

腹囲の変化で入力する 秘匿インタフェースのデバイス性能評価

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インタフェースを「秘匿インタフェース」と定義し, その一例として, 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せる. 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, デバイスの使用が想定されるユーザの状況下における入力分解能の評価を行った. 評価実験の結果から, 入力粒度の増加に伴う入力精度の傾向について考察する.

An Evaluation on a Concealed Interface using Abdominal Circumference

HIROTAKA SUMITOMO¹ TAKUYA KATAYAMA¹ TSUTOMU TERADA^{1,2} MASAHICO TSUKAMOTO¹

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

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

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なため、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。一方で、会話や食事などの要因でユーザの意図しない腹部の変化が発生する可能性がある。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、日常生活におけるいくつかの利用シーンを想定したデバイスの入力分解能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 身体の各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。
- 商談中における身内での相談:
客先に聞かれたくない情報を気付かれずにやり取りする。

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 1 デバイス装着例

Fig. 1 An example of equipment

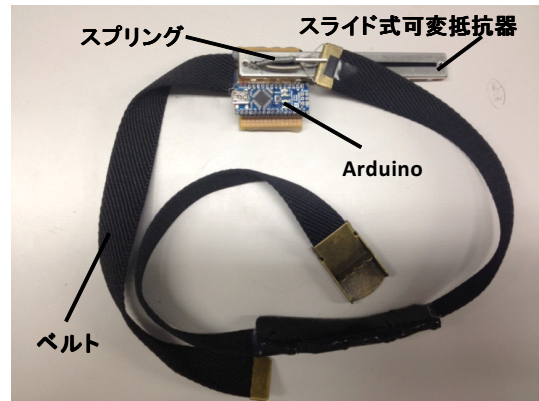


図 2 プロトタイプ

Fig. 2 A snapshot of prototype

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: ユーザが歩行や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。
- 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。本稿では、入力の分解能、再現性、並列性、耐環境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。

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

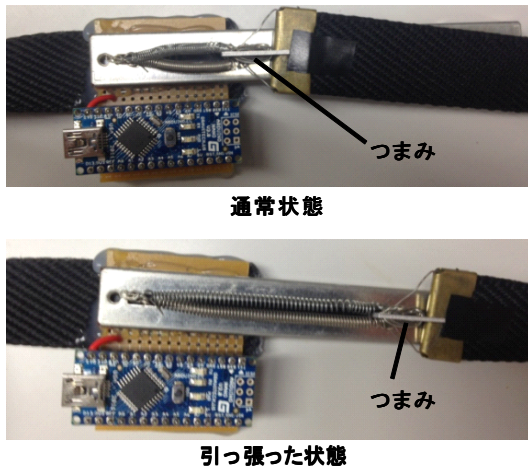


図 3 可動部の機構

Fig. 3 The mechanism of moving part

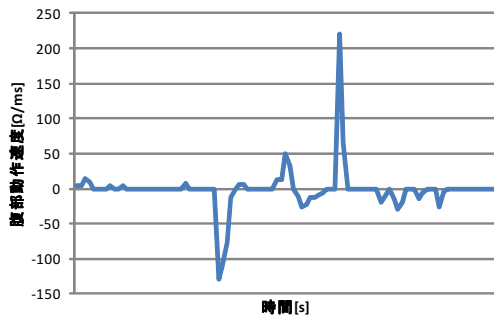


図 4 腹部動作速度の変化例

Fig. 4 An example of moving velocity changes

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。

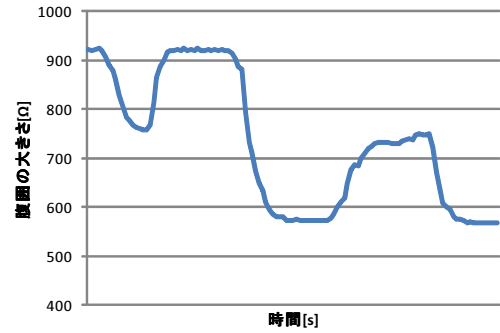


図 5 腹囲の大きさの変化例

Fig. 5 An example of abdominal circumference changes

表 1 腹部動作速度によるコマンドの種類

Table 1 The type of moving velocity commands

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

表 2 腹囲の大きさによるコマンドの種類

Table 2 The type of 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

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。

4.3 入力の分解能

閾値の個数を増やすことで分解能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。分解能の例として、腹部動作速度によるコマンドおよび腹囲の大きさによるコマンドそれぞれの粒度 3 および粒度 5 を表 1、表 2 に示す。

