

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

今井 淳南¹ 村尾 和哉¹ 寺田 努^{1,2} 塚本 昌彦¹

概要: 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. 家庭内ではユーザが常時センサを身につけることは難しいため, 天井や壁, 床, 家具, 家電など環境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, これらの行動を認識することで家庭内での行動記録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から望ましくない. また, 感圧センサ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. 本研究では, 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を認識する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. 評価実験から, 物体の机上面への追加において物体の重量を誤差約 0.07kg, 位置を誤差約 7cm で検出し, 動作認識において布巾掛けが 64.2%, ノートパソコンの操作が 59.2%, 筆記動作が 67.4%の再現率が得られた.

Design and Implementation of a System for Recognizing Activities on Desk using Load Cells

JUNNA IMAI¹ KAZUYA MURAO¹ TSUTOMU TERADA^{1,2} MASAHICO TSUKAMOTO¹

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, 高性能化, 軽量化に伴い, 小型のセンサデバイスを用いてユーザの行動を認識するシステムが研究および開発されており, それらのデバイスから取得されたデータを分析することで, ユーザのライフログの生成や状況に応じたサービスの提供が行えるようになった. 屋外では, スマートフォンや小型のセンサデバイスをユーザが身につけることによりデータを取得できるが, 家庭内では, スマートフォンを充電したり, 衣服を脱いだり装飾品を外すため, センサを常時身につけている想定は難しい. そのため, 住宅内ではユーザ側ではなく, 環境側にセンサデバイスを設置するアプローチが一般的であり, 例えば, 天井 [1][2] や

壁 [3], 床 [4], 家具 [5], 家電 [6] にデバイスを導入している研究が行われている. その中でもダイニングテーブルなどの机の上には食事や仕事, 娯楽などのさまざまな日常動作が集中しており, センサを設置することによりそれらの行動を取得できると考えられる.

机上の状態やユーザの行動を認識する研究は多く行われており, カメラによる画像認識を応用したシステムとして食事行動 [7] や食事内容 [8] を認識するシステム, 取得した情報から食事を支援するシステム [9] などがある. また, 各種センサを組み合わせた特殊な机を利用したシステムとして, 埋め込み型の電極を用いたシステム [10], RFID タグを用いたシステム [11][12], 圧力センサシートを用いたシステム [13] などがある. しかし, 住宅内にセンサを導入する場合, ユーザのプライバシーを考慮して情報を取得する必要があり, 画像を取得するカメラなどを用いる手法はユーザに監視されている印象を与えるため好ましくない [14]. また, 一般家庭への普及を考慮した場合, 家庭内で既に使われている机をそのまま利用できるシステムが望ましく, 特

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

殊な機構を備えた机を新たに導入することは、設置コストの面からも難しい。

そこで本研究では、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を認識する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は推定が困難であり、体全体を机上に乗せない限り体重の推測も困難であるため、ユーザのプライバシーに配慮している。荷重センサは天板裏の四隅、または机脚の接地面に取り付けることを想定しており、一般的な四脚机に容易にシステムを導入できる。また、机上面にはデバイス類を設置しておらず、ユーザはセンサの存在を意識することなく机を使用できる。提案システムは、取得した4点の荷重データから、机上に置かれたコップなどの物体の重量および位置の検出と、タイピングや筆記動作などのユーザが行う動作を認識する。提案システムの性能評価するために、荷重センサを設置した机を製作して、日常生活を想定したシナリオに沿った行動のデータを取得し、机上の物体の重量と位置の検出および机上での動作の認識を行なった。

以降、2章で関連研究について述べ、3章では机上動作認識システムについて述べる。4章で評価実験を行い、最後に5章で本研究をまとめる。

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、机上の物体判別やユーザの行動認識を高精度で行える。瀬戸らの研究 [7] では、食事時の行動を認識し、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。推薦される料理は天板上に画像で表示され、飲食店など料理を追加で注文する環境での利用が想定されている。上東らの研究 [8] では、機械学習の一種である Multiple Kernel Learning(MKL) 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種類の食事画像分類を行い、平均分類率 61.34%を達成している。しかし、机の周辺にカメラを設置しているため、ユーザは常に監視されている感覚があり、プライバシー保持の観点から一般家庭への導入は難しい。

