着席時における姿勢変更動作を用いるインタラクション手法

\overline{A} 山 英 貴 $^{\dagger 1}$ 高 橋 $\overline{\mu}$ 田 中 \overline{L} 郎 $^{\dagger 1}$

デスクトップパソコンを利用する際にはイスに座ることが一般的である。そのため 着席者の動作や状態は自然にコンピュータ操作に利用することができると考えられる。 しかしイスに関する研究のほとんどは着席時の静的な着席状態や無意識の姿勢変更を 利用するものとなっており、能動的な動作を操作に用いるものとはなっていない。そこ で本研究では、着席時の意識的な姿勢変更動作を用いてインタラクションを行う手法 を開発した。姿勢変更動作を用いることにより、コンピュータ操作の補助を行えたり、 ゲームなどで体感操作を行うなどのエンターテイメントとしての利用も考えられる。

本研究ではイスの座部の圧力を測定するシートを作成し、それを用いて姿勢変更動作を認識して利用する手法を開発した。また、本手法の利用例を示すためにいくつかのアプリケーションを作成し、更に姿勢変更動作を操作に用いることの有用性を調査する実験を行った。

An Interaction Technique using Intentional Change of Posture on the Chair

EIKI ISHIYAMA,^{†1} SHIN TAKAHASHI^{†1} and JIRO TANAKA^{†1}

Most of the time, people are sitting on the chair when using desktop computer. So, sitting people's action and posture can be used for digital work. But most of the researches on the chair only use people's static posture or unconscious action, not using intentional action. In this research, we implemented an interaction technique using intentional change of posture on the chair. Using intentional change of posture will support people in operate computer, or it can be used for entertainment like game control with real physical action.

In this research, we developed a sheet for measuring the pressure on the seat, and implemented a way to recognize intentional change of posture on the chair. We also developed some applications to explaining how to use our technique, and we conducted experiments to investigate usability of using intentional change of posture.

1. はじめに

ユーザの動作や状態を認識する研究として、イスにセンサを設置して着席者の姿勢を把握するものがある。例としては、圧力センサをイスの座部や背もたれに設置して、姿勢変動などから着席者の状態や感情を推測するもの¹⁾²⁾ や、着席時の姿勢情報から個人認証を行うもの³⁾ などが挙げられる。イスを用いる利点としては、デスクトップパソコンなどを利用する際にはイスに座ることが一般的であるため、着席者の動作や状態はコンピュータ環境において自然に利用できることが挙げられる。この利点から着席時の動作をコンピュータ操作に利用することが考えられるが、イスを利用した研究のほとんどは着席者の無意識的な姿勢変更や静的な着席状態を認識するものであり、着席者が能動的にインタラクションを行うものとはなっていない。

そこで我々は、イスに座った着席者の姿勢変更動作を利用したインタラクション手法を提案する. 姿勢変更動作とは、イスに着席した状態で、意識的に上体を傾けたり足を動かしたりするような動作であると定義する. 姿勢変更動作を利用することで、イスを利用する利点を持ちながら能動的にコンピュータ操作を行うことが可能となる. 本研究ではイスの座面に圧力の分布を測定するシートを設置し、それを用いて動作を認識して操作を行う. 姿勢変更動作の具体的な内容として、本研究では2種類の違った特徴を持つ動作を考案した.

本論文では、まず第 2 章で姿勢変更動作とそれによるインタラクション手法についての詳細な説明を行い、その利用例として我々が作成したアプリケーションを示す。その後第 3 章で圧力分布測定シートの説明と動作認識システムの実装について説明し、第 4 章では動作の認識精度を調査した実験の結果とその考察を述べる。第 5 章では関連研究について述べ、第 6 章でまとめる。

2. 着席時における姿勢変更動作を用いるインタラクション手法

本章ではまず本手法の概要を述べ、次に姿勢変更動作の具体的な動作を説明する. その後に姿勢変更動作を用いる利点や具体的な操作について、我々が作成したアプリケーションの説明を交えて述べる.

2.1 概 要

本手法はイスの座面に圧力分布測定シートを設置し、それに座った状態で姿勢変更動作を

^{†1} 筑波大学 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻

行うことによって操作をするものである。姿勢変更動作利用の例を図 1 に示す。図 1 は全画面でブラウザを開いている際に上体を右に傾けることで、システムトレイに格納しているメールソフトをマウスなどを動かさずに表示している $^{\star 1}$. 姿勢変更動作による操作は手を用いずに行えるため、マウスやキーボードのようなデバイスとの併用操作や、それらを補助するような操作を行うことができる。また、本手法はエンターテイメントにも利用できると我々は考える。体の傾き具合や方向によりキャラクターなどの操作を行うことで、操作対象の動きを実際に感じることのできる体感操作が可能になる。更に、長時間操作が行われる際には、立って操作を行うものに比べて長時間の利用が容易になるという利点も考えられる。

姿勢変更動作を認識するためには、カメラを利用したり加速度センサなどを身につける方法が考えられるが、カメラを利用する場合はイス自体が動いた際のキャリブレーションや視野角の問題、机で隠れる部分の動作を認識できない問題がある。センサを身につける場合は操作を行う前に器具を装着する手間が必要となり、自然に利用できるというイスの利点を無くしてしまう。よって本研究では、特別な前準備が必要なく、常に体と接していて安定した入力が可能な、圧力分布測定シートを座面に設置する方法をとることにした。圧力分布測定シート上での姿勢変更動作の具体的な内容として、既定動作と重心移動動作と名付けた特徴の違う2種類の動作を考案した。





