

ウェアラブルコンピューティングのための触覚情報を用いた 入出力支援システム

沖野 将司[†] 塚本 昌彦^{††} 義久 智樹^{†††}

[†]神戸大学大学院自然科学研究科 ^{††}神戸大学工学部 ^{†††}京都大学学術情報メディアセンター

近年、計算機の小型・軽量化に伴い、コンピュータを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対する注目が高まっている。HMD などのような装着型ディスプレイを用いる場合、歩行中や作業中など動きながらコンピュータアプリケーションを利用できるというメリットがある反面、動きが激しい場合には計算機の画面を注視できなかつたり、入力が正確に行えなかつたりするという問題が生ずる。本稿では、デスクトップ操作の際に触覚情報提示を付加し、このような問題を解決するための入出力支援方式を提案する。また、本提案に基づき実装したシステムである触覚デスクトップの概要を示す。触覚デスクトップは、マウス型の触覚提示装置を用いて、カーソルの位置情報やデスクトップアイコンの有無などを提示する。

An Input/Output Support System using Haptic Information for Wearable Computing

Masashi Okino[†], Masahiko Tsukamoto^{††}, Tomoki Yoshihisa^{†††}

[†]Graduate School of Science and Technology, Kobe University

^{††}Faculty of Engineering, Kobe University

^{†††}Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

Due to the recent downsizing of computers, wearable computing, i.e., a computing style where a user brings a computer on the body, has attracted great attention. In wearable computing since computers are used even if users are walking or working, they can use computers whenever they want. However, in such environments, we cannot gaze computer's display and ordinal displaying systems are not suitable. In this paper, we propose a computer interface using a touch sense mouse called the haptic desktop system. This system is one of an input and output support system by the touch sense. We made a prototype system using tangible mouse.

1 はじめに

近年、計算機の小型・軽量化とバッテリー・無線通信技術の進歩により、ユーザが計算機をどこでも使える環境が整いつつある。これにより、コンピュータを常に身につけて使うウェアラブルコンピューティングに対する期待が高まっている。

ウェアラブルコンピューティングとは、ユーザがコンピュータを衣服のように身につけて使う利用形態である。特徴として、歩行中や作業中などの従来計算機の利用が難しい環境において計算機を利用でき、作業の補助などがおこなえる点である。しかし、従来使用される視覚に頼る情報提示方式では、次のようなことが起こる。

- 作業中に画面を注視することで作業の手が止まり、作業効率が低下する。
- 歩行中画面を見ることに注意が行ってしまい事故につながる。

したがって、作業中では画面を長時間注視できないため、視覚に頼る情報提示方式では計算機を効率的に利用できない。このことから、視覚だけでなく、聴覚や触覚などの他の感覚を用いて情報の提示先を分散させていくことが、ウェアラブルコンピューティングの利用に際しては重要になる。

本稿ではウェアラブルコンピューティングにおける入出力支援方式として、触覚を用いた入力支援方式を提案す

る。触覚を用いて情報を提示することで、ユーザが画面を注視しなくても操作を継続することが可能となる。

ここで、視覚情報のメリットについて考える。視覚情報のメリットは、聴覚や触覚に比べ、情報量が圧倒的に多いことである。一度に表示する場合や順に表示する場合でも情報量の差は明らかである。また、他のメリットとしては図や写真などによる情報提示は直感的に分かりやすいことも挙げられる。

次に触覚情報のメリットについて検討する。触覚情報の最大のメリットは独立性である。例を挙げると、視覚情報が得られないときでも利用できること、周辺が騒がしくても利用できることといった独立性がある。また、触覚情報が必要とする活動は、視覚や聴覚に比べ少なく、多くの他の活動を妨げない点も触覚情報のメリットである。

以上より、触覚情報で視覚情報を補助することにより、視覚情報を生かした相乗効果を生み出し、使用範囲を広げることができると考えられる。提案する手法では、従来のシステムを大きく変えることなく、触覚による支援をすることができる。付加する対象は、デスクトップ上にあるデスクトップアイコンやスタートメニュー、タスクバーなど、通常 PC を利用する上で、ユーザが選択を行う場所で、触覚による識別を可能とすることにより歩行中のような画面を注視できない状況でもアイコンやボタンの選択をスムーズにする。

