

腹囲の変化を入力に用いる 秘匿インタフェースの特性評価

住友 裕貴¹ 片山 拓也¹ 寺田 努^{1,2} 塚本 昌彦¹

概要:

コンピュータの小型化により、様々な場所でのコンピュータの操作が可能となった。一般に、コンピュータの操作には手を用いるため、ユーザがコンピュータを操作していることは周囲から見て明らかである。しかし、人と対面している時や会議中など、コンピュータの操作が望ましくない状況でユーザがコンピュータを操作したいという要求が存在する。また、このような場面でのコンピュータの操作は周囲に悪い印象を与えたり、コミュニケーションを阻害したりすることが多い。そこで本研究では、周囲に悟られずにコンピュータを操作できる秘匿インタフェースの一例として、腹囲の変化を入力に用いるインタフェースを提案する。腹部の動作は周囲から悟られにくく、またユーザは他の動作とは独立して腹部を動かすことが可能である。本稿では、ユーザの腹部動作速度および腹囲の大きさを入力に利用するデバイスのプロトタイプと入力の判定機構を実装し、入力の分解能および再現性についての評価を行った。評価実験の結果から、どちらの手法においても3段階の粒度までの提案手法の有用性が確認された。また、5段階の粒度の入力については、ユーザの習熟およびデバイスの改良により今後十分に有用性が期待できる。

キーワード: ウェアラブルコンピューティング, 秘匿インタフェース, 腹囲

Evaluation on a Concealed Interface using Abdominal Circumference

HIROTAKE SUMITOMO¹ TAKUYA KATAYAMA¹ TSUTOMU TERADA^{1,2} MASAHIKO TSUKAMOTO¹

Abstract:

The downsizing of computers enables users to operate computers anywhere. Generally, since a user operates his/her computer by his/her hands, computer operation is unconcealed to surrounding people. On the other hand, there are demands for hidden operation of the computer in situations such as face to face communication and during a meeting. The operation of computer in those scenes often gives a bad impression to surroundings and discommunication. Therefore, in this study, we propose an interface using a user's abdominal circumference as input. The motion of the abdomen is hard to be recognized by surroundings, and a user can move one's abdomen independently of the other body parts. We implemented a prototype of input method using the moving velocity and the absolute size of abdomen as input. Then, we evaluated the granularity and reproducibility on the control of abdominal circumference. Evaluation results confirmed that three levels of granularity is acceptable for comfortable and accurate use of the proposed method, and the input in five levels of granularity will be applicable enough after the proficiency of using our method and the improvement of device.

Keywords: Wearable Computing, Input Interface, Abdominal Circumference

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かけ

PRESTO, Japan Science and Technology Agency

1. はじめに

近年、コンピュータの小型化や軽量化に伴い、コンピュータをユーザが常に身につけて利用するウェアラブルコンピューティングに注目が集まっている。ウェアラブルコンピューティング環境では、コンピュータを常時装着することで、これまで想定されていなかった様々な場所や状況でもコンピュータを使用できるようになる。例えば、装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を利用した、工場でのマニュアルの表示 [1] や、医療現場や警備での情報交換 [2], [3], エンタテインメント [4] など、多種多様な場面でコンピュータが利用されている。

ウェアラブルコンピューティング環境でコンピュータを操作する手法としてキーボードやジョイスティックなどのデバイスを利用した操作やジェスチャを利用した操作などがある。一般的にこのようなコンピュータ操作は手を用いて行うため、ユーザがコンピュータを操作していることは周囲から見て明らかであるが、例えば、会議中や人と会話している最中での、自分の都合によるコンピュータ操作など、状況によってはコンピュータ操作はコミュニケーションを阻害したり、周囲に悪い印象を与えたりする可能性がある。しかし一方で、そのような状況でも周囲に気付かれずにコンピュータを操作したいという要求が存在する。例えば、会議中に届いた重要なメールへの返信や、会話中の相手の情報の確認、講演中のプロンプタ操作などが挙げられる。このような場面においてコンピュータ操作を察知されなければ、円滑なコミュニケーションを実現できると考えられる。

そこで本研究では、このような状況においても周囲に操作を察知されずに利用できる秘匿インタフェースの一例として、ユーザの腹囲の変化を用いた入力方法を提案する。ユーザの腹部の動きは衣服を着ている状態では周囲に悟られにくく、腹部に装着するデバイスは衣服で隠すことで周囲から装着していることを気付かれにくい。また腹部は膨らませる、へこませる、動かさずに一定の大きさ維持するといったユーザの思い通りの動きが可能のため、インタフェースの入力手段としても問題が無いと考えられる。本稿では、腹部の動作速度および腹囲の大きさを入力として扱うデバイスのプロトタイプと入力判定機構を実装し、デバイスの入力の分解能、再現性に関する評価を行う。