図1 姿勢変更動作による操作例:メールソフトの起動

2.2 既定動作

既定動作は特定の一連動作を行うことによって操作を行うものである. 一連動作の内容としては、真っすぐ座った通常姿勢から上体を傾けて静止する「傾き動作」(図 2 上段),腰を振り元の通常姿勢に戻る「振り子動作」(図 2 中段),足を上げ下げする「足の動作」(図 2 下段)の3種類を利用することができる. 各動作は動作の方向も利用でき、傾き動作は左右方向に、振り子動作は左右と前方向または上方向(腰を浮かせてジャンプをするような動作)に、足の動作は左右の足に、それぞれ違う操作を割り当てることができる. また、足の動作は他の2つの動作に比べて素早く行うことができるため、この動作のみ二回連続で行った場合と一回で動作を終了した場合とで違った操作を割り当てられるようにした. よって既定動作では動作の内容と方向により、傾き動作で2個、振り子動作で4個、足の動作で4個の計10個の動作により操作を行うことができる. 既定動作は一連動作が行われるごとに操作が行われるため離散的な操作に向いており、特定の入力操作や項目の選択、モードの切り替え操作などが適していると考えられる.

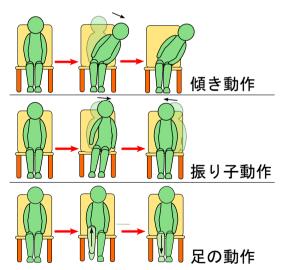


図2 既定動作(上段:傾き動作、中段:振り子動作、下段:足の動作)

^{*1} この図では姿勢変更動作を示すために大きく上体を動かしているが、実際はもっと小さな動きで操作可能である。

2.3 重心移動動作

重心移動動作は、上体を傾けてイスの座面における重心位置を移動させ、通常姿勢に対する移動の方向と大きさにより操作を行う動作である。方向は前後左右方向を利用でき、各方向にそれぞれ違う操作を割り当てることができる。重心移動の大きさは最大で片側の腰が完全に座面から離れる程度までを測ることができ、距離の値を連続値のように利用したり、一定値ごとに段階を設定してその段階ごとに操作の精度を変えたりすることができる。重心移動動作はスライダー操作や簡単なポインティング操作に適しており、更に連続的な操作が可能なため、連続した方向の入力によって決定を行う Marking menu⁴⁾ の操作も行うことができると思われる。

2.4 姿勢変更動作の利用

我々は姿勢変更動作の利用の具体例として、「キーストローク入力アプリケーション」「ペイントアプリケーション」「ボブスレーゲームアプリケーション」の3つのアプリケーションを作成した。前の2つが各姿勢変更動作を用いたコンピュータ操作補助の例であり、後の1つがエンターテイメント利用の例である。以下で各アプリケーションの詳細を述べる。

2.4.1 キーストローク入力アプリケーション

キーストローク入力アプリケーションは既定動作にキーストローク入力操作を割り当てることのできるアプリケーションである。これを用いることで、大画面利用時などでキー入力手法を確保できない場合や、片手のみ利用可能でその手でマウスを操作をしている場合にブラウジングやファイル操作、文章作成などの操作を行うことができるようになる。また、タブブラウザにおいて左右振り子動作により左右のタブに移動するといったように、タブやファイルなどの位置関係と動作方向を対応させた操作を設定することにより、操作が覚えやすくなると考えられる。更に、キーボードを使用している場合に、手をホームポジションから動かさずに操作を行えるという利点もあると我々は考える。

このアプリケーションでは、1個の既定動作に対して複数のキーを連続押しまたは同時押しで割り当てることができるため、ショートカットキー操作や定型文入力などを行うことが可能となる。具体的な操作例を述べると、まずマウスで文章や画像を選択しCtrl+cキーを割り当てた右足一回動作を行うことでコピーを行う。次にコピー先をマウスで選択して、Ctrl+vキーを割り当てた左足一回動作で張り付けを行う、といった操作が行える。

2.4.2 ペイントツールアプリケーション

ペイントアプリケーションは重心移動動作により描画色や線の太さを変更し、マウスで自由曲線の描画を行うアプリケーションである。通常の描画色や線の太さの変更では、マウス

カーソルをカラーパレットまで移動させる必要があり、作画の流れが中断されてしまう。しかし体の傾きによりこれらの変更を行うことでこの手間を省略でき、次の描画開始点までマウスを動かしている間に色を変更するというように、作画の流れを中断せずに変更を行うことができるようになる。また、良く使う色を選択するための体の傾き具合を覚えることで、スムーズに選択が行えるようになると考えられる。

アプリケーションの画面を図 3 に示す. 図の上の右領域は現在の描画色と線の太さを示し、左領域は色相のマップを示す. 色相のマップでは黒枠により体の傾き具合が示され、目的の色を選択するためにどのように体を動かせばよいかが見てわかるようになっている.

描画色の変更について説明する.体の左右の傾き具合と描画色の色相が対応しており、体を大きく左に傾けている場合は色相の値が0となり、大きく右に傾けている場合は値が360となる.すなはち、右に大きく傾いている場合は描画色は赤色、真っすぐ座っている通常姿勢である場合は水色といったように、体の傾き具合で直接描画色を変更することができる.描画色はマウスでの描画中には変更されず、更に描画中に通常姿勢に戻ることで、再び動作を行うまでその描画色で描画を続けることができる.また、体を前後に傾けることで線の太さを変更できる.体を一定以上前に傾けると一定時間ごとに段階的に線の太さが太くなり、同様に一定以上後ろに傾けると細くなる.描画色と違い体の傾き具合で選択となっていないのは、前後の傾き具合の調整が左右よりも難しいためである.