カメラ以外に、机にセンサを設置して机上動作の認識を行う手法が提案されている。川嶋らの研究 [11][12] では、RFID リーダ、感圧センサ、重量センサを搭載したトレイを用いて、食器の近接情報を RFID タグと感圧センサにより検出し、摂食量を重量センサで推定する手法を提案している。また、取得したデータから個人の摂食パターンを自動的に記録し、記録した摂食パターンの視覚的および定量

的な提示方法を提案している。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。これに対して本研究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 [13] では、机と椅子の表面に圧力センサを敷き詰めたテーブルセットを製作し、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 [15] 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。本研究では、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。

3. 机上動作認識システム

3.1 想定環境

本研究で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4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適用可能なため、汎用性が高い。本研究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、各センサはセンサにかかっている重量を出力する。また、sensor1 から sensor4 までが設置されており、sensor1 の座標を (0,0)、sensor4 の座標を (X,Y) として定義する。ユーザは sensor3 と sensor4 が設置された方向から机を使用する。

3.2 認識手法

机の四隅に設置した荷重センサのデータから、机上でのユーザの行動を認識する手法について述べる。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正規化を行い、その後、荷重の平均値や分散値などの

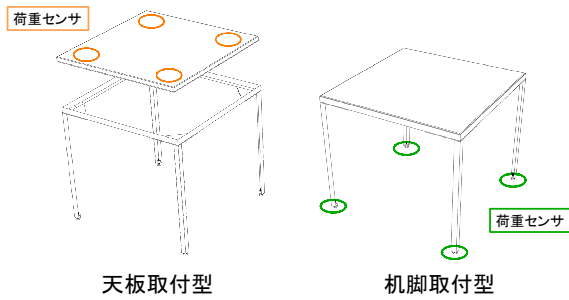


図 1 荷重センサの取付位置
Fig. 1 Position of load cells.

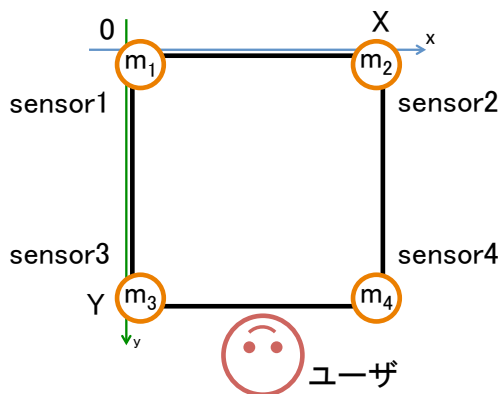


図 2 センサの座標系およびユーザと机の位置関係
Fig. 2 Coordinate system of sensors and user's position.

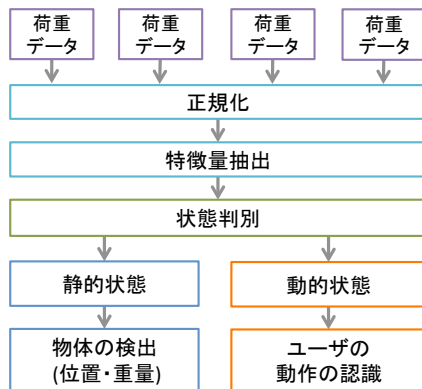


図 3 処理の流れ
Fig. 3 Recognition flow.

特徴量を計算する。得られた特徴量から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重量と位置を検出する。動的状態とは、机上に変化がある状態であり、動的状態と判別するとユーザが机上に触れながら行なっている動作を認識する。以下に、各処理について説明する。

3.2.1 キャリブレーション

荷重センサが取得するデータは、机自体の重量と机上に加えられる荷重が合わさったものである。机自体の重量はセンサの取付位置や机の種類によって異なるので、

机上動作の認識には、机上に加えられる荷重のみを利用する。そのためには、机本体または天板の重量を考慮してキャリブレーションを行う必要がある。センサデータに対して、現在の時刻を t 、キャリブレーションの基準とする時刻を t_{clb} 、4 個の荷重センサのセンシングデータを $(s_1(t), s_2(t), s_3(t), s_4(t))$ 、キャリブレーションに用いるウィンドウサイズを n_{clb} として、正規化済センシングデータ $(m_1(t), m_2(t), m_3(t), m_4(t))$ を以下の式に基づき計算する。

$$m_i(t) = s_i(t) - \frac{1}{n_{clb}} \sum_{j=t_{clb}-n_{clb}}^{t_{clb}} s_i(j) \quad (1)$$