2 関連研究

1章で述べた、計算機で触覚を利用する手法は、すでに様々な形で研究がなされている。

まず、マウスなどの既存の装置に触覚による情報提示を付加する研究について述べる。マウス内にモーターを内蔵し、操作にあわせて振動する Logitech 社の iFeel[1] は視覚情報の補助として、PC のデスクトップ情報を振動により伝達する。他には、渡辺らによる触知ピン形触覚マウスを用いた図形情報の識別に関する研究 [2] やピンの上下で触覚を表現するタイプの触覚マウスに関する大岡らの研究 [3]、マウスのホイール部を利用して力の加減を伝達する福中らの研究 [4] などがある。

次に、ウェアラブルコンピューティングにおける触覚の利用について述べる。これには、服に振動モータを組み込み、触覚を提示する研究 [5]、ベルト型ウェアラブルインタフェース Active Belt[6]、振動子アレイを用いた触覚ディスプレイに関する研究 [7] などがある。

3 ウェアラブルコンピューティングにおける入出力支援

3.1 ウェアラブルインタフェースへの要求事項

ウェアラブルコンピューティング向けのインタフェースである「ウェアラブルインタフェース」について考える。ウェアラブルインタフェースは以下のような特徴を持つことが望ましい。

- 入出力装置は予め持ち歩くことを想定する。
- 様々な利用環境への対応を考慮する。
- 既存機器からの操作形態の変化が小さい。

上記に挙げる特徴の内、2番目の「様々な利用環境への対応」が最も重要であると考えている。それは、この特徴が従来の形式との隔たりが最も大きい点となるからである。

様々な利用環境へ対応手段は色々と考えられるが、ここでは入出力システムの複合化（マルチモード化）に着目した。マルチモード化を成す要素の組み合わせは多々挙げられるが、本稿では1章にも挙げた触覚情報による視覚情報の補助という形態を採用した。

3.2 既存方式の問題点

2章にあげた研究では、一部において触覚情報で視覚情報を補助するインタフェースの実現に成功している。しかし、3.1節にて述べた「ウェアラブルインタフェース」としてはどれも現状では不向きである。

その理由としては、システムが提示装置に対して特化しすぎていることや、情報の表現の幅が狭いことが挙げられる。

特にシステムが提示装置に対して特化しすぎている点は、ほとんどすべての関連研究で見受けられる。それぞれの提示装置の特色を生かすことに着目するのであれば特化することによるメリットは大きい、得意とする領域と不得意とする領域がはっきり分かれることになり、想定される利用環境全てをカバーすることは不可能となる。

装置を大きく変化させることなくカバーする範囲を広げるには、複数の提示装置の併用や提示装置に複数の機能を持たせることが考えられるが、関連研究が用いているシステムプラットフォームではこれに対応することができない。

よって、「ウェアラブルインタフェース」に触覚情報で視覚情報を補助する機能を取り入れるには汎用性が高く柔軟性に富んだシステムプラットフォームがあることが望ましいと考えられる。

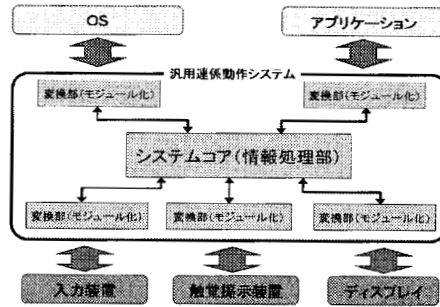


図 1: システムプラットフォームの概要

3.3 システムの提案

3.1節および3.2節より、触覚情報にて視覚情報の補助をおこなうウェアラブルインタフェースのシステムを提案する。

ウェアラブルインタフェースに触覚情報を取り込み、補助機構として有効的に運用していくには、以下の機能の実現が必要になると考えられる。

- 既存環境や複数の提示装置、各種アプリケーションの複合的な連係動作を可能にする
- 単純振動や2次元位置制御を行う
- 環境に能動的に対応する

上記の要求事項のうち、特に1つめの事項については、従来の研究ではほとんど考慮されていなかった。そこで、本研究では既存環境や複数の提示装置、各種アプリケーションの複合的な連係動作が可能なシステムの構築について提案をおこなう。提案するシステムは、既存のOSやアプリケーション、各種インタフェース（触覚提示機能を持つものを含む）の間に位置し、これらが互いに利用しあえるようにするものである。その関係を図1に示す。