本稿は以下のように構成されている。2章で関連研究について述べ、3章では提案システムの設計について述べる。4章で実装について説明し、5章では提案システムの評価実験と考察を行う。最後に6章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

2.1 身体の一部位を入力に用いるインタフェース

ユーザの身体の様々な部位を用いるインタフェースがこれまでに提案されている。峰らによる Digitrack[5] は、光学式マウスのセンサを装着した指先で衣服や机など、任意の表面上をパッド代わりにしてポインティング入力を行う。谷口らによるこめかみスイッチ [6] は、こめかみの表皮に赤外光を照射し、「奥歯を1秒程度噛締める動作」または、「意図的に目を閉じる動作」による皮膚の変動から生じる赤外光の反射量の変化を赤外線センサにより非接触センシングし、コマンド入力として利用する。真鍋らによるヘッドフォンを用いた常時着用視線インタフェース [7] は、ヘッドフォンに設置された電極をユーザの眼球近傍の上下左右に貼り付け、ユーザの意図的な視線の移動・停止に伴う眼球運動を網膜角膜電位法 (EOG 法) を用いて検出し入力に利用する。葛目らによる呼気の方向と強弱によって入力を行うピエゾフィルムセンサを用いた呼気マウス [8] では、左、真ん中、右の3方向と強弱5段階の変化を判別してコマンド入力として利用する。山本らによる足ステップ入力インタフェース [9] は、両足に3軸の加速度センサを取り付け、通常歩行や通常ジョギングとは異なる足ステップをコマンドとして認識することでユーザはメニュー選択などのシステムへの入力を行う。野田らによる指にゃ [10] は、人差し指に電極と電流センサを装着し、親指と人差し指が接している時に指の輪を流れる電流を検出し、入力として利用する。

2.2 腹部を用いるインタフェース

ユーザの腹部を用いるインタフェースもこれまでに提案されている。塚田らによる ActiveBelt[11] は、ベルトに方位センサー、GPS と複数のアクチュエータを装着し、アクチュエータを振動させることによってユーザの腹部に方位情報を伴う触覚情報提示を行う。杉山らによるベルト型インタフェースによる移動ロボット操作のためのテレプレゼンスシステム [12] は、ロボットと障害物の接近をベルト型インタフェースの振動により操縦者にフィードバックさせ、操縦者の姿勢を曲げセンサ及び3軸加速度センサの測定によりロボットの移動に割り当てることで、ロボットを操作する。Nackeらによる Biofeedback GameDesign[13] では、腹部に張力センサを装着し、腹部の動きによるセンサの張力の変化をアクションゲームのキャラクタ操作に利用する手法が提案されている。これらのインタフェースは、本研究で提案するような秘匿性を考慮していないため、秘匿インタフェースとしての利用は難しい。

3. 設計

3.1 秘匿インタフェースの必要性

ユーザがコンピュータの操作を周囲に察知されたくない場面の具体例と、その状況において求められる代表的な操作を以下に挙げる。

- 会議中に届いた重要なメールに対しての簡潔な返信:
「YES」、「NO」といったあらかじめ用意された簡潔な内容をコマンド形式で選択して返信する。
- 会話している人物の情報の確認:
電話帳を開き、対象人物の登録情報ページを開く。
- 講演中、演説中での原稿などの資料の確認:
プロンプタなどに表示された原稿をページ送りする、
- 街で人を案内している際のマップ確認:
マップを開き、表示エリアの選択および縮尺の拡大・縮小などの操作を行う。

このような場面でのコンピュータの操作は周囲に悪い印象を与えたり、相手とのコミュニケーションを阻害したり、あるいはユーザ自身の評価を下げてしまう。しかし、コンピュータを操作できないことで、タスクの処理あるいは望んだ情報の確認ができないためユーザが不利益を被る可能性がある。本研究で提案する秘匿インタフェースの利用によりこれらの問題が解決され、円滑なコミュニケーションが可能になる。

3.2 要求仕様

秘匿インタフェースでは、周囲に操作を察知されないためにデバイスの動きを見えないようにする必要がある。また、提案システムはウェアラブルコンピューティング環境での操作を想定しているため、日常生活の中で行われる動作と並列に操作できることが重要である。さらに、入力インタフェースが満たす必要がある条件として、ユーザが意図したコマンドを正確に、また安定して入力できること、および意図しないコマンドが誤入力されないことが必要である。最後に、ユーザが置かれる可能性のある日常的な様々な環境の下においても、安定した入力装置であることが求められる。