これにより、机上に物体が無く、机上で動作を行っていない状態でキャリブレーションを行うと、同様の状態では正規化済センシングデータは理想的にはすべて 0 となる。以降、本研究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に由来するものとする。

3.2.2 特徴量抽出

正規化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 $Ave_m(t)$ 、総荷重分散値 $Var_m(t)$ 、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。

$$m(t) = m_1(t) + m_2(t) + m_3(t) + m_4(t) \quad (2)$$

$$Ave_m(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n}^t m(i) \quad (3)$$

$$Var_m(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n}^t (m(i) - Ave_m(t))^2 \quad (4)$$

3.2.3 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な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。そこで本研究では、机上状態として図 4 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。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。

次にこれらの机上状態を判別する手法について述べる。

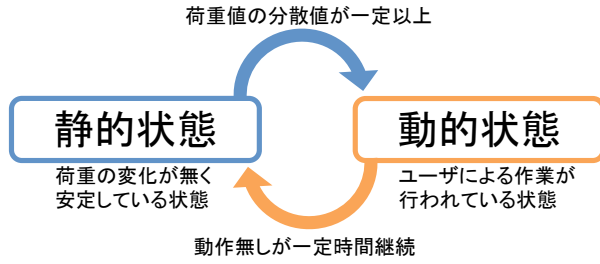


図 4 定義した机上状態とその遷移
Fig. 4 State transition diagram.

提案手法では、初期状態を静的状態として、総荷重分散値 $Var_m(t)$ 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。

3.2.4 静的状態における物体の検出

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重量および位置を計算し、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 j が付与され、それらの重量を M_j 、センサごとの重量を $(M_{j1}, M_{j2}, M_{j3}, M_{j4})$ とする。また、各物体の位置座標 (x_{M_j}, y_{M_j}) を、次式に基づき計算する。

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

$$y_{M_j} = \frac{1}{2} \left(\frac{M_{j3}}{M_{j1} + M_{j3}} + \frac{M_{j4}}{M_{j2} + M_{j4}} \right) Y \quad (6)$$

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物体の総荷重との差 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。

$$d = m(t) - \sum_{j=1}^k M_j \quad (7)$$

$$d_i = m_i(t) - \sum_{j=1}^k M_{ji} \quad (1 \leq i \leq 4) \quad (8)$$

$|d| \geq \beta$ 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閾値である。 $d \geq 0$ 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 $k+1$ であり、物体の重量およびセンサごとの重量は以



図 5 作業姿勢のユーザ
Fig. 5 Working posture.

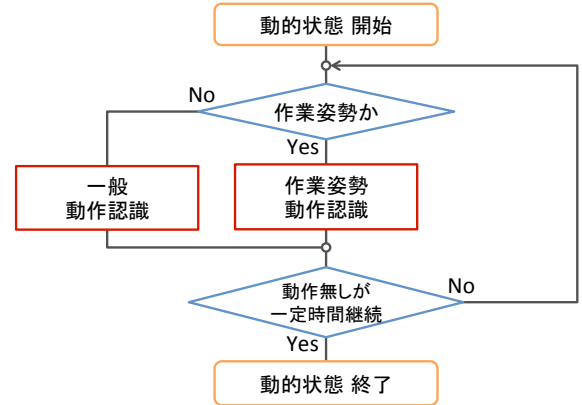


図 6 動的状態中の処理の流れ
Fig. 6 Recognition flow in active state.