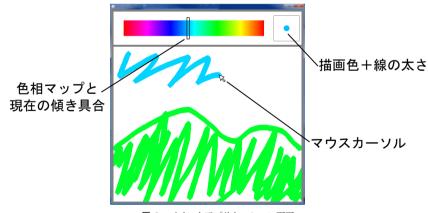


図3 ペイントアプリケーション画面

2.4.3 ボブスレーゲームアプリケーション

エンターテイメント利用の例として、我々はボブスレーゲームアプリケーションを作成した。本手法をゲーム操作に利用することで、例えば右のカーブでは右に体を傾けるといった、実際のボブスレーで行われるような動作と同じ動作を行うことで操作することができる。このため、操作対象の動きを実際に感じることのできる体感操作が可能になる。特にボブスレー競技や車やバイクの運転などは通常座って行うため、イスに座って操作を行う本手法ではより体感的に操作を行うことができると考えられる。

ゲーム画面を図4に示す.手前の黄色いオブジェクトが自機であり、半円状にくぼんだ白いコースに沿って自動的に前へ進む.ゲームの操作は重心移動動作により行い、体を左右に傾けると傾きの大きさによって自機が左右に移動する.自機はカーブに差し掛かると図4の右のように遠心力で外側にあおられるため、コース外に飛ばされないように体を曲がる方向に傾けてカーブを乗り越え、ゴールを目指す.

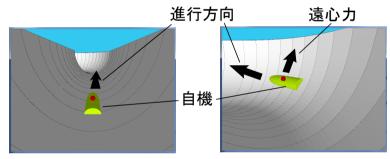


図 4 ボブスレーゲームアプリケーション(左:直線, 右:左カーブ)

3. 認識システムの実装

本研究ではユーザの動作の認識を、イスの座面に圧力センサを敷き詰めて作成した圧力分布測定シートを設置し、圧力の推移を計測することで行う. 認識システムの開発環境としては、OS は Windows 7 Professional を、IDE は Eclipse 3.5 Galileo を使用している. 以下では、まず圧力分布測定シートについての説明を行い、次に得られた圧力分布データから動作を特定するための処理の概要を述べる.

3.1 圧力分布測定シート

圧力分布測定シートを図 5 に示す。圧力分布測定シートは塩化ビニルシートに,圧力センサにセンシング部を中心として 68mm × 68mm の木の板を張り付けた圧力測定パネル (図 6) を、4mm 間隔で 4 × 4 の格子状に設置したものである。

圧力測定パネルは少ないセンサで広範囲の圧力情報を取得するために作成した. 少ないセンサで圧力を取得するためにはユーザの体とイスの接触領域に集中してセンサを設置する方法が考えられるが、イスに長時間座っている場合は着席姿勢の崩れや座り直しにより、着席位置のズレが生じてしまうと考えられる. このため本研究ではセンサを碁盤の目状にイスの座面全体に設置することとした. しかしそうすることでセンサ間隔が大きくなってしまい、着席状態によってはユーザの体が一部のセンサに触れず、全てのセンサを有効に利用できない可能性がある.

そこでセンサに木の板を張り付けた圧力測定パネルを利用することにした。センサに触れなくとも、木の板に触れることによりセンサに圧力を伝えることが可能になる。圧力測定パネルはそのままでは面積の広い木の板が圧力を分散させてしまうため、木の板を張り付けたセンサのセンシング部の中央に小さな突起を付けた。そして木の板の四辺に突起と同じ厚さのスポンジ状の両面テープを張り付けてシートに固定することで、うまく圧力がセンシング部にかかるように設計した。実際の使用ではこのシートの上に薄いクッションを乗せて利用する。

圧力センサはインターリンク株式会社の薄型圧力センサ FSR400* 1 (Force Sensing Resistors 400)を使用している。この圧力センサの圧力感知範囲は $10g\sim10$ kg で,出力はアナログ抵抗値出力である。圧力分布測定シートによって測定された圧力データは Arduino MEGA 2560^{*2} によって 256 段階のデジタルデータに変換され,シリアル通信でコンピュータに送信される。変換におけるサンプリングレートは 10Hz とする。なお,以降では時系列におけるあるサンプル点をフレームと記述する。

3.2 姿勢変更動作の認識手順

3.2.1 既定動作の認識

既定動作の認識の手順は、まずユーザが現在動作を行っている動作状態であるか、もしく は行っていない安静状態にあるかの判別を行う。そして動作が開始された後に終了したら、

^{*1} FSR400: http://www.interlinkelec.co.jp/technology/index.html

^{*2} Arduino MEGA 2560 : http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560



図 5 圧力分布測定シート

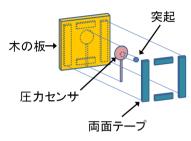


図 6 圧力測定パネル

次に動作の種類の分別をし、最後に動作方向を特定するという流れになる.

ユーザの動作状態判別

ユーザが動作を行っているかの判別は、圧力センサの総和値の変動を見ることによって行う.動作を行っていない場合には圧力総和値はほぼ一定で安定し、動作を行っている場合には体重の移動や体と座面の接触面積の変化により、図7のように大きく変動する.よって1フレーム間の圧力総和値の差分が大きい場合はユーザが動作状態にあると認識することができる.図7は振り子動作や足の動作のような、開始姿勢と終了姿勢がほぼ同一の場合のグラフで、赤い部分がユーザが動作を行っている箇所をである.本研究では動作の開始と終了の識別に圧力総和値による条件を設けており、開始フレームと終了フレームの間の区間をユーザの動作として以降の動作種類と方向の認識処理を行う.