以上よりまとめると、秘匿インタフェースは下記の要件を満たす必要がある。

- 秘匿性: デバイス操作を周囲に察知されない。
- 並列性: ユーザが会話など他の動作と並行してコンピュータを操作できる。
- 分解能: 求められる分解能での入力が行える。
- 再現性: ユーザが意図したコマンドを何度でも同様に入力できる。
- 耐誤認性: ユーザの意図しないコマンドが入力されない。



図 1 デバイス装着例

Fig. 1 A snapshot of wearing prototype

- 耐環境性: 外乱 (ユーザの姿勢変化、緊張などの心理状態、空腹の度合い、電車の揺れなど) の影響を受けても正確にコマンドを入力でき、想定するどのような使用環境でも操作できる。

3.3 システム構成

提案システムでは、ベルト状のデバイスをユーザの腹部に装着してコンピュータを操作する。装着した状態を図 1 に示す。状況に応じてユーザに据え置き型ディスプレイ、装着型ディスプレイ、イヤフォン、プロンプタなどの機器を用いて情報提示を行う。据え置き型ディスプレイは、会議中などユーザが着席している状態での利用、装着型ディスプレイはユーザが立っている場合や歩行中の場合での利用が想定される。またイヤフォンはユーザの体勢にかかわらず音声を用いて情報提示する際での利用、プロンプタは放送、講演、演説などでの利用が想定される。

デバイスはユーザの腹囲の変化を検出するが、利用する情報としては以下の 2 種類が挙げられる。

- 腹部動作速度: 腹部を動かした時の一定時間における腹囲変化量から計算される腹部を動かす速度
- 腹囲の大きさ: 腹部を動かさずに一定の大きさで保っている時の腹囲の絶対的な大きさ

提案システムは、ユーザがデバイスの上に衣服を着用した状態での操作は周囲から察知されにくいことから秘匿性を満たす。また、ユーザが他の作業をしている場合においても腹部は独立して動かすことが可能であるため、並列性を満たす。本稿では、入力の分解能、再現性に関する評価を行う。

4. 実装

4.1 デバイスのプロトタイプ

提案システムのプロトタイプを図 2 に示す。デバイスは、スライド式のつまみの位置によって抵抗値が変わる可変抵抗器、可変抵抗器のアナログ抵抗値をデジタル変

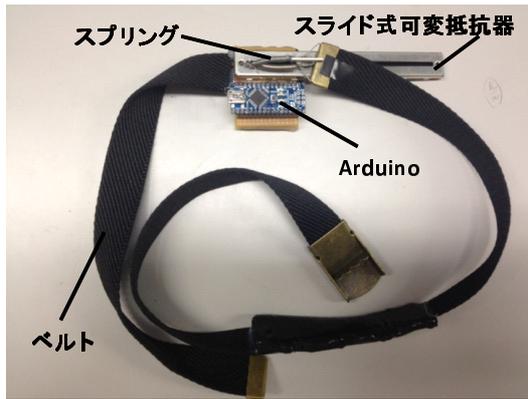


図 2 プロトタイプ

Fig. 2 A snapshot of prototype

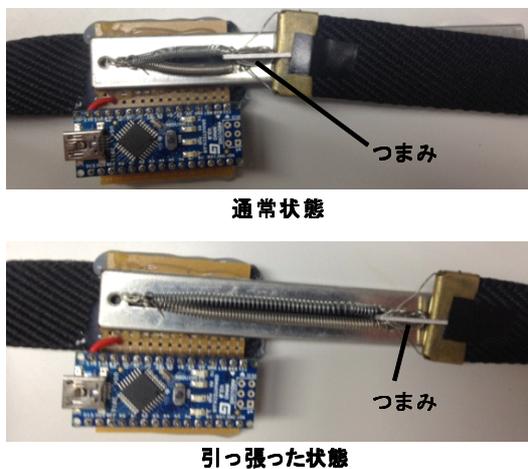


図 3 可動部の機構

Fig. 3 The mechanism of movingpart

換してコンピュータに送信するマイコン基板 Arduino[14], 可変抵抗器のつまみを引き戻すためのスプリング, サイズ調整が可能なベルトから構成される. デバイスはユーザの腹部に装着し, 腹部の動きに応じて出力値が変化する可変抵抗器を用いて腹囲の変化を検出する. ユーザが腹部を膨らませた場合は, 可変抵抗器のつまみはベルトが引く力によりベルトが接続されている方向に移動する. 逆に, ユーザが腹部をへこませた場合はスプリングが引き戻す力により, スプリングが接続されている方向に移動する. 可動部の動作を図 3 に示す. 可変抵抗器のつまみの移動により Arduino から出力されるデジタル値が増減することで, ユーザの腹囲の増減をリアルタイムに検出できる. また, ユーザが腹囲を一定の大きさで保っている場合には可変抵抗器のつまみが一定の位置で止まっており, Arduino から出力される値が一定のため, 基準となる値の設定によりユーザの腹囲の大きさを把握できる.