下の式に基づき計算できる。

$$M_{k+1} = d \quad (9)$$

$$M_{(k+1)i} = d_i \quad (1 \leq i \leq 4) \quad (10)$$

また、 $d < 0$ 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。

$$\exists j_{lost}, \forall j : \sum_{i=1}^4 |M_{j_{lost}i} - d_i| < \sum_{i=1}^4 |M_{ji} - d_i| \quad (11)$$

3.2.5 動的状態における動作の認識

ユーザが椅子に座った状態で、机上の物体に対して何らかの作業を行うときに、手や腕への負担を軽減するために、図 5 に示すように、机の手前側の端で身体の一部を支持する例が多く見られた。このようなユーザの姿勢を作業姿勢と定義し、図 6 に示すように、ユーザが作業姿勢であればタイピングや筆記などの動作を判別するための作業姿勢動作認識を行い、作業姿勢でなければその他の動作を判別するための一般動作認識を行う。

ユーザが作業姿勢であるかを判別するために、ユーザの動作による荷重のセンサ値 $(m'_1(t), m'_2(t), m'_3(t), m'_4(t))$ とユーザの動作による荷重の重心位置 $(x'(t), y'(t))$ を以下の式に基づき計算する。

$$m'_i(t) = m_i(t) - \sum_{j=1}^k M_{ji} \quad (1 \leq i \leq 4) \quad (12)$$

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

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

ユーザが作業姿勢であるとき、重心の位置は机の手前側にあると考えられるので、重心の y 座標である $y'(t)$ が以下の不等式を満たすとき、作業姿勢であると判別する。ただし、 Y_{front} は作業姿勢と判別する領域である。

$$\frac{y'(t)}{Y} \geq Y_{front} \quad (15)$$

作業姿勢動作認識では、図 7 に示すように作業対象名と作業内容の 2 種類の情報を定義し、その組合せによってユーザの動作を認識する。ユーザが作業姿勢であれば、机上に既に追加されている物体の中から作業対象となる物体を選び、作業対象名を判別する。机上に物体が存在しなければ、作業対象名を「Nothing」とする。また、机上に物体が存在すれば、物体の位置とユーザの荷重による重心の間の距離 $l_j(t)$ が最小となる物体を作業対象として選ぶ。 $l_j(t)$ は以下の式に基づき計算する。

$$l_j(t) = \sqrt{(x'(t) - x_{M_j})^2 + (y'(t) - y_{M_j})^2} \quad (16)$$

提案手法では、ユーザが机上で使用する複数の物体の重量が既知であるとして、それぞれの重量を条件に、作業対象名を判別する。例えば、ユーザが机上で使用するノートパソコンと筆記用のバインダの重量が既知であるとして、作業対象の物体の重量とノートパソコンの重量の差が β' より小さければ、作業対象名を「PC」に、バインダの重量との差が β' より小さければ、作業対象名を「Binder」とする。ただし、作業対象の重量がいずれの条件にも合致しない場合は、作業対象を未知の物体として、作業対象名を「Unknown」とする。次に、作業内容とは、ユーザが作業姿勢で行う動作の大きさを示す情報であり、総荷重分散値 $Var_m(t)$ の値が閾値 α 以上となったときは、作業内容を「Active」として、作業対象を用いた何らかの動作を行なっていることがわかる。また α 未満となったときは、作業内容を「Stable」として、作業姿勢で静止している状態であるとわかる。ある時刻 t において、作業対象名が「PC」であり、作業内容が「Active」であれば、動作認識の結果は「PC: Active」となり、ユーザがノートパソコンを用いてタイピングなどの動作をしていることがわかる。同様に「Binder: Stable」であれば、ユーザがバインダ上で筆記を行わずに、作業姿勢で静止している状態であることがわかる。

次に一般動作認識では、ユーザが作業姿勢をとらず机上

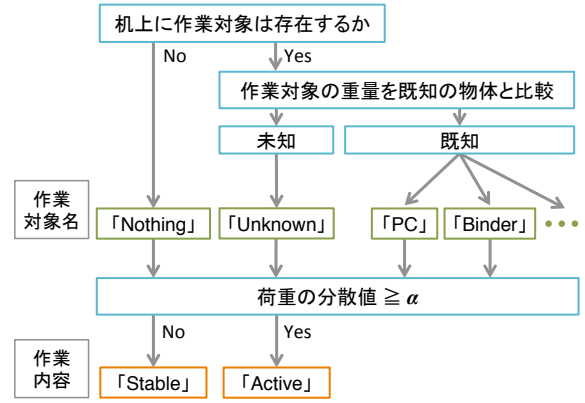


図 7 作業姿勢動作認識の流れ

Fig. 7 Recognition flow for working postures.