図1における具体的な処理の流れを説明する。入力インタフェースから入った情報は、入力インタフェース独自の形式からシステム独自の形式に変換される。情報は、汎用連係動作システム内で処理をされた後、それぞれのOS・アプリケーションが利用できる形に再度変換した上で、OS・アプリケーションへ送られる。また、OSから触覚提示装置などへの処理も同様におこなわれる。

共通プラットフォームを用意し、変換モジュールを介して情報を処理するのでシステムの柔軟性は高い。また、これらの処理はソフトウェア上でおこなわれる。したがって、本形式は情報変換モジュールをシステムに追加することで、あらゆるインタフェース・OS・アプリケーションの相互の連携が可能になる。

システムコアは情報の流れの制御と入力に応じて出力を決定する役割を担っている。触覚提示部の動作の制御もシステムコアでおこなわれ、システムコアには触覚提示部の動作パターンが登録されている。制御対象となる触覚提示装置に応じて、単純な振動や複雑な2次元位置制御をおこなう。変換モジュールは、利用する個々のハードウェア・ソフトウェアにdllのような動作処理を部品化したモジュールが用意されていれば容易に構築できる。また、始めから触覚提示部の動作パターンを全て想定することは現実的に不可能であるため、動作の処理を司るシステムコアの部分も機能拡張が可能な構成にする必要がある。

4 提案方式

3.2 節で提案した汎用連係動作システムを実装する具体的な手法について述べる。本稿では実装の第一段階として、OS・入力装置・触覚提示装置を連係動作させる「触覚デスクトップ」を提案する。

4.1 触覚デスクトップについて

触覚デスクトップでは次の機能を実現する。

- デスクトップを構成するウィンドウ・ボタン・メニュー・タスクバーといった要素に触覚情報を割り振る。この情報を触覚情報提示装置にて提示することで、常に画面を注視しなくてもデスクトップ操作を可能にする。
- 触覚情報の割り振りを変更可能にする。触覚情報をユーザが自由に変更でき、ユーザの利便性を確保する。
- 状況に応じて提示方式に変化をつける。これにより、様々な環境に対応させる。
- 触覚を通じて情報を受け取るだけでなく操作を返すことに対応する。この機能を用いると、入出力一体型装置の利用が可能となる。

機能の具体的な方式は 4.3 節で述べる。

4.2 システムの構成

提案するシステムは、ハードウェアはポインティングデバイス、触覚提示装置、PC、ヘッドマウントディスプレイで構成されている。ソフトウェアには、触覚デスクトップシステムが組み込まれている。ここで言う触覚デスクトップシステムとは、汎用連係動作システムのシステムコアと OS(Windows)・入力装置(ポインティングデバイス)・触覚提示装置の情報変換モジュールを組み合わせたものである。また、システムコアは使用する装置およびソフトウェアに合わせて最適化している。

ポインティングデバイスはマウスやタッチパッド、トラックボールなどを想定しており、PC はウェアラブルコンピュータに適した、小型・軽量のものを想定している。また、触覚提示装置については、指先で扱える程度の大きさで、ある程度の動作の種類を持つものが必要である。その上でシステムを活用するには、2次元の動作が可能で、入力・出力の両方に利用できる装置であることが望ましい。

この方式により、従来のデスクトップ環境とウェアラブルコンピュータ環境のどちらにおいても同じ形式での使用が可能になる。従来の環境との互換性が高いため、使用環境のシームレスな移行が可能である。

4.3 システムの機能

触覚デスクトップが持つ機能について述べる。ここで述べるのは、触覚デスクトップのシステムコアが持つ、触覚提示部の動作に関する機能についてである。実現できる機能は、情報提示機能と操作支援機能の大きく2種類に分けられる。この内、情報提示機能の適応対象例を図2に示す。ここでは基本的な情報提示機能、発展的な情報提示機能、操作支援機能について、機能の例を挙げながら述べる。