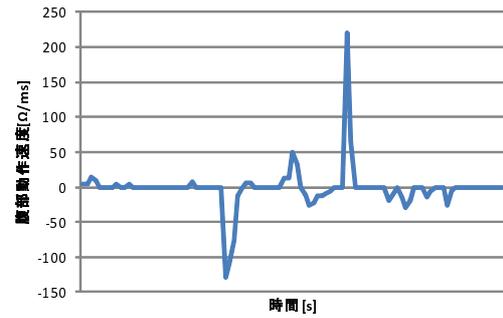


図 4 腹部動作速度の変化例

Fig. 4 An example in change of moving velocity

4.2 入力判定機構

腹部動作速度および腹囲の大きさによるコマンド入力判定について述べる.

腹部動作速度によるコマンド入力判定では, 腹部動作速度に対して閾値を設定し, 閾値を超える速度で腹部が動作した際にコマンドを出力する. 適切な閾値の設定により, 呼吸などによる緩やかな腹部の動きとコマンド入力を意図した腹部の動きを区別できる. さらに, 腹部動作速度を数段階に分割することで, 単一の変化方向に対しても複数のコマンドを割り当て可能である. 腹部動作速度は, Arduino の出力値を 10ms 間隔で記録し, 値の変化分と経過時間から算出する. 算出された腹部動作速度の時間変化例を図 4 に示す. 横軸は時間, 縦軸は腹部動作速度を表し, 上方向は膨らませる方向, 下方向はへこませる方向への腹部の動作を示す. 腹部動作速度が 0 となる中央軸を基準とし, 一度速度が発生してからもう一度速度 0 になるまでの腹部動作速度の軌跡を 1 つの入力波形とし, それぞれの入力波形の中で頂点となる値をその入力波形における入力値とする. 入力値があらかじめ設定された閾値を超えた場合にコマンド入力として扱うが, 複数の閾値を超えた場合はその中で最も中央軸から離れている閾値のみを有効とする. なお, 中央軸付近の小さな波形による入力値は, ユーザの呼吸などの緩やかな腹部の動きによるものであり, これらは定常状態とし, コマンド入力としては扱わない.

腹囲の大きさによるコマンド判定についても同様に閾値を用いて行う. 検出された腹囲の大きさの時間変化例を図 5 に示す. ユーザが腹部を最もへこませている時の Arduino の出力値から, 腹部を最も膨らませている時の Arduino の出力値までの範囲を閾値を用いていくつかの区間に分割し, 分割された区間ごとにそれぞれコマンドを割り当てる. これらのコマンドはユーザの腹囲の大きさを表すものとし, ユーザの大まかな腹囲の大きさを数段階に分けて把握する. 一定時間出力値が同一の区間に保たれた場合に, その区間に割り当てられているコマンドを入力する.

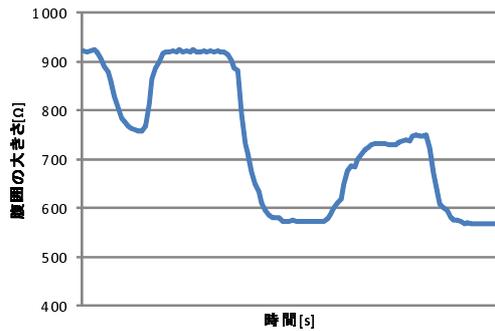


図 5 腹圍の大きさの変化例

Fig. 5 An example in change of abdominal circumference

表 1 腹部動作速度によるコマンドの種類

Table 1 Moving velocity commands

粒度	閾値の個数	コマンド
3	2	(), (steady), ()
5	4	(), (), (steady), (), ()

表 2 腹圍の大きさによるコマンドの種類

Table 2 Abdominal circumference commands

粒度	閾値の個数	コマンド
3	2	(S), (M), (L)
5	4	(XS), (S), (M), (L), (XL)

4.3 入力粒度

閾値の個数を増やすことで粒度が細くなりコマンドの種類を増やすことが可能であるが、同時にユーザの操作が難しくなるため、コマンド入力の精度は低下すると考えられる。本稿では表 1、表 2 に示すように、腹部動作速度によるコマンドおよび腹圍の大きさによるコマンドそれぞれで粒度 3、粒度 5 の 2 種類において、デバイスのプロトタイプの特性評価を行う。表 1 コマンド欄の矢印記号 () は腹部を膨らませる方向、() は腹部をへこませる方向を表す。粒度 5 におけるコマンド () および () を入力するためには、それぞれコマンド () および () よりも速い速度で腹部を動かす必要がある。腹部を膨らませる方向で考えた場合、入力値がコマンド () の閾値を超えており、かつコマンド () の閾値を超えていない場合はコマンド () が入力コマンドとなり、入力値がコマンド () およびコマンド () 両方の閾値を超えている場合、コマンド () が入力コマンドとなる。また、(steady) はどのコマンドの閾値も超えていない定常状態を示す。