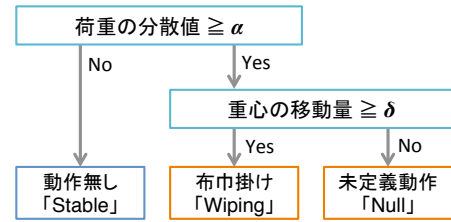


図 8 一般動作認識の流れ

Fig. 8 Recognition flow for other postures.

面全体に対して荷重を加える動作のひとつとして、布巾掛けを認識の対象とする。また、机上面の任意の場所を叩く、押すなどの瞬間的な動作も考えられるが、本研究では、それらをまとめて未定義動作として認識する。これらを認識するために総荷重分散値 $Var_m(t)$ と重心移動量 $l'(t)$ を特徴量として用いる。時刻 t における、 $l'(t)$ は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。

$$l'(t) = \sqrt{(x'(t) - x'(t-n))^2 + (y'(t) - y'(t-n))^2} \quad (17)$$

図 8 に示すように、ある時刻 t において $Var_m(t)$ が閾値 α 未満であれば、ユーザは机上面に対して動作を行っていないと考えられるので、動作無し「Stable」と認識する。また、 $Var_m(t)$ が閾値 α 以上であり、かつ $l(t)$ が閾値 δ 以上であれば、机上面全体に対して動作を行っていると考えられるので、布巾掛け「Wiping」として認識する。その他の動作は未定義動作「Null」として認識する。

3.3 システムの実装

本研究では、図 9 に示す四脚、正方形型の天板が取り外せる机を製作し、提案手法を適用した。荷重センサの設置方法は天板取付型である。寸法および重量を表 1 に示す。荷重センサは任天堂社のバランス Wii ボード [16] に内蔵されているものを使用した。センサの主な仕様を表 2 に示す。各センサは図 10 に示すように、天板裏側の中央に設置した基盤に接続されており、取得したデータは Bluetooth によって PC へ送信される。PC はレノボ社の ThinkPad X230 を



図 9 製作した机と設置した荷重センサ
Fig. 9 An experimental desk and load cell.

表 1 机の寸法と重量
Table 1 Desk specifications.

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

表 2 荷重センサの主な仕様
Table 2 Load cell specifications.

耐荷重 (4 基合計) [kg]	130
測定誤差 [kg]	± 0.2
サンプリングレート [Hz]	15
サイズ [mm]	55(W)×45(H)×20(D)

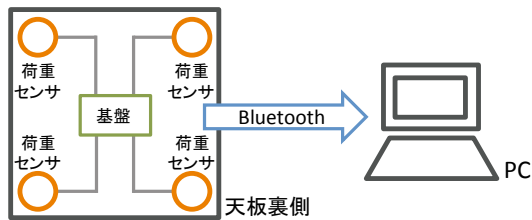


図 10 センサの構成
Fig. 10 Sensor configuration.

使用し、パソコン側のソフトウェア開発には、Microsoft 社の VisualC# 2010 および WiimoteLib[17] を用いた。

4. 評価実験

4.1 実験内容

実験で使用するデータは、3.3 節で実装した天板取付型の机を用いて収集した。本実験では日常生活を想定したシナリオに沿った行動のデータを 10 名 (男性 9 名, 女性 1 名, 21 才～25 才) の被験者から採取した。実験では、行動シナリオ中のすべての時刻 t において、提案手法による動作認識結果を出力し、被験者が実際に行なった動作との比較を行う。行動シナリオ中に被験者が行う動作を表 3 に示す。ただし、動作認識結果には、動的状態中の作業姿勢動作認識によって「Unknown: Active」、「Unknown: Stable」、「Nothing: Active」、「Nothing: Stable」の 4 種類の動作が出力される場合がある。被験者は、机上に物体が置かれていない状態を初期状態として、重量が既知であるノートパソコンと筆記用のバインダ、重量が未知である瓶の 3 種

表 3 行動シナリオ中の動作一覧

Table 3 Actions in the scenario.