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 (2) および (2) 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

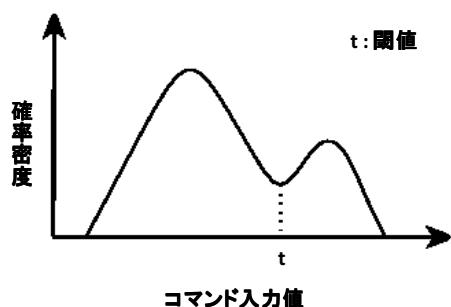


図 6 モード法による閾値決定

Fig. 6 The decision by mode method

(2) 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 (2) 両方の閾値を超えている場合、コマンド (2) が入力コマンドとなる。分解能が細くなるにつれて、コマンド (3)(3) やコマンド (4)(4) 等が追加される。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。

表 2 コマンド欄の (XS), (S), (M), (L), (XL) は腹囲の大きさをサイズ表記でだまかに示したものであり、ユーザの通常の腹囲の大きさをコマンド (M) とする。ユーザの腹囲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異なる。分解能が細くなるにつれて、コマンド (3XS)(3XL) やコマンド (4XS)(4XL) 等が追加される。

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

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	()-(2)	$f_{()} + f_{(2)}$
	(steady)-()	$f_{(steady)} + f_{()}$
	()-(steady)	$f_{()} + f_{(steady)}$
	(2)-()	$f_{(2)} + f_{()}$

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。例として粒度 3、粒度 5 それぞれの場合において用いる合成関数を表 3 に示す。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、 $f_{()}$ 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 midpoint 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、コマンド入力の分解能の評価を行う。始めに、腹部動作速度を利用する手法において、呼吸動作と各コマンドを 10 回ずつ入力し、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、各コマンドが 10 回ずつ出題され、出題されたコマンドと同じコマンドを入力して精度を確認する。なお、定常状態

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)	$f_{(XS)} + f_{(S)}$

表 5 入力精度 (腹部動作速度：粒度 3)

Table 5 Accuracy of input (Moving velocity:Granularity-3)

状況			平均
着席	100 %	100 %	100 %
直立	100 %	100 %	100 %
歩行	100 %	100 %	100 %
会話	100 %	100 %	100 %
満腹	100 %	100 %	100 %

表 6 入力精度 (腹部動作速度：粒度 5)

Table 6 Accuracy of input (Moving velocity:Granularity-5)

状況	2			2	平均
着席	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
直立	100 %	90 %	90 %	100 %	95 %
歩行	100 %	100 %	90 %	90 %	95 %
会話	80 %	100 %	90 %	90 %	90 %
満腹	80 %	100 %	100 %	80 %	90 %

(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、同様に各コマンドを 10 回ずつ入力し、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、各コマンドが 10 回ずつ出題され、出題されたコマンドと同じコマンドを入力して精度を確認する。評価する分解能は粒度 3 から開始して順に粒度 5、粒度 7 と細かくし、分解能と入力精度の相関が把握できるまで実験を続ける。

本稿では、並列性の検証としてデバイスの利用が想定されるユーザの状況 (着席, 直立, 歩行, 会話), 耐環境性の検証として入力精度が特に低下すると予想される「食事後の満腹状態」を加えた合計 5 つの状況下において上記の手順をそれぞれ実施し、各状況下での入力分解能を確認する。本稿では、被験者は筆者である。

5.2 実験結果

それぞれの手法、状況下における被験者のコマンド入力の精度について述べる。

表 7 入力精度 (腹部動作速度：粒度 7)

Table 7 Accuracy of input(Moving velocity:Granularity-7)

状況	3	2			2	3	平均
着席	100 %	90 %	80 %	100 %	70 %	100 %	90 %
直立	90 %	80 %	80 %	80 %	80 %	100 %	85 %
歩行	100 %	80 %	100 %	60 %	40 %	100 %	80 %
会話	90 %	90 %	100 %	60 %	50 %	90 %	80 %
満腹	50 %	40 %	80 %	90 %	70 %	60 %	65 %

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、粒度 7 での精度を表 7、粒度 9 での精度を表 8、粒度 11 での精度を表 9 に示す。