4.3.1 基本的な情報提示機能

基本的な情報提示機能は、触覚情報に振動を用いて比較的単純な情報を触覚提示部を介してユーザに伝達するものである。ここに分類される機能は、ユーザが直観的に情報を得ることができ、情報提示速度のレスポンスが高い。また、触覚提示装置が複数の振動子を組み合わせ

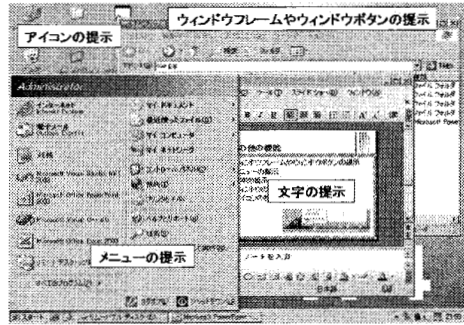


図 2: 情報提示機能の対象

た構造の場合や振動に指向性を持たせることができる場合には「方向」の情報も組み合わせることができる。方向の情報がある際は、ユーザがより分かりやすい形で情報を得られるだけでなく、提示する情報量の拡大にも繋がる。

(1) 振動によるウィンドウ領域の提示

各ウィンドウの枠を擬似的な段差に見立て、枠を越えると少し振動する。この機能は、カーソルがウィンドウの境界近くにあるとき、ユーザがウィンドウ上にカーソルがあるかないかを判断する助けとなる。

また、枠の越え方(例えば右から越えたのか、下から越えたのか)によって、越え方に応じた振動をする。これにより、ウィンドウの位置関係の把握がし易くなる。

(2) 振動によるアイコンの位置提示

デスクトップアイコンやスタートメニューアイコンといった各種アイコンに振動情報を割り振り、アイコン上にカーソルが来た時、割り振られた振動情報を基に触覚提示部が振動する機能である。これにより、ユーザはどのアイコン上にカーソルがあるのかを判別することができる。振動情報は基本的に自動で割り振られるが、ユーザによって振動の割り振りの変更と保存が可能とすることで、認識しやすい振動を割り当てることができる。また、振動パターンは振動の強さと振動の周期、場合によっては振動の方向を要素として決定され、パターン数は触覚提示部の構成に依存する。

(3) 振動による PC のステータス提示

マウスカーソルをデスクトップ領域の上下左右の端に移動させると、CPU 使用率やメモリの使用率といった PC のステータス情報を、触覚提示部を介した振動などの動きでユーザに提示する。これにより、ユーザは直観的に PC リソースの使用状況を知ることができる。

これらの機能の提示できる情報は触覚提示部の表現能力に依存する。提示部が複雑な動きを可能とするもの、もしくは提示部の数が多い場合、振動パターンの数を増やすことができるのでよりきめ細かい情報の提示が可能になる。

4.3.2 発展的な情報提示機能

システムに用いる触覚提示部が2次元動作が可能な場合、4.3.1 項の機能に加え、次の機能が利用可能になる。これらの機能は基本的な情報提示機能に比べ、直観的な操作感が低下するが、システムの適応範囲を向上できる。