動作名	内容
Stable	動作無し
Null	未定義の動作
Wiping	机上面全体を布巾掛け
PC: Active	PC 上でタイピング動作
PC: Stable	PC 上に手を置き静止
Binder: Active	バインダ上で筆記動作
Binder: Stable	バインダ上に手を置き静止

表 4 実験で用いたパラメータの値

Table 4 Parameters used in experiment.

パラメータ	値
座標系 (X, Y)	(79, 79)
キャリブレーションウィンドウサイズ (n_{clb})	10
特徴量計算ウィンドウサイズ (n)	5
動的状態終了の条件継続時間 (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質量 (β)	0.300 kg
作業対象名の許容誤差重量 (β')	0.250 kg
作業姿勢の判別条件 (Y_{front})	0.90
移動量の閾値 (δ)	0.20

類の物体を任意の順番で机上の任意の場所に追加する。以降、ノートパソコンを PC と表記する。ユーザは PC を用いたタイピング動作とバインダ上の紙に対する筆記動作を任意のタイミングでそれぞれ約 60 秒間行う。タイピングおよび筆記の内容は、あらかじめ PC 上に表示されたウェブページの文章を用いる。その後、机上の置かれた 3 つの物体を任意の順番で除去し、机上面全体に対して布巾掛けを約 5 秒間行う。PC の重量は 2.07kg, 紙とペンを含むバインダの重量は 1.00kg, 瓶の重量は 1.16kg であった。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 4 に示す。評価項目は机に追加された物体の重量および位置の検出誤差と机上動作の認識精度である。正解の行動情報は筆者らが手作業で付与し、提案手法が出力した認識結果と比較することで再現率および適合率を計測した。

4.2 結果と考察

物体が机に置かれた際の物体の重量および位置の検出誤差を表 5 に、机上動作の認識結果のサンプル数、再現率および適合率を表 6 に示す。

物体の検出について

本実験では各被験者が 3 回ずつ、計 30 回の物体の追加を行ったが、システムが物体を検出した回数は 32 回であり、再現率は 100%, 適合率は 93.7% となった。これは被験者の動作による荷重を誤って物体として検出することが 2 回あったためである。原因として、ユーザが作業対象の物体に対して身体を支持する荷重を加えて荷重の変化が安

表 5 物体の重量および位置の検出誤差
Table 5 Results of object recognition.

追加した物体	重量 [kg]		位置 [cm]	
	誤差平均	誤差偏差	誤差平均	誤差偏差
バインダ (1.00 kg)	0.047	0.056	7.3	5.8
瓶 (1.16 kg)	0.079	0.139	9.1	7.4
PC (2.07 kg)	0.086	0.126	4.8	1.9

定し、静的状態へ遷移後、物体として検出されたためであると考えられる。これに対しては、作業姿勢と判別する領域を机上面の手前側の領域だけではなく、作業対象の物体の位置から一定距離内の領域に拡張すれば、作業対象に身体を支持する荷重を加えながら作業した場合でも作業姿勢と判別できる。一方、作業対象と判別する領域に対して物体を追加した場合、ユーザの動作による荷重として扱われ、物体として検出することができない。このことから、作業姿勢において動作状態が一定時間以上「Stable」であった場合は、ユーザの動作による荷重ではなく、物体として検出するなどの工夫が必要である。

物体の重量に関して表 5 より、誤差は物体の重量の 5%程度であった。物体の位置に関しては 4.8cm~9.1cm となり、物体の重量が重いほど誤差は小さくなった。これは、重量が重いほど各センサのぶれが小さくなったためであると考えられる。3 種類の物体の位置は、PC は机上面中央に、バインダおよび瓶は机の角や端に追加される傾向があり、物体が机の端にあり、各センサから物体までの距離に偏りがある場合や物体の重量が小さい場合などに位置の誤差が大きくなった。重量および位置の誤差が生じる原因のひとつとして、センサノイズが挙げられる。机上に物体が置かれていない静的状態において、正規化済センサデータを分析したところ、センサノイズの平均値は 0.025kg、最大値は 0.111kg であった。物体の検出後に静的状態の一定区間において荷重値の平均をとり、センサノイズを除去する対処が有効であると考えられる。他の原因として、センサの設置環境による影響が挙げられる。実際の使用環境では、机上面の反りや床面の沈みこみによって、机上面が水平に保たれず、4 点のセンサへの荷重の加わり方に偏りが生じることが考えられる。今後、使用する機の種類や設置する床面による影響を検証する必要がある。