粒度 3 および粒度 5 においては、全ての状況下で平均 90 % 以上の入力精度を示し、腹部動作速度を利用する手法における粒度 3・粒度 5 での入力は想定した使用状況下全てで有用であると言える。

粒度 7 においては全体的に若干の精度低下となった。特に、コマンド (), (2) が相対的に精度が低くなった。腹部を膨らませる方向に比べて、へこませる方向の動作速度調節は難易度が高いと考えられる。また、満腹時での精度低下が他の 4 つの状況と比較して顕著であった。粒度 5 では平均入力精度 90 % であったのに対し、粒度 7 においては 65 % まで低下していた。腹部動作速度を利用する手法における満腹状態は入力精度に大きく影響を与えることが分かった。

粒度 9 においては、歩行中・会話中・満腹状態の平均入力精度がどれも 50 % 近くまで低下した。歩行中・会話中の入力では、コマンド (3), (3) の入力精度の悪さが目立った。他の動作を行いながら腹部動作速度を正確に調節することは、分解能が粒度 9 まで細かくなると難しくなることが分かる。また満腹時の入力では、腹部を膨らませる方向で速度が速いコマンドの入力精度低下がさらに目立った。満腹状態では高速で腹部を膨らませることが難しいため、コマンド入力としての利用も難しいと分かった。

粒度 11 においては、着席状態・直立状態の入力精度も低下してそれぞれの平均入力精度は 55 %・66 % となった。腹部動作速度を利用する手法において、粒度 11 での入力はあまり有用ではないと言える。満腹状態以外の状況においては中間の動作速度を再現することが難しく、中速度部分のコマンドの精度が低い傾向が見られることに対し、満腹状態においては最大の速度を連続して出すことが難しく、高速部分のコマンドの精度が低い傾向が見られた。

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 10、粒度 5 での精度を表 11、粒度 7 での精度を表 12、粒度 9 での精度を表 13、粒度 11 での精度を表 14 に示す。

粒度 3 および粒度 5 においては、全ての状況下で平均 90 % 以上の入力精度を示し、腹囲の大きさを利用する手法に

表 8 入力精度 (腹部動作速度 : 粒度 9)

Table 8 Accuracy of input(Moving velocity:Granularity-9)

状況	4	3	2			2	3	4	平均
着席	100 %	90.0 %	90.0 %	80.0 %	70.0 %	40.0 %	90.0 %	90.0 %	81.3 %
直立	90.0 %	80.0 %	60.0 %	60.0 %	60.0 %	50.0 %	70.0 %	100.0 %	71.3 %
歩行	60.0 %	20.0 %	80.0 %	40.0 %	50.0 %	50.0 %	40.0 %	80.0 %	52.5 %
会話	80.0 %	20.0 %	60.0 %	90.0 %	70.0 %	20.0 %	0.0 %	70.0 %	51.3 %
満腹	20.0 %	30.0 %	40.0 %	60.0 %	70.0 %	70.0 %	40.0 %	60.0 %	48.8 %

表 9 入力精度 (腹部動作速度 : 粒度 11)

Table 9 Accuracy of input(Moving velocity:Granularity-11)

状況	5	4	3	2			2	3	4	5	平均
着席	90 %	60 %	70 %	50 %	80 %	40 %	30 %	20 %	30 %	80 %	55 %
直立	90 %	40 %	70 %	80 %	60 %	60 %	20 %	60 %	80 %	100 %	66 %
歩行	80 %	50 %	20 %	30 %	40 %	60 %	40 %	50 %	60 %	70 %	50 %
会話	80 %	40 %	40 %	30 %	0 %	70 %	50 %	50 %	60 %	90 %	51 %
満腹	10 %	10 %	30 %	70 %	60 %	50 %	80 %	40 %	40 %	40 %	43 %

表 10 入力精度 (腹囲の大きさ : 粒度 3)

Table 10 Accuracy of input
(Abdominal circumference:Granularity-3)

状況	S	M	L	平均
着席	100 %	100 %	100 %	100 %
起立	100 %	100 %	100 %	100 %
歩行	100 %	100 %	100 %	100 %
会話	100 %	100 %	100 %	100 %
満腹	100 %	100 %	100 %	100 %

表 11 入力精度 (腹囲の大きさ:粒度 5)

Table 11 Accuracy of input
(Abdominal circumference:Granularity-5)