(1) 触覚提示部による領域提示

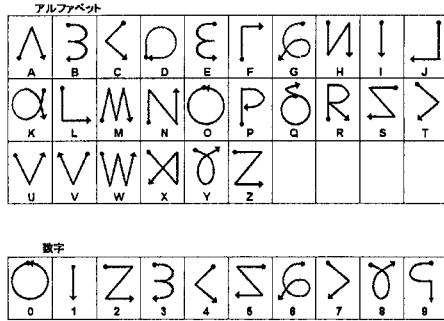


図 3: アルファベットの触覚提示パターン

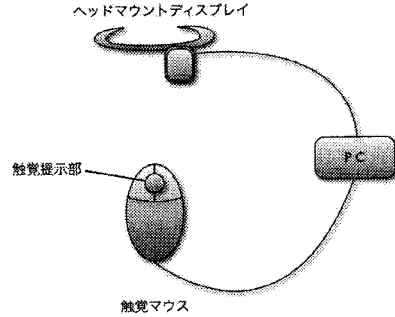


図 5: 触覚デスクトップの実装図

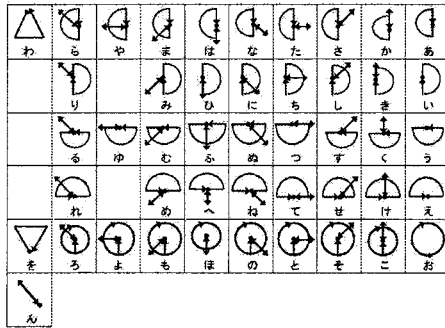


図 4: ひらがなの触覚提示パターン

画面全体を9つの領域に分割し、マウスカーソルがどの領域にあるかを触覚提示部に力をかけることで示す。例えば、マウスカーソルが画面右上の付近にあるときは、触覚提示部に右上方向の力をかける。これにより、マウスカーソルがあるおおよその位置を、ユーザは画面を見ることなく知ることができる。

(2) 手触り感による情報提示

例えば、前項で述べた「振動によるアイコンの位置提示」において、触覚情報を手触り感で与える方式が挙げられる。表現の幅が大きく広がるので、より直観的な認識が可能となる。また、情報量が多くなるので、補助機構としての適用範囲の拡大が期待できる。

(3) 触覚提示部による文字情報提示

触覚提示部を、文字を描くかのように動かすことで、文字情報をユーザに伝えることを目的とした機能である。システムには予め、文字に応じた移動パターンが格納されており、取得した情報を元に出力する文字を決定し、移動パターンを触覚提示部に出力する。

文字の表現方法は、アルファベットと記号は Palm OS に用いられている Graffiti[8] のパターンをベースにしている。ひらがなとカタカナについてはローマ字入力をベースとした筆者が定義した動作パターンを用いて表現をおこなう。これら動作パターンを図3、図4に示す。漢字は、読み仮名を取得し、ひらがなで提示する。

文字情報の提示速度と提示文字数についてはユーザが選択可能とする。これによりユーザの熟練度に応じて適

切な速度を設定し、認識率の向上が可能となる。また、文字情報の情報元や文字数に応じた適切な提示速度を設定することで、読み流すなどの機能を実現する。

4.3.3 操作支援機能

操作支援機能は、2次元動作が可能な触覚提示部を使い、入力デバイスとして利用するものである。提示された触覚情報に対して、同じ装置で操作をおこなうので、操作がスムーズとなる。また、人が実世界でおこなっている「ボタンを押す」「物を掴む」といった動作を擬似的に再現するので、直観的に操作ができる。

(1) 触覚提示部によるボタンの位置提示とその操作

ウィンドウ上のボタンに触覚情報を埋め込み、カーソルが来た時に触覚提示部を動作させる。その動作に対して、ユーザは触覚提示部を操作して反応を返す。

例として、マウスカーソルがウィンドウの閉じる・最小化・最大化の各ボタン上に来るとそれを感じて、触覚提示部がボタンの凹凸を再現する動作をおこない、それを受けユーザが触覚提示部で「押し込む」操作をおこなうと、選択しているボタンを決定する。

(2) 触覚提示部によるアイコンのポジション移動

アイコン移動モードに設定しておく、カーソルがアイコン上に来たとき、触覚提示部が可動範囲の中央に動き、固定される。この状態で触覚提示部を上下左右に動かすと、アイコンが各方向に移動する。選択した方向側の隣接した区域に他のアイコンがあれば、そのアイコンと位置を入れ替え、アイコンがなければ、デスクトップの領域の端か他のアイコンに衝突するまで移動を行う。

(3) 触覚提示部によるウィンドウの位置提示と移動操作

フォーカスフィードバックの考えを元にウィンドウに手ごたえを決める情報を埋め込み、触覚提示部を用いて疑似的に「持ち上げる」や「掴む」といった操作ができるようにする。これを用いて、ウィンドウの移動や入れ替えを直観的におこなうことができる。