動作の認識について

次に机上動作の認識精度について考察する。一般動作について、未定義動作「Null」を 41.9%、布巾掛け「Wiping」を 64.2%の再現率で認識した。未定義動作「Null」については、主に誤認識された動作として、動作無し「Stable」および布巾掛け「Wiping」が挙げられる。正解の行動情報を未定義動作「Null」とした区間は、被験者が机上に物体を追加する際の、物体を机上面に接触させた時刻から物体から手を離れた時刻までである。被験者によっては、物体に

衝撃が加わらないように、物体を安定させた後に手を離すために、総荷重分散値 $Var_m(t)$ が一部の区間で閾値 α よりも小さくなり、動作無し「Stable」と認識されたと考えられる。また、センサノイズの影響により重心移動量 $l'(t)$ が一部の区間で実際よりも大きくなり、布巾掛け「Wiping」と認識されたと考えられる。布巾掛け「Wiping」については、主に誤認識された動作として、「Nothing: Active」が挙げられる。これは布巾掛けの対象が机上面全体であるため、作業姿勢と判別する領域に対して布巾掛けを行なった時刻において、「Nothing: Active」と認識されたと考えられる。実際に布巾掛けを行なっている時刻の認識結果を確認したところ、多数の「Wiping」と少数の「Nothing: Active」が交互に認識されていた。実際のユーザの動作において布巾掛けと作業姿勢を短い周期で繰り返すことは考えにくく、あるウィンドウサイズの中で多数の「Wiping」と少数の「Nothing: Active」が認識されていれば、このウィンドウの認識結果をすべて「Wiping」に補正するなど、特定の動作の組み合わせが発生した場合、認識結果を補正する方法が考えられる。

作業姿勢動作認識においては、PC 上でのタイピング動作「PC: Active」を 59.2%、PC 上に手を置き静止する「PC: Stable」を 27.8%、バインダ上での筆記動作「Binder: Active」を 67.4%、バインダ上に手を置き静止「Binder: Stable」を 39.3%の再現率で認識した。これらの動作の再現率が低下する要因として、2 つのことが考えられる。一つ目の要因として、正確な認識結果の間に誤認識結果がノイズとして繰り返される点である。本実験では正解データとして被験者によるキーボードの打鍵の開始から終了までを「PC: Active」としているが、実際には打鍵間隔が大きく打鍵していない区間が存在し、一部が「PC: Stable」と判別された。このような場合においては、布巾掛けと同様に、あるウィンドウサイズの中で特定の動作の組み合わせが発生した場合、認識結果を補正する方法が考えられる。二つ目の要因として、物体の検出結果の誤差により、作業対象あるいは作業対象名の決定が適切で無い場合ある点である。被験者 H は、PC の重量の検出結果誤差が 0.45kg と大きく、作業対象名が「PC」ではなく「Unknown」と判別された。このため、被験者 H のタイピング時における動作認識結果は「Unknow: Active」となり、再現率を低下させる要因となった。被験者 F においては、「PC: Active」を 94.0%、「Binder: Active」を 91.0%の再現率で認識している。

4.2.1 認識結果の実利用について

提案手法による机上動作の認識結果の利用方法として、状況に応じた周辺家電の自動制御や家庭内でのライフログの生成などが考えられる。現在時刻から過去の一定区間の動作認識結果について分析を行うことにより、認識率の低さを補いつつ、食事や仕事、娯楽などの実際に机上で行わ

表 6 動作の認識精度

Table 6 Results of action recognition.