状況	XS	S	M	L	XL	平均
着席	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
直立	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
歩行	100 %	100 %	100 %	100 %	90 %	98 %
会話	100 %	90 %	90 %	90 %	90 %	92 %
満腹	100 %	100 %	100 %	90 %	100 %	98 %

表 12 入力精度 (腹囲の大きさ:粒度 7)

Table 12 Accuracy of input
(Abdominal circumference:Granularity-7)

状況	2XS	XS	S	M	L	XL	2XL	平均
着席	100 %	100 %	80.0 %	100 %	100 %	100 %	100 %	97.1 %
起立	90.0 %	90.0 %	100 %	100 %	90.0 %	90.0 %	90.0 %	92.9 %
歩行	100 %	70.0 %	100 %	100 %	80.0 %	80.0 %	90.0 %	88.6 %
会話	100 %	90.0 %	100 %	90.0 %	100 %	90.0 %	90.0 %	94.3 %
満腹	100 %	70.0 %	90.0 %	100 %	80.0 %	80.0 %	60.0 %	82.9 %

おける粒度 3・粒度 5 での入力は想定した使用状況下全てで有用であると言える。

粒度 7 においては、満腹時での平均入力精度の低下が他の状況下と比較して大きいものの、82.9 % を維持していた。腹部動作速度を利用する手法における粒度 7 の満腹時での

平均入力精度が 65 % まで急激に低下したものと比べると、腹囲の大きさを利用する手法においてはユーザが満腹状態であったとしても、入力精度に対する影響は小さいと考えられる。また、腹部動作速度を利用する手法に比べて各コマンドの精度のばらつきが小さく、腹囲の大きさを利用する手法では比較的安定したコマンド入力が可能であると考えられる。

粒度 9 においては、全ての状況下での平均入力精度が低下した。特に、腹部を膨らませる方向のコマンドの入力精度が低下した。分解能が細くなると、腹部をへこませる方向に比べて膨らませる方向の方が、腹囲の大きさ調節が困難であると考えられる。また、歩行中の平均入力精度が最も低かったことより、歩行動作による身体への振動は腹囲の大きさ調節に影響を与えることが分かる。

粒度 11 においては全ての状況下で平均入力精度が 70 % 程度となり、コマンドとして十分に利用できない分解能であると考えられる。また、粒度 9 の場合と同様に歩行中の平均入力精度が最も低い結果となった。

5.3 考察

評価実験の結果より実用的な分解能について考察する。また、実際に入力機器として利用する際の具体的な入力方法、および手法ごとに要求される分解能について考察する。

5.3.1 入力内容と必要分解能

提案システムを入力機器として利用する場合に考えられる入力内容と、それぞれの入力内容に対して、分解能の変動によって実現される入力手法を以下に示す。これらの入力手法は、本稿の評価実験において高い入力精度を記録した分解能で実現可能である。

- ダイアログ入力:

【粒度 3】はい/いいえ/キャンセル (動作速度)

表 13 入力精度 (腹囲の大きさ:粒度 9)

Table 13 Accuracy of input(Abdominal circumference:Granularity-9)

状況	3XS	2XS	XS	S	M	L	XL	2XL	3XL	平均
着席	100 %	90.0 %	60.0 %	80.0 %	90.0 %	100 %	100 %	60.0 %	60.0 %	82.2 %
直立	90.0 %	90.0 %	90.0 %	90.0 %	100 %	80.0 %	90.0 %	90.0 %	100 %	91.1 %
歩行	100 %	60.0 %	70.0 %	60.0 %	90.0 %	80.0 %	50.0 %	70.0 %	60.0 %	71.1 %
会話	90.0 %	80.0 %	80.0 %	70.0 %	100 %	90.0 %	70.0 %	90.0 %	100 %	85.6 %
満腹	100 %	80.0 %	70.0 %	60.0 %	90.0 %	70.0 %	80.0 %	70.0 %	80.0 %	77.8 %

表 14 入力精度 (腹囲の大きさ:粒度 11)

Table 14 Accuracy of input(Abdominal circumference:Granularity-11)