動作開始の条件は、安静状態にある時の 1 フレーム間の差分値がしきい値 θ_1 を超えることである。 θ_1 は小さければ僅かな動きで動作を行えるようになるが、小さすぎる場合は操作を意図しない動きによる誤認識が発生してしまう可能性が高くなる。本研究では試行の結果、 θ_1 を安静状態の圧力総和値の 10 %に設定した。

動作終了においてもフレーム間の差分値としきい値 θ_2 を比較することで判定を行う。ここで終了判定を開始判定と同様に 1 フレームで行うと,図 8 のように,谷の底の部分のような差分値変動の小さい箇所で動作が終了したと判定されてしまう場合がある。この問題に対処するためには,フレーム差分が θ_2 を下回るフレームがある程度連続していたら終了と判定すればよい。しかし緩やかな動作に対応するために連続数を長くすると動作の正規終了の判定にも長く時間がかかってしまう。

そこで本研究では,圧力総和値が安定し始めた時の値が動作開始時の値とほぼ等しい場合(図8の正規終了箇所の場合)は連続数を2に,2つの値の差が大きい場合(図8の誤認識箇所の場合)は連続数を5にするといった方法をとることにした.これにより動作の途中で終了とされる誤認識が無くなり,正規終了の際には判定時間を短くすることができる.傾き動作の場合のみ正規終了時の圧力総和値が動作開始時の値と大きく異なるため判定時間が長くなってしまうが,傾き動作はその動きの内容から連続して行うものではないので大きな問題にはならないと思われる.上記の内容を考慮し試行した結果, θ_2 は動作の直前の安静状態の圧力総和値の5%に設定した.連続数を決定する際の値の近さを計る際にも同様のしきい値を利用している.

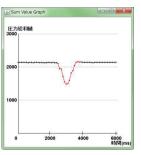


図7 圧力総和値グラフ

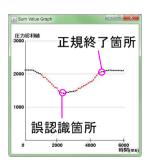


図8 途中で途切れた既定動作

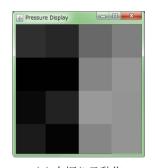
動作種類の識別

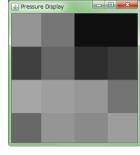
次に、動作開始時と終了時の圧力総和値の差分と、動作区間の圧力総和値グラフの極値点周辺における圧力分布によって、動作の種類を 3 種類に分別する。傾き動作は開始時点と終了時点の姿勢が異なるため、2 点の総和値の差分値が大きくなり、振り子動作と足の動作は 2 点の姿勢が同じのため差分値が小さくなる。よって差分値がしきい値 θ_3 より大きい場合は動作の種類は傾き動作であり、小さい場合は振り子動作か足の動作であると識別できる。本研究では θ_3 は動作の直前の安静状態の圧力総和値の 5 %に設定した。

次に振り子動作と足の動作の分別を行う.この2つの動作は、通常姿勢からの姿勢変化量が最も大きい時点であるグラフの極値点において、圧力分布差分図に違いが生じる.振り子動作は動作方向の圧力値が増加し、その反対方向の圧力値は減少する.それに対

して、足の動作は動かした足の方向の前半部の圧力値が減少するのみである。図 9(a) は姿勢変化量最大時における右方向振り子動作の圧力分布図であり、図 9(b) は同様の時点での右足の動作の圧力分布図である。各図とも、白くなっている箇所ほど圧力値が高いことを示す。

よって2種類の動作を分別するために、圧力分布差分図を左前、左後、右前、右後の4つの部分に分けた.各部において減少の大きい箇所を検出する.減少の大きい個所が前方向の左右どちらかである場合は足の動作、それ以外は振り子動作であると識別する.ここで増加した箇所を無視したのは、本研究で作成した圧力分布測定シートを用いた場合、増加値よりも減少値の方が顕著に表れるためである.





(a) 右振り子動作

(b) 右足の動作

図9 姿勢変化量最大時における圧力分布図

動作方向の識別

最後に動作方向の識別を行う。動作方向は左右と前,及び上方向があるが,上方向とその他の方向では認識が異なる。その他の方向はイスの座面上の動作であるため圧力分布の推移から識別を行うが,上方向は腰を座面から完全に浮かす動作であるため座面にかかる圧力値がほぼ 0 になるので,圧力総和値を観測することで識別できる。よって初めに上方向か否かの識別を行う。動作区間中の圧力総和値の最小値が θ_4 を下回る場合は上方向動作として識別され,動作の認識手順を終了する。 θ_4 は他の方向動作を行った際の圧力総和値の最小値が下回らないような値である必要があり,本研究では動作の直前の安静状態の圧力総和値の 40 %に設定した。

左右と前方向の識別はフレーム間差分を用いて行う、動作区間内のフレームにおいて

1つ前のフレームとの差分をとり、その圧力分布差分図を左右二分割したその差と、同じ図を前後二分割したその差とを比べる。例えば動作方向が右の場合、右半分の圧力値が大きくなり左方向の圧力値が小さくなる。よって圧力分布差分図の左右二分割差分値が大きくなり、前後二分割差分値は比較的小さくなる。よって左右二分割差分の方が前後二分割差分よりも大きい場合は動作は左右方向であり、逆であれば動作は前方向であるといえる。左右方向動作の場合は左右のどちらの圧力総和値が大きいかを調べ、大きい方向を動作方向とする。

動作方向の識別は動作開始時点から圧力総和値グラフの極値点までのフレームで行われ、最も多かった方向を動作の方向として識別する。なおこの識別手順において、振り子動作と足の動作の種類識別の時のようにグラフの極値点における圧力差分分布図のみで識別を行わないのは、ユーザの動作前の姿勢や動作の大きさにより極値点の情報のみでは正確に識別できない場合があるためである。

3.2.2 重心移動動作の認識

重心移動認識手法は、毎フレーム圧力分布図から重心位置の計算を行い、この重心位置が 設定された重心基準点からみてどの方向にあり、どの程度の距離にあるかでユーザの動作を 識別する.ここでは重心の計算方法と動作方向と距離の認識、重心基準点の決定方法につい て説明する.