また、表 2 コマンド欄の (XS), (S), (M), (L), (XL) は腹圍の大きさをサイズ表記でだまかに示したものであり、ユーザの通常の腹圍の大きさをコマンド (M) とする。ユーザの腹圍の最小値から最大値までの区間を、粒度 3 の場合は 3 分割、粒度 5 の場合は 5 分割してコマンドを割り当てるため、粒度が異なると同一のコマンドでも閾値の範囲は

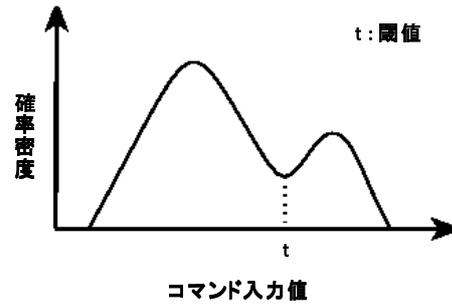


図 6 モード法による閾値決定

Fig. 6 Decision by mode method

異なる。

4.4 閾値の設定手法

腹部動作速度における閾値設定については、ユーザが各コマンドを入力する操作を任意の n 回ずつ行った後、それらの入力から得られた各コマンドごとの n 個の入力値を記録する。それに加え、定常状態での入力値取得のため呼吸動作を n 回入力する操作を行う。呼吸動作による入力の場合、1 回の入力につき腹部をへこませる方向と膨らませる方向それぞれでの入力値が 1 つずつ得られるため、それらの入力値をそれぞれ異なるコマンドの n 個の入力値として記録する。近接する 2 つのコマンドの入力値をそれぞれ $a_1 \sim a_n, b_1 \sim b_n$ とした時、それらの平均 μ_a, μ_b 、分散 σ_a^2, σ_b^2 を求め、(1) 式によりそれぞれのコマンド入力時における腹部動作速度の正規分布の確率密度関数 $f_a(x), f_b(x)$ を導出する。さらに、それらを合成した確率密度関数から 2 つのコマンド間の閾値を決定する。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

2 つの正規分布の確率密度関数を合成した場合、合成関数は 2 つの極大値をもつ図 6 のような振舞いのグラフになることが予想され、このグラフにモード法を適用して適切な閾値を算出する。モード法とは、データが図 6 のように山の間に谷を持つ場合にその谷の値 t を閾値とする手法である。粒度 3、粒度 5 それぞれの場合においては、表 3 で示す合成関数を用いる。表中の「導出する閾値」欄には、どの 2 種類のコマンド間の閾値であるかを示している。

f の添え字はどのコマンドの正規分布の確率密度関数であるかを表す。ここで $f_{(steady)}$ は定常状態における波形の () 方向の値から算出される正規分布の確率密度関数であり、 $f_{(steady)}$ は同様に () 方向の値から算出される正規分布の確率密度関数である。定常状態の入力のみ、() 方向および () 方向どちらの入力値も存在するため、このように 2 つの確率密度関数が存在する。

粒度 3、粒度 5 どちらの場合においても、定常状態とコマ

表 3 腹部動作速度: 閾値導出に用いる確率密度関数

Table 3 A moving velocity: Probability density function

粒度	導出する閾値	確率密度関数
3	(steady)-()	$f_{(steady)} + f_{()}$
	()-(steady)	$f_{()} + f_{(steady)}$
5	()-()	$f_{()} + f_{()}$
	(steady)-()	$f_{(steady)} + f_{()}$
	()-(steady)	$f_{()} + f_{(steady)}$
	()-()	$f_{()} + f_{()}$

表 4 腹囲の大きさ: 閾値導出に用いる確率密度関数

Table 4 An abdominal circumference: Probability density function

粒度	導出する閾値	確率密度関数
3	(M)-(L)	$f_{(M)} + f_{(L)}$
	(S)-(M)	$f_{(S)} + f_{(M)}$
5	(L)-(XL)	$f_{(L)} + f_{(XL)}$
	(M)-(L)	$f_{(M)} + f_{(L)}$
	(S)-(M)	$f_{(S)} + f_{(M)}$
	(XS)-(S)	$f_{(XS)} + f_{(S)}$

ンド()との閾値算出には $f_{(steady)}$ とコマンド()の入力値の確率密度関数 $f_{()}$ を, 定常状態とコマンド()との閾値算出には $f_{(steady)}$ とコマンド()の入力値の確率密度関数 $f_{()}$ を用いる.