5 触覚デスクトップの実装

5.1 プロトタイプ

本稿の評価に使用したプロトタイプの構成を図5に示す。本プロトタイプは、次節で述べる触覚マウスを小型PCに取り付けており、ヘッドマウントディスプレイに

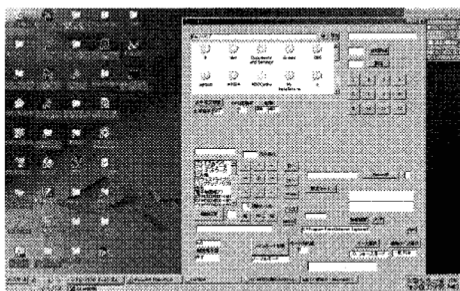


図 6: 設定画面

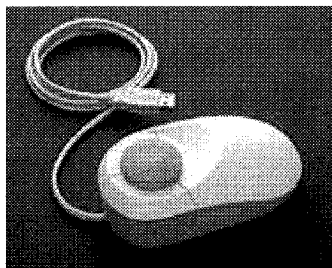


図 7: 触覚マウス (開発: 富士ゼロックス)

は島津製作所の Data Glass 2/A を使用した。PC は、4 章で提案した触覚デスクトップを搭載するため、OS に Windows を用いたものを使用する。触覚デスクトップは VC++ によって構築した Windows 用のものを組み込んだ。触覚デスクトップは触覚マウスやディスプレイ出力をコントロールする。プロトタイプには、触覚デスクトップの機能として 4.3 節で述べたすべての機能を搭載した。このうち、振動によるアイコンの位置提示、触覚提示部によるアイコンのポジション移動、ウェアラブルアイコン選択モードの 3 つについては、排他的に利用する。

また、図 6 に示す設定画面を用いて、ユーザが振動や手触り感のパターンを変更できる。

5.2 触覚マウスについて

触覚マウスは富士ゼロックス株式会社が開発した装置 [9] で、ポインティングデバイスと触覚提示部を兼ね備えた装置であり、外観を図 7 に示す。

触覚マウスには、ホイールマウスのホイール部に相当するところに触覚提示部があり、触覚提示部の下には 2 次元アクチュエータが内装されている。触覚マウスは本来、Web ページ上などで商品の手触りや凹凸感などを擬似的に体感できるような用途を主眼においているが、開発環境も含め汎用性を考慮した作りになっており、様々な形の利用方法が考えられる。本稿で用いたプロトタイプではこの汎用性を生かして、触覚マウスを入力、出力のどちらにも対応するマルチモードの装置として利用する。

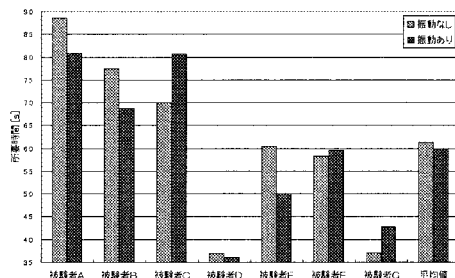


図 8: 歩行中のアイコンクリックの平均所要時間

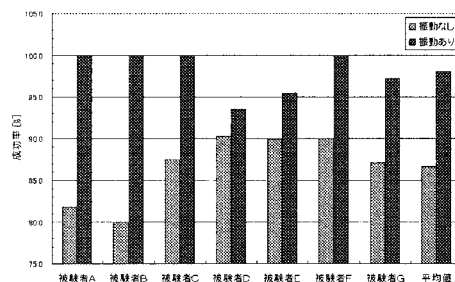


図 9: 歩行中のアイコンクリックの成功率

6 評価と考察

6.1 振動情報提示に関する評価

触覚デスクトップの操作性に関して、次に示す方法で測定を行い、その結果について評価を行った。

被験者にシステムのプロトタイプを装着してもらい、まず静止時における振動の有無による違いを測定する。方法は、こちらが指示したアイコンを 10 個クリックしてもらい、所要時間を測定した。この結果から、静止時において、1 つのアイコンをクリックするのに掛かった平均所要時間を算出すると、振動の有るときと無いときの差はわずか 0.01 秒しか見られず、振動による有為な差異は見受けられなかった。