Input \ Output				PC		PC		Binder		Unknown		Nothing		Recall[%]
	Stable	Null	Wiping	Active	Stable	Active	Stable	Active	Stable	Active	Stable	Active	Stable	
Stable	7420	531	258	113	7	151	28	39	0	75	0			86.0
Null	298	484	247	33	0	64	0	14	0	14	0			41.9
Wiping	18	150	895	0	0	0	0	0	0	330	0			64.2
PC: Active	1007	462	580	5187	354	197	3	905	63	0	0			59.2
PC: Stable	463	67	75	309	371	4	0	11	30	0	0			27.8
Binder: Active	249	232	194	1200	0	6569	423	877	0	0	0			67.4
Binder: Stable	76	17	64	8	0	104	11	0	0	0	0			39.3
Precision[%]	77.8	24.9	38.6	75.2	50.7	92.7	23.7	—	—	—	—			—

れている上位の行動コンテキストが認識できれば、状況に応じた照明の明るさ調整や周辺家電の電源制御、支援サービスなどが提供できる。また、一日など長い時間をかけて取得したデータをオフライン解析し、ノイズとなる誤認識結果を多数決などによりフィルタリングすることにより、家庭内に再現率および精度の高いライフログの生成ができると考えられる。

5. まとめ

本研究では、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重量と位置の検出を行い、動的状態においては机上での動作認識を行う。評価実験から、物体の重量を誤差 0.07kg、位置を誤差約 7cm で検出し、動作認識において布巾掛けが 64.2%、タイピングが 59.2%、筆記動作が 67.4%の再現率が得られた。今後の課題として、実環境での利用に向けて、机脚取付型システムの製作や食事、仕事、娯楽などの上位の行動コンテキストの認識が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、科学技術振興機構さきがけ、科学研究費補助金若手 (B) (24700066) および株式会社富士通研究所の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Murao, K., Terada, T., Yano, A. and Matsukura, R.: Detecting Room-to-Room Movement by Passive Infrared Sensors in Home Environments, *Proc. of the 1st Workshop on Recent Advances in Behavior Prediction and Pro-active Pervasive Computing (AwareCast 2012)*, pp.3:1-12 (2012).
- [2] Wren, C.R. and Tapia, E.M.: Toward Scalable Activity Recognition for Sensor Networks, *Proc. of the 2nd International Workshop on Location- and Context-Awareness (LoCA 2006)*, pp.168-185 (2006).
- [3] Wilson, D. and Atkeson, C.: Simultaneous Tracking and Activity Recognition (STAR) Using Many Anonymous, Binary Sensors, *Proc. of the 3rd International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2005)*, pp.62-79 (2005).
- [4] Addelee, M.D., Jones, A., Livesey, F. and Samaria, F.: The ORL Active Floor, *IEEE Personal Communications*, Vol.4, No.5, pp.35-41 (1997).
- [5] 初雁卓郎, 椎野俊秀, 村井真也: ベッド上の患者行動を推定・通知するシステム「離床 CATCH」の提案, *労働科学*, Vol.88, No.3, pp.94-102 (2012).
- [6] 朝木克利: 人間行動の認識・蓄積のためのワンルーム型センシングシステムの研究-行動認識手法の提案-, 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.2P1-76-119, pp.1-2 (2000).
- [7] 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 (2009).
- [8] 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 (2010).
- [9] 森 麻紀, 栗原一貴, 塚田浩二, 椎尾一郎: 投影型拡張現実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 (2010).
- [10] 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 (2005).
- [11] 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 (2006).
- [12] 小野康弘, 川嶋稔夫, ハルトノ ビトヨ: 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 (2008).
- [13] 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, pp.1-2 (2000).
- [14] 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 (2009).
- [15] Schmidt, A., Strohbach, M., Laerhoven, K.V. and Gellersen, H.W.: 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 (2003).
- [16] 任天堂: WiiFit バランス Wii ボード, 入手先 (<http://www.nintendo.co.jp/wii/rfnj/>) (参照 2012-03-12).
- [17] Brian Peek: WiimoteLib - .NET Managed Library for the Nintendo Wii Remote (online), available from (<http://www.brianpeek.com/page/wiimotelib/>) (accessed 2012-05-20).