腹囲の大きさにおける閾値設定については, ユーザが腹囲の大きさを各コマンドの指示するサイズに調節する動作を任意の回数 n 回ずつ行う. 各コマンドごとの n 個の入力値を記録し, 腹部動作速度における閾値設定と同様にして閾値を決定する. 用いる確率密度関数の合成関数を表 4 に示す.

ただし, 正規分布の確率密度関数を合成した場合に, 山と山が近いためにグラフが重なってしまい表 3, 表 4 で示す確率密度関数のグラフが全く谷を持たずモード法の適用が困難とされる場合は, それぞれのコマンドの入力値の平均値の中点を閾値として用いる.

5. 評価実験

5.1 実験内容

コマンド出題型の実験による, コマンド入力精度および再現性の評価を行う. 評価する分解能は粒度 3 と粒度 5 である.

始めに, 腹部動作速度を利用する手法において, 粒度 3 では呼吸動作とコマンド 2 種類を順に 10 回ずつ合計 30 回, 粒度 5 では呼吸動作とコマンド 4 種類を順に 10 回ずつ合計 50 回を被験者に入力させ, これらの入力値から各コマンド間の閾値を設定する. 閾値を設定後, 粒度 3 ではコマンド 2 種類を 10 回ずつ合計 20 回, 粒度 5 ではコマンド 4 種類を 10 回ずつ合計 40 回をランダム順序で出題し, 被験

表 5 入力精度 (腹部動作速度: 粒度 3)

Table 5 Input accuracy (velocity: 3 levels)

被験者	()	()
A	100 %	100 %
B	100 %	100 %
C	100 %	100 %
D	100 %	90 %
E	100 %	100 %
F	90 %	90 %

表 6 入力精度 (腹部動作速度: 粒度 5)

Table 6 Input accuracy (velocity: 5 levels)

被験者	()	()	()	()
A	100 %	80 %	100 %	100 %
B	100 %	100 %	60 %	90 %
C	100 %	80 %	90 %	90 %
D	50 %	90 %	60 %	90 %
E	100 %	20 %	60 %	80 %
F	90 %	30 %	80 %	40 %

者に出題されたコマンドと同じコマンドを入力させる. 定常状態 (steady) は, コマンドとして扱わないため, 評価項目には含めていない.

次に, 腹囲の大きさを利用する手法において, 粒度 3 ではコマンド 3 種類を順に 10 回ずつ合計 30 回, 粒度 5 ではコマンド 5 種類を順に 10 回ずつ合計 50 回を被験者に入力させ, これらの入力値から各コマンド間の閾値を設定する. 閾値を設定後, 粒度 3 ではコマンド 3 種類を 10 回ずつ合計 30 回, 粒度 5 ではコマンド 5 種類を 10 回ずつ合計 50 回をランダム順序で出題し, 被験者に出題されたコマンドと同じコマンドを入力させる.

全てのコマンドを入力完了後, 入力精度の確認を行う. 被験者は 22~24 歳の 6 名である.

5.2 実験結果

それぞれの手法, 粒度における被験者のコマンド入力精度について述べる.

5.2.1 腹部動作速度を利用する手法

腹部動作速度を利用する手法における粒度 3 での精度を表 5, 粒度 5 での精度を表 6 に示す.

粒度 3 においては 6 名の被験者の内 4 名が 100 % の入力精度を示すなど, 全ての被験者を通して高い入力精度であり, 全体での平均入力精度は 97.5 % となった. これより, 腹部動作速度を利用する手法における粒度 3 での入力精度は有用であることが分かった.

粒度 5 においては全体での平均入力精度は 78.3 % であったが, 各被験者の入力精度について見ると, 被験者 D が 72.5 %, 被験者 E が 65 %, 被験者 F が 60 % で, この 3 名の平均入力精度が 65.8 % であるのに対して, 被験者 A は

表 7 入力精度 (腹囲の大きさ: 粒度 3)

Table 7 Input accuracy (circumference: 3 levels)

被験者	(L)	(M)	(S)
A	100 %	100 %	100 %
B	100 %	100 %	90 %
C	100 %	100 %	100 %
D	100 %	90 %	100 %
E	100 %	100 %	100 %
F	100 %	100 %	100 %

表 8 入力精度 (腹囲の大きさ: 粒度 5)

Table 8 Input accuracy (circumference: 5 levels)

被験者	(XL)	(L)	(M)	(S)	(XS)
A	100 %	100 %	100 %	60 %	80 %
B	100 %	100 %	80 %	0 %	40 %
C	100 %	60 %	40 %	40 %	80 %
D	100 %	60 %	70 %	30 %	60 %
E	80 %	100 %	40 %	90 %	100 %
F	100 %	50 %	70 %	60 %	50 %