重心の計算

二次元平面上の重心 (Xg,Yg) は下の式で求められる。x と y は,図 5 のように 4 × 4 で敷き並べた圧力測定パネルの座標である。(x,y)=(0,0) の時最も左上の圧力測定パネルを示し,(x,y)=(3,3) の時最も右下のものを示す。p(x,y) は (x,y) の圧力測定パネルのセンサ値であり,n は圧力測定パネルの一辺の仮想的な長さである。本研究では,作成したアプリケーションでの重心位置利用を簡単化するため,n=90 としている。(0,0) の圧力測定パネルの左上の角を原点とし,各圧力測定パネルの中心をそのパネルの重心とすることで,全体の重心位置を決定する。

$$M = \sum_{x=0}^{3} \sum_{y=0}^{3} p(x,y) \tag{1}$$

$$Ix = \sum_{x=0}^{3} \sum_{y=0}^{3} p(x,y) \times \left(n \times \left(x + \frac{1}{2} \right) \right)$$
 (2)

$$Iy = \sum_{x=0}^{3} \sum_{y=0}^{3} p(x,y) \times \left(n \times \left(y + \frac{1}{2} \right) \right)$$
 (3)

$$Xg = Ix/M \tag{4}$$

$$Yg = Iy/M (5)$$

重心基準点の決定

重心基準点はユーザが安静状態にある時の重心位置であり、重心移動動作の動作の方向と大きさを認識するための基準である。本研究では、これをまずユーザが着席した時に決定する。圧力総和値が0に近い時はユーザが着席していないとみなされ、その状態で圧力値が大きく増加した際にユーザが着席したとする。着席後に圧力総和値が安定したら、その時点での重心位置が重心基準点として決定される。これにより、着席時にユーザが特別に何か操作を行わなくても自動的に設定が行われ、重心移動認識手法が利用可能になる。

しかし、連続動作やシステムの長時間使用によりユーザの着席位置はズレる場合があり、着席時のみの設定では正しい動作識別が行われなくなる可能性がある。よって、本システムを利用している際に自動的に重心基準点を修正する機会を設定した。重心基準点の自動修正は、現在の重心位置が基準点の近くにある状態で、且つしばらく大きな動きがない場合に行われる。これは動作中に基準点が修正されることを防ぐためである。自動修正が行われるまでの時間は100フレームに設定した。また、座り直しによる基準点のズレの修正や手動での修正のために、既定動作におけるジャンプ動作が行われた際にもその直後の安静状態の重心位置に基準点が修正される。

動作の方向と大きさの認識

動作の方向は重心基準点に対する重心の相対位置から識別する。図 10 に重心基準点を中心とした各動作の識別領域を示す。重心が存在するエリアによって動作の方向が識別される。

前後方向識別エリアが左右よりも狭く設定されているのは、左右方向動作を行う際に 重心が真横に移動せず、斜め方向に移動する場合が少なからずあるからである。例えば 右に傾いた際に、左腰はイスの座面から浮いたが、左足はイスの座面に接触したままで ある場合は、重心は右前方向へ移動する。この理由に加え、前後方向動作は左右方向動 作のようなブレが少ないために、左右方向識別エリアを広く取った。本研究では左右の 領域を上下の領域の3倍に設定した。ここで、動作を行っていない場合でも多少の重心 位置の移動が生じてしまうため、基準点から一定以内の範囲を中心領域とし、この範囲内では動作方向を出力しないこととした。中心領域の範囲を、重心の計算の項で設定したn を用いて表すと、重心基準点を中心として左右方向に $\left[-\frac{n}{6},\frac{n}{6}\right]$ 前後方向に $\left[-\frac{n}{3},\frac{n}{3}\right]$ となるように本研究では設定した。動作の大きさは重心基準点と重心位置の距離により認識する。重心基準点を中心として左右方向をx 軸、前後方向をy 軸とすると、距離の2 乗はx の2 乗とy の2 乗の和から求められる。



図 10 各動作方向の識別領域

4. 実験と考察

本研究では、既定動作と重心移動動作の2種類の姿勢変更動作を評価するために2つの実験を行った.1つ目の実験は既定動作の認識精度を調査する実験であり、2つ目は重心移動動作において体の傾きを何段階制御できるかと、フィードバックの重要性を調査する実験である.

4.1 実験 1: 既定動作の認識精度調査

この実験は既定動作の認識精度を調査することで各動作の評価を行うことを目的としている. 本実験の被験者は、22歳から23歳の情報系の大学生、大学院生の5名である.

4.1.1 実験内容

実験の手順としては、まず被験者に既定動作の3種類の動作の説明を行い、各動作の全方 向動作を一通り正しく認識されるまで練習してもらった。練習では圧力総和値の時系列グラ フと圧力分布図を被験者に示し、どの程度動けば動作が認識されるかを確認しながら動作を 行ってもらった。

次に本番として、既定動作の全動作の全てをランダム順で提示し、提示した通りの動作を

行ってもらうタスクを 3 セット行った. 既定動作は全部で 10 の動作があるため,合計で 30 の動作が被験者に提示された. 本番タスクでは練習の際に表示していた圧力総和値と圧力分布の情報は非表示にした. 被験者が行った動作の認識結果が提示した動作と一致したら次に進み,一致しなかったら認識された結果を被験者に表示し,再び同じ動作を行ってもらった. 本番では,提示した動作とそれに対して被験者が行った動作の認識結果と,各フレームの圧力総和値と圧力分布を記録した.

4.1.2 実験結果

被験者全体の動作回数は 170 回, 誤認識の回数は 20 回であり, 識別率は 88.2 %であった. 図 11 に誤認識についての表を示す. 本実験は提示した動作と被験者が行った動作の結果が一致するまで行われるため正しく認識された回数は一定になるので, この表では問題に対する誤認識の結果のみを示す.