状況	4XS	3XS	2XS	XS	S	M	L	XL	2XL	3XL	4XL	平均
着席	80.0 %	80.0 %	80.0 %	70.0 %	80.0 %	100 %	50.0 %	90.0 %	90.0 %	50.0 %	90.0 %	78.2 %
直立	90.0 %	90.0 %	90.0 %	60.0 %	50.0 %	100 %	90.0 %	80.0 %	90.0 %	30.0 %	40.0 %	73.6 %
歩行	60.0 %	20.0 %	40.0 %	90.0 %	80.0 %	100 %	90.0 %	90.0 %	40.0 %	40.0 %	60.0 %	64.5 %
会話	90.0 %	80.0 %	80.0 %	80.0 %	40.0 %	90.0 %	90.0 %	80.0 %	80.0 %	80.0 %	60.0 %	77.3 %
満腹	80.0 %	80.0 %	70.0 %	60.0 %	60.0 %	90.0 %	50.0 %	70.0 %	70.0 %	80.0 %	70.0 %	71.0 %

- カーソル操作:
 - 【粒度 5】上/下/左/右/決定 (大きさ + 動作速度)
 - 【粒度 7】加速/減速のコマンドを追加 (動作速度)
- スクロール操作:
 - 【粒度 2】上/下 (大きさ)
 - 【粒度 4】加速/減速のコマンドを追加 (大きさ)
- 階層型メニュー操作:
 - 【粒度 4】上/下/決定/戻る (大きさ + 動作速度)
- キーパッド操作:
 - 【粒度 8】ゲームパッド入力
 - 【粒度 10】テンキーパッド入力
- 文字入力:
 - 【粒度 3】左/右/決定 (文字列から選んで決定)
 - 【粒度 10】2 タッチ入力

5.3.2 両手法における実用的な分解能

腹部動作速度を利用する手法および腹囲の大きさを利用する手法それぞれにおいて、評価実験より得られた各状況下における粒度ごとのコマンド平均入力精度を表 15、表 16 に示す。どちらの手法においても、分解能が細くなるにつれて徐々に入力精度は低下することが分かった。粒度 11 以降も、同様に入力精度は徐々に低下すると考えられる。腹部動作速度を利用する手法においては粒度 5 まで、腹囲の大きさを利用する手法においては粒度 7 まで全状況下で高い入力精度を示しているが、以降分解能が細くなるにつれて入力精度が低下する理由として、ユーザの腹部動作制御の難かに加えて、閾値の設定方法に改善の余地があると考えられる。膨らませる方向、へこませる方向どちらかユーザが得意とする側を多めに閾値で分割することや、腹部動作速度と腹囲の大きさ両方の値を同時に利用して、ユーザが意図するコマンドを推測し、誤入力を低減させるシステムの開発など、より実用的な分解能を実現す

表 15 平均入力精度 (腹部動作速度)

Table 15 An average accuracy of input (Moving velocity)

状況	粒度 3	粒度 5	粒度 7	粒度 9	粒度 11
着席	100 %	100 %	90.0 %	81.3 %	55.0 %
直立	100 %	95.0 %	85.0 %	71.3 %	66.0 %
歩行	100 %	95.0 %	80.0 %	52.5 %	50.0 %
会話	100 %	90.0 %	80.0 %	51.3 %	51.0 %
満腹	100 %	90.0 %	65.0 %	48.8 %	43.0 %

表 16 平均入力精度 (腹囲の大きさ)

Table 16 An average accuracy of input (Abdominal circumference)

状況	粒度 3	粒度 5	粒度 7	粒度 9	粒度 11
着席	100 %	100 %	97.1 %	82.2 %	78.2 %
直立	100 %	100 %	92.9 %	91.1 %	73.6 %
歩行	100 %	98.0 %	88.6 %	71.1 %	64.5 %
会話	100 %	92.0 %	94.3 %	85.6 %	77.3 %
満腹	100 %	98.0 %	82.9 %	77.8 %	71 %

るための手法が考えられる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、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、入力が想定されるいくつかの環境下で入力分解能の評価を行った。評価結果から、腹部動作速度を用いる方法では粒度 5、腹囲の大きさを用いる方法では粒度 7 までで高い入力精度が得られた。また、それ以上の分解能についても閾値の自動調整などの機能を組み込むことで向上すると見込まれる。

今後の課題として被験者を増やしての評価実験を行う必要がある。また、閾値の自動調整機構を実装する。さらに、並列性や耐環境性の条件を増やすとともに、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、科学技術振興機構さきがけ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] 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 Performance 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気マウスの開発, 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/>.