95 %、被験者 B は 87.5 %、被験者 C は 90 %で、この 3 名の平均入力精度は 90.8 %であった。このことから、入力精度には個人差の影響が十分にあると考えられるため、今後被験者の習熟により全体の平均入力精度の向上が期待できる。また、動作速度が遅い側のコマンド ()、() は、動作速度が速い側のコマンド ()、() よりも入力精度が下がる傾向が、被験者 A、B、C、E に共通して見られた。これは、コマンド ()、() はそれぞれの閾値を超えさえすれば正しく入力できるのに対し、コマンド ()、() はそれぞれの閾値を超え、かつコマンド ()、() の閾値を超えてはならないという条件が追加されることから起こる結果と考えられる。ただし、被験者 D のコマンド ()、() および被験者 F のコマンド ()、() では、動作速度が速い側のコマンドの方が入力精度が下がる結果となった。考えられる原因として、被験者 D ではコマンド () の閾値、被験者 F ではコマンド () の閾値が、本来求められる位置よりも中心軸から離れてしまっているために、コマンド入力時に入力値が閾値まで到達できていないということが挙げられる。改善案としては、より適切な閾値を設定するために閾値設定のためのコマンド入力回数を増やし、さらに正確な正規分布の確率密度関数を導出することが考えられる。

5.2.2 腹囲の大きさを利用する手法

腹囲の大きさを利用する手法における粒度 3 での精度を表 7、粒度 5 での精度を表 8 に示す。

粒度 3 においては 6 名の被験者の内 4 名が全てのコマンドで 100 %、他 2 名も平均 96.7 % の入力精度を示しており、全体での平均入力精度は 98.9 % となった。これより、腹囲の大きさを利用する手法における粒度 3 での入力是有

用であることが分かった。

粒度 5 においては全体での平均入力精度は 71.3 % であった。各被験者の入力精度は、被験者 B、C、D が 64 % とあまり高くないものの、被験者 A が 88 %、被験者 E が 82 % であることから、腹囲の大きさを利用する手法においても個人差の影響があると考えられるため、被験者の習熟により入力精度の向上が期待できる。また、各コマンドの平均入力精度は、コマンド (XL) が 96.7 %、(L) が 78.3 %、(M) が 66.7 %、(S) が 46.7 %、(XS) が 68.3 % となり、腹囲が小さい方の入力精度が低い傾向が見られ、特にコマンド (S) の入力精度の低さが目立つ結果となった。被験者それぞれの入力精度を見ると、被験者 E はコマンド (XL)、(L)、(S)、(XS) をほぼ均等の精度で入力出来ていたが、被験者 A、B、C、D、F はコマンド (XL)、(L) よりもコマンド (S)、(XS) の入力精度が低くなる傾向があることが確認された。考えられる原因としては、デバイスのプロトタイプの構造が挙げられる。腹部をへこませる方向に動かした際、デバイスの可動部はスプリングに反力により腹部の動きに連動する仕組みになっているが、現在のプロトタイプに採用しているスプリングの反力の大きさが十分でなく、腹部をへこませた際にデバイスの可動部が最後まで腹部の動きに連動出来ていない可能性がある。そのため、より大きな反力を持ったスプリングを採用し、デバイスの可動部の動きを強化することで、この問題は解決可能と考えられる。

5.3 考察

腹囲の大きさを用いる手法における粒度 5 での平均入力精度は、71.3 % であり各手法、各粒度の評価内容中で最も低い結果となった。ここで、各被験者のコマンド (M) の入力値を表 9 に示す。ただし単位は (オーム) であり、項目「振幅」は最大入力値と最小入力値の差を表し、入力値は昇順にソートしたものである。振幅が 58 の被験者 A のコマンド (M) の入力精度は 100 %、振幅が 59 の被験者 B のコマンド (M) の入力精度は 80 % と高かったのに対し、振幅が 190 の被験者 C、振幅が 228 の被験者 E のコマンド (M) の入力精度はどちらも 40 % と低い結果となっていた。このことから、腹囲の大きさを用いる手法における粒度 5 での平均入力精度が低かった原因として、腹囲の大きさを的確に定めることができず、入力回数を重ねるにつれて大きさがずれてしまったことが挙げられる。特に腹囲の大きさを用いる手法においては、腹部動作速度を用いる手法での「腹部の動きを止めれば動作速度 0」のような明確な基準点を把握しづらいという問題があると考えられる。コマンド (M) が基準となる大きさになるため、この基準がずれてしまうと他のコマンドの大きさの把握もずれてしまい、入力精度を低下させる原因となる。本実験での被験者からも、コマンド (M) の大きさの把握が