最も誤認識で多かったのは、右足一回動作が提示された時に右足二回動作であるとされることだった。他の足の動作の誤認識も多く、二番目に左足一回動作が二回動作であるとされる誤認識と、右足二回動作が一回動作とされる誤認識が多かった。他の動作は認識率が高く、足の動作以外は全て誤認識回数が1回以下であった。

被験者ごとの誤認識についての表を図 12 に示す。被験者ごとの特徴としては、被験者 1 は一度も誤認識を起こさず全ての動作を正しく行うことができた。しかし被験者 2 は誤認識が多く、誤認識の回数は 8 回であった。また、足の動作は被験者ごとに誤認識の多い方向があった。被験者 $3\sim5$ の 3 名においては右足の動きのみ誤認識が観測され、被験者 2 においては左足の誤認識が右足よりも多かった。

	右振り子	左振り子	前振り子	右傾き	左傾き	右足一回	左足一回	右足二回	左足二回	ジャンプ	合計
右振り子		0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
左振り子	0		0	0	0	0	1	0	0	0	1
前振り子	0	1	/	0	0	0	0	0	0	0	1
右傾き	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
左傾き	0	1	0	0		0	0	0	0	0	1
右足一回	0	0	0	1	0		0	6	0	0	7
左足一回	0	1	0	0	1	0		0	1	0	3
右足二回	0	0	1	0	0	2	0		0	0	3
左足二回	0	0	0	0	0	0	2	0		0	2
ジャンプ	0	0	0	1	0	0	0	0	0		1
合計	0	3	1	3	1	2	3	6	1	0	20

図 11 実験 1:既定動作誤認識表

問題 被験者	右振り子	左振り子	前振り子	右傾き	左傾き	右足一回	左足一回	右足二回	左足二回	ジャンプ	合計 1
被験者1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
被験者2	0	0	1	0	0	0	3	1	2	1	8
被験者3	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	3
被験者4	0	0	0	0	0	4	0	2	0	0	6
被験者5	1	0	0	0	- 1	1	0	0	0	0	3
合計	1	1	1	0	1	7	3	3	2	1	20

図 12 実験 1:被験者ごとの既定動作誤認識表

4.1.3 考 察

3種類の動作ごとに認識率を見ると、振り子動作が93.8%、振り子動作が86.8%、足の動作が80.0%と高い精度で正しく認識された.足の動作が他に比べてやや認識率が低くなっているが、これは被験者ごとに左右で誤認識が起こりやすい方向があることから、ユーザの姿勢や着席位置に問題があったと考えることができる.実験時には被験者には真っすぐ座った姿勢で動作を行ってもらったが、被験者によっては圧力が左右のどちらかにやや強くかかっている場合があった.例えば右にやや体重をかけている状態だと左足と同じように右足を上げても、圧力の減少が左足を上げた場合よりもやや小さくってしまうため認識が難しくなる.これにより右足動作を行った際の圧力総和値の変化がはっきりとしたものにならず、誤認識が発生したと考えられる.他の動作でも体重のかけ方による誤認識を確認でき、これに対処するためには、通常姿勢での体重の掛かり方によりキャリブレーションを行う必要があると考えられる.

4.2 実験 2: 重心移動動作の段階分けとフィードバックに関する調査

この実験は、重心移動動作においてユーザが利用できる段階数を調査することを目的とする. 重心移動動作は連続値操作のように利用するだけでなく、可動幅を段階分けして、段階ごとに操作の精度を変更するなどにより利便性が増すと我々は考える. 前後操作は細かい位置調節がむずかしいため、本実験では左右方向の段階調査のみを行う. また、同時に視覚的フィードバックの重要性も調査する. この実験の被験者は 21 歳から 31 歳の情報系の大学生、大学院生の 5 名である.

4.2.1 実験内容

実験は、重心基準点の周辺を中心領域とし、その左右をいくつかの領域に段階分けして、被験者に指定した領域まで重心を移動してもらうことで行った。左右をそれぞれ2等分割、3等分割、4等分割、または5等分割した領域に対して実験を行い、各分割において、被験者がどの程度正しく指定された領域に重心位置を調整できるかを調査した。実験の際に被験者に表示した画面を図13に示す。画面には重心基準点とその周辺の中心領域を含めた分割

領域を表示し、指定する領域を黄色の枠で提示する.また、練習などでのフィードバックとして現在の重心位置を黄色い円で示し、重心位置の存在する領域を赤く表示した.

実験の手順としては、最初に 2 等分割の段階分けで練習タスク、フィードバック有りのタスク、フィードバック無しのタスクを順に行い、続けて 3 等分割、4 等分割、5 等分割の順で同様のタスクを行った。以降、フィードバック有りのタスクをタスク 1、フィードバック無しのタスクをタスク 2 とする.

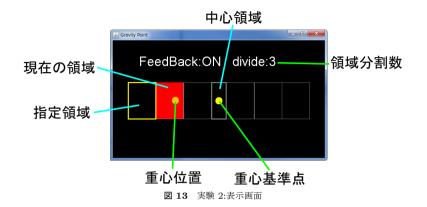
練習タスクでは選択領域を指定せず、被験者に分割された領域と重心位置、重心基準点、重心が存在する領域を提示し、この状態で自由に重心を動かして段階調節の練習をしてもらった。練習タスクは最低1分間は行ってもらい、練習が十分でないと感じた被験者には更に練習を行ってもらった。最も長い練習時間は2分程度であった。

次にタスク1として、被験者に練習タスクと同様の情報の提示に加えて選択領域の指定を行い、指定した領域に重心を移動してもらった。ある領域に1秒以上重心があると被験者はその領域を選択したと認識し、その領域が指定したものなら正解として一度中心領域に戻ってもらってから次の領域を指定した。間違っていたらエラーとして、こちらも再び中心領域に戻ってもらい、正解するまで同様の領域を選択してもらった。領域選択が行われた際には選択された領域の色が変化することで被験者に示された。

