Interactive Textbook and Interactive Venn Diagram: Natural and Intuitive Interface on Augmented Desk System, *Proc. of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*, pp. 121-128 (Apr. 2000).
- [13] A. Schmidt, M. Strohbach, K. V. Laerhoven, and H. W. Gellersen: Ubiquitous Interaction - Using Surfaces in Everyday Environments as Pointing Devices, *Proc. of the 7th International Workshop on User Interfaces for All (ERCIM '02)*, pp. 263-279 (Oct. 2003).
- [14] 今井淳南, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: 荷重センサを用いた机上動作の認識システムの設計と実装, 情報処理学会シンポジウムシリーズ マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2013) 論文集, pp. 1180-1187 (July 2013).
- [15] Wii Balance Board, <http://wiifit.com/what-is-wii-fit-plus/>.
- [16] WiimoteLib - .NET managed library for using a Nintendo Wii Remote <http://www.wiimotelib.org/>.
- [17] Weka 3 - Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.