表 9 コマンド (M) の入力値
 Table 9 Input values of command (M)

被験者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	振れ幅
A	636	676	677	678	679	687	690	692	692	694	58
B	615	623	626	630	638	638	639	647	674	674	59
C	648	663	720	731	743	756	768	807	832	838	190
D	621	625	626	628	639	670	673	681	718	720	99
E	562	586	629	645	651	657	680	693	774	790	228
F	737	767	773	790	791	806	806	820	849	881	144

難しいという意見を得ている。

そこで、例えばデバイスに振動素子を追加し、入力値がコマンド (M) の範囲内に入った場合にデバイスの振動によってユーザへのフィードバックを与えればユーザは明確に基準となる腹囲の大きさを把握することができるため、その他のコマンドにおける腹囲の大きさを把握が容易になり、入力精度の向上が期待できる。方式の実装や評価は今後の課題である。

6. まとめと今後の課題

本稿では、腹囲の変化を入力に用いる秘匿インタフェースを提案した。スライド式可変抵抗器を用いたデバイスのプロトタイプを実装し、腹部動作速度を入力に利用する手法、および腹囲の大きさを入力に利用する手法についての入力の分解能、再現性の評価を行った。評価実験の結果から、どちらの手法においても3段階の粒度までの提案手法の有用性が確認された。また、腹部動作速度を入力に利用する手法における5段階の粒度の入力については、ユーザの習熟により今後十分に有用性が期待できるとし、腹囲の大きさを入力に利用する手法についても、デバイスの改良により今後十分に有用性が期待できるとした。

そのため、今後の課題として5段階の粒度におけるユーザの習熟の実験、および振動素子を加えたデバイスを実装し、評価を行う。その後、秘匿インタフェースの要求事項として残っている耐誤認性、耐環境性についての評価を行う予定である。

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基盤研究(A)(20240009)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

[1] 伴好弘, 佐藤宏介, 千原國宏: 強調現実感による電子部品検査の作業支援環境, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 3, No. 3, pp. 185-191 (1998).
 [2] 五味雄一, 森田圭紀, 寺田努, 東健, 塚本昌彦: 内視鏡手術におけるHMD利用に関する一考察, 情報処理学会研究報告(第130回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会), Vol. 2008-HCI-130, pp. 75-81 (2008).
 [3] TeleScouter, <http://www.nec.co.jp/solution/telescouter/>.

[4] J. Ikeda, Y. Takegawa, T. Terada, and M. Tsukamoto: Evaluation on Per- former Support Methods for Interactive Performances Using Projector, ii- WAS/MoMM2009 Special issue in Journal of Mobile Multimedia (JMM), Vol. 6, No. 3, pp. 207-226 (2010).
 [5] 峰健三, 大淵竜太郎: 携帯情報機器のための入力デバイス DigiTrack, 日本ソフトウェア科学会第9回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2008) 論文集, pp. 125-130 (2001).
 [6] 谷口和弘, 西川敦, 宮崎文夫: こめかみスイッチ: 瞬きパチパチでスイッチカチカチな常時装用入力装置, 情報処理学会インタラクション2008 論文集, pp. 25-26 (2008).
 [7] 真鍋宏幸, 福本雅朗: ヘッドフォンを用いた常時視線インターフェース, 情報処理学会インタラクション2006 論文集, pp. 23-24 (2006).
 [8] 葛目幸一, 石渡寛明, 中段涼, 横本直之, 浜原周平: ピエゾフィルムセンサを用いた呼吸マウスの開発, 情報処理学会インタラクション2010 論文集, SA11 (2010).
 [9] 山本哲也, 寺田努, 塚本昌彦, 義久智樹: ジョギング時における情報機器利用のための足ステップ入力方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 12, pp. 1-8 (2009).
 [10] 野田早織, 山本京, 奥村充男, 赤堀一郎: 指にゃ: 指の輪を検出する指輪, 情報処理学会インタラクション2009 論文集, pp. 135-136 (2009).
 [11] 塚田浩二, 安村通晃: Active Belt: 触覚情報を用いたベルト型ナビゲーション機構, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 11, pp. 2649-2658 (2003).
 [12] J. Sugiyama and J. Miura: Development of a Vision-Based Interface for Instructing Robot Motion, Proc. of the 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 1198-1203 (2009).
 [13] L. ErikNacke, M. Kalyn, C. Lough, and R. Mandryk: Biofeedback Game Design: Using Direct and Indirect Physiological Control to Enhance Game Interaction, Proc. of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2011), pp. 103-112 (2011).
 [14] Arduino, <http://www.arduino.cc/>.