タスク 2 は、現在の重心位置と重心のある領域の表示を提示せずにタスク 1 と同様のタスクを行ってもらった。こちらも領域の選択が行われた際には領域の色が変わって被験者に示された。タスク 2 が終了したら次の段階分けに進み、同様に練習タスク、タスク 1、タスク 2 を行う。タスク 1、タスク 2 では領域の指定順序はランダムで、各段階分けの領域の数だけ試行が行われた。本実験では、タスク 1 とタスク 2 での各選択における正誤と、中心領域にいる状態から領域の選択を完了するまでの時間を記録した。

4.2.2 実験結果

各段階分けにおける,フィードバック有りの場合のエラー率と無しの場合のエラー率のグラフを図 14 に示す.フィードバックが有りの場合は 5 分割でもエラー率が低く,一度も間違えずにタスクを行った被験者も数名いた.この場合の間違いは主に中心領域から遠い領域が指定された時に中心に近い方の隣の領域を選択してしまうものが多かった.フィードバック無しの場合は分割数が増加するにつれてエラー率が大きく上昇していった.無しの場合は有りの場合と異なり,間違いは中心領域から中程度の距離の領域の選択ミスであった.中心領域のすぐ隣や最も遠い領域は間違いが比較的少なかった.また,選択時間については,ほとんどの被験者において、段階数や指定領域の位置による変化はほぼ見られなかった.



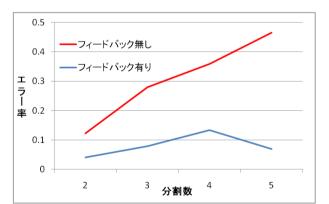


図 14 実験 2:結果

4.2.3 考 察

フィードバックがある場合は5分割の段階分けでもエラー率は非常に小さく、実用的であるといえる。中心領域から遠い領域での間違いが多かったが、これは体を大きく動かしている時には姿勢の維持が難しく、重心位置が徐々に内側にズレてしまったためであると思われる。中心に近い領域では5分割で領域が小さくても安定して選択がされていたため、領域は等分せず、中心に近いほど小さく、遠いほど大きくすることによって改善されると考えられる。

フィードバックが無い場合には中心領域から遠い領域よりも中間領域での間違いが多かったが、これは中間領域はフィードバックがあってこそ微調整することができるが、感覚のみで判断する場合は、思い切り動けば選択される遠い領域よりも調整が難しいためと思われる。よってフィードバックが無い場合には、アプリケーションにより違いが出ると思われるが、間違いの数が 0 だった被験者のいた 3 分割程度の段階分けに抑えるべきであり、それより多くの段階分けを行う場合は何かしらのフィードバックを与えるべきである。しかしフィードバックが無い場合でも本システムに慣れることによりかなり改善されると思われる。また被験者のコメントには、「フィードバックが無い方が体の傾きを意識でき、体の傾け具合を覚えやすかった」とフィードバックが無い方を好む意見もあり、細かい段階分けをしない場合や体感的にゲーム操作などを行う際にはフィードバックが無い方が良い場合もあると考えられる。

5. 関連研究

5.1 着席者の状態認識に関する研究

イスに着席しているユーザの状態を認識する研究として、心拍を計測してユーザの心理状態や健康状態を認識する研究がある。Jenni らの研究¹⁾ や Toni らの研究⁵⁾ はイスの座部や背もたれ、アームレストに超高感度感圧センサ EMFi を設置し、安静状態にある着席者の心拍による体の振動を取得して心拍情報を取得する。これらの研究では着席者に聴覚や視覚によりネガティブな刺激とポジティブな刺激を与え、それらに対して心拍がどうのように変化するかを調査している。

イスに圧力センサを設置する他の研究としては、正しい姿勢に誘導するためにイスの座部や背もたれなどの圧力分布を計測して着席状態を認識する研究がある. Douglas らの研究²⁾ や谷本らの研究⁶⁾ は、脊椎損傷者などの車いす利用者の着席状態の改善のために、車いすの座面に圧力センサを設置しその分布を調査する研究である. 前者の研究は車いすに着席し

た場合の圧力が強くかかり過ぎる箇所を認識し、その結果により車いすの背もたれや座部の傾きを調整して、圧力の分散を図る。後者の研究は様々なイスやクッションの種類における着席時の圧力分布を調査し、その結果を着席者にあったイスとクッションの種類の決定や姿勢矯正の指導などに役立てることを目的としている。

5.2 着席者の動作を用いるインタラクションに関する研究

次に着席者の状態に応じてコンピュータとインタラクションを行う研究について述べる. このような研究には、ユーザの何気ない姿勢変更のような無意識的な動作によってインタラクションが行われるものと、ユーザが意識的に動作することによってインタラクションを行うものがある.

5.2.1 無意識的な動作を用いるインタラクション

着席者の無意識的な動作を用いるインタラクションに関する研究としては、着席者の姿勢の変化を認識する研究がある。Lynneらの研究⁷⁾ や紙谷らの研究⁸⁾ は、イスの座面や背もたれに設置した圧力センサによって、着席者の姿勢を認識する研究である。これらの研究は、認識した結果を利用してユーザの状況に応じたインタラクションを行うことを目的としている。Lynneらのシステムは着席者の姿勢を、真っすぐに座った状態である通常姿勢、右または左に傾いている姿勢、前または後ろに傾いている姿勢、前かがみの姿勢、右または左足を組んでいる姿勢、足を組んだまま右または左に傾いている姿勢の10の姿勢の識別を行っている。この研究においては、イスの座面と背もたれにはそれぞれ2016個の圧力センサが設置されている。識別には主成分分析を用いており、10の姿勢の全てを高精度で識別することができる。紙谷らの研究は、座面に64個の圧力センサを設置するのみで、Lynneらが識別を行った動作から前かがみ姿勢をのぞいた9の姿勢の識別を行っている。この研究では圧力分布図の部分判別による決定木識別を行っており、後ろに傾く動作や足を組んだまま傾く動作以外は高い精度で識別が可能となっている。

またこれは姿勢矯正の話でもあるが、Daian らの Sensitive Chair⁹⁾ は着席者の姿勢が良い姿勢であるか悪い姿勢であるかを座面と背もたれに設置したセンサで識別し、悪い姿勢が続くと机の上のエージェントが教えてくれるというシステムである。このシステムでは、圧力センサにかかる圧力の大きさや強く圧力のかかっているセンサの位置から姿勢を識別している。例えばイスから少しずり落ちたような姿勢の場合は座部の前方と背もたれの下方の圧力値が大きくなる。またイスに座る自然な動作を利用する研究として、Yamada らの研究³⁾ が挙げられる。この研究では、着席時にイスに敷設した圧力センサの情報から個人の認証を行うことができる。

5.2.2 意識的な動作を用いるインタラクション

着席者が意識的に動作してインタラクションを行う研究として、安本らのバランスボールインタフェース¹⁰⁾ が挙げられる。この研究はバランスボールの上部に複数の圧力センサが設置してあり、ボールに座った際にボールにかかる圧力情報を取得できる。圧力センサはハの字型に設置されており、着席者の上半身の位置を計算できるようになっている。

5.3 本研究の位置づけ

他の関連研究と比べた我々の研究の特徴は、ユーザの意識的な動作を用いてコンピュータの操作を行うことを目的としている点である。5.1 で挙げた研究は、着席者の静的な着席状態を用いて姿勢状態や心理状態を識別する研究であり、コンピュータの操作を行う本研究とは目的が異なる。また、5.2.1 で挙げた研究は識別した着席者の姿勢変更によってコンピュータとのインタラクションが行われるものであるが、これらの研究ではインタラクションは無意識的に行われた姿勢変更に対して行われ、ユーザの意識的な姿勢変更は対象としていない。5.2.2 に挙げた研究はユーザが意識的に動作することでインタラクションが行われるものとなっており、我々の研究と近いものである。しかしこの研究は主に健康を促進することを目的としており、フィットネスゲームを行ったり腰を大きく動かして操作を行うものとなっている。

6. まとめと今後の課題

本研究では、コンピュータのインタラクション手法として、着席者の意識的な姿勢変更動作を用いる手法を考案し、これを認識するためにイスの座部の圧力情報を取得する圧力分布測定シートを作成した. 姿勢変更動作を用いることで、イスに座るというコンピュータ利用時の自然な状態を利用して、コンピュータ操作を行ったり、体感ゲーム操作などのエンターテイメントに利用したりすることができる.

また、我々は姿勢変更動作における既定動作の認識率を調査する実験と、重心移動動作の 段階分けとフィードバックに関する実験を行った。前者の実験により既定動作は全体的に認 識率が高いという結果が得られ、後者の実験ではどの程度動作を段階分けできるかと段階わ けにおけるフィードバックの重要性を認めることができた。

今後の課題としては着席者の着席状況によるキャリブレーションを行い、どのように座っていても安定して動作を認識できるようにシステムを改善していく必要がある。また、主にエンターテイメント利用のために、イスの座部の圧力情報のみでなく、背もたれでの圧力やイスの向きなどの情報を利用して新たな動作を実装する。

参考文献

- 1) Jenni Anttonen and Veikko Surakka. Emotions and Heart Rate while Sitting on a Chair. CHI'05 Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp.491-499, 2005.
- 2) Douglas A.Hobson. Comparative effects of posture on pressure and shear at the body-seat interface. Journal of Rehabilitation Research and Development Vol.29 No.4 pp.21-31, 1992.
- 3) Masafumi Yamada, Mineichi Kudo, Hidetoshi Nonaka and Jun Toyama. Hipprint person identification and behavior analysis. Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition(ICPR2006), CD-ROM D04-0334, 2006.
- 4) Gordon Kurtenbacht and William Buxto. User Learning and Performance with Marking Menu. CHI '94 Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: celebrating interdependence, pp.258-264, 1994.
- 5) Toni Vanhala, Veikko Surakka and Jenni Anttonen. Measuring Bodily Responses to Virtual Faces with a Pressure Sensitive Chair. NordiCHI '08 Proceedings of the 5th Nordic conference on Human-computer interaction: building bridges, pp.555-558, 2008.
- 6) 谷本義雄, 難波邦治, 六名泰彦, 山本秀樹. タクタイルセンサを用いた座面の圧力計測. TECHNICAL REPORT OF IEICEMBE96-46(1996-07), pp.7-12, 1996.
- Lynne A. Slivovsky and Hong Z. Tan. REAL-TIME STATIC POSTURE CLAS-SIFICATION SYSTEM. Proceedings of the ASME Dynamic Systems and Control Division, Vol. 69-2, pp.1049-1056, 2000.
- 8) 紙谷一啓, 工藤峰一, 野中秀俊, 外山淳. 圧力センサを用いた着席者の姿勢識別に関する研究. IEICE Technical Report USN2007-29(2007-7), pp.41-46, 2007.
- 9) Ioana Daian, Annemieke van Ruiten, Albertine Visser and Senka Zubic. Sensitive Chair: A Force Sensing Chair with Multimodal Real-Time Feedback via Agent. ECCE '07 Proceedings of the 14th European conference on Cognitive ergonomics: invent! explore!, pp.163-166, 2007.
- 10) 安本匡佑, 坂井理笑, 桐山孝司. バランスボールインターフェース. IEICE Technical Report WIT2007-41(2007-12), pp.51-55, 2007.