次に、歩行時における振動の有無による違いを測定する。方法は、被験者に一定の区間を歩いてもらい、その間に逐次クリックするアイコンを指示し、クリックしてもらう。これを振動ありと振動なしの 2 パターンで、被験者 A から D まで

- 振動なし 1 回目、振動あり 1 回目、振動あり 2 回目、振動なし 2 回目

の順で、被験者 E から G まで

- 振動あり 1 回目、振動なし 1 回目、振動なし 2 回目、振動あり 2 回目

の順で、測定を行った。測定では、指示されたアイコンをクリックできた回数と、一定区間を歩くのに掛かった所要時間、クリックをミスした回数の 3 項目について、データを収集した。その後、測定結果から、歩行中に 1 つのアイコンをクリックするのに掛かった平均所要時間と、アイコンのクリック成功率を算出した。その結果を図 8 および図 9 に示す。

図8の測定結果から、振動情報の有無はアイコンクリックの所要時間にほとんど影響を与えないことを確認した。これは、目的のアイコンへカーソルを移動させるのは、振動情報がある方が早いもの、振動情報を確認してからクリックするため、クリックまでにタイムラグが生じたものと考えられる。このことは、被験者の感想からも確認できた。

次に、図9の測定結果から、振動情報がある方がアイコンクリックの成功率が大きく上がることを確認した。これは、振動ありの方は振動しているときにクリックすることで、ほぼ確実にカーソルをアイコンに合わせたままクリック動作を行えるが、振動なしの方は、カーソルがアイコン上に来たことを目視で確認した後、クリックするまでのわずかな間にカーソルがずれてしまうことがあるためである。カーソルのずれは歩行中の振動や腕の動きによるものなので、ウェアラブルコンピューティング環境では避けて通れない問題である。ゆえに、カーソルへの一致を振動で認識させるこのシステムには、確実な操作を実現するという点で、一定の有用性があることが確認できた。

6.2 考察

6.2.1 提示装置

本研究では、提案した触覚デスクトップを触覚マウスを用いて実現し、提案方式についての評価を行った。その結果、被験者からは「アイコンの位置が確実に分かるので、確かに操作性が向上した」という評価を得た。しかし、使用したマウスは本来ウェアラブル向けの装置ではない。今後は、始めからウェアラブルコンピューティングを想定した触覚提示装置を開発し、それを用いる方が良いと考えられる。

6.2.2 触覚デスクトップの機能拡張

触覚デスクトップは、4.1節および4.2節で述べたように、さらに機能を追加することが始めから想定されている。よって、今回導入した機能の他にも様々な機能が考えられ、それを追加していくことが望ましい。

その一例としては、メール用の情報伝達機能が挙げられる。これは、新着メールの着信を振動によって伝達し、メールの差出人やメールの種類を手触り感で判別できる機能である。

更に大きく機能を拡張する方法として、触覚以外の感覚提示の活用とPCやOSの環境への最適化が考えられる。

触覚以外の感覚提示の活用は、聴覚や嗅覚といった今のシステムでは用いていない他の五感を利用し、そして今利用している触覚及び視覚の提示方式の改良を行い、五感をより緊密かつ効率よく連携させることを指す。例として、周辺環境をセンシングして、状況に合わせて提示手段を変えるシステムがある。

PCやOSの環境への最適化は、現在のポインティングを必要とするPCの形式やGUIベースで作られているOSを、ウェアラブルコンピューティング環境での利用を前提に、視覚ではなく触覚をシステムの基本に据える方法である。しかし、この方法では従来の環境との互換性が低くなってしまい、提案した触覚デスクトップの利点の一つを打ち消してしまうので、実現には、従来のシステムとの互換性や現在提案している触覚デスクトップのシステムの形式について、十分な検討を重ねる必要があると考えられる。

7 まとめ

本研究では、ウェアラブルコンピューティングにおける触覚を用いた入力支援方式として、触覚デスクトップ

を提案した。触覚デスクトップは触覚提示部を介して、アイコンの有無やカーソルの位置などの情報を、振動情報にてユーザに提示することができる。評価の結果、振動情報を加えることで、歩行中におけるデスクトップ操作の操作精度が向上することを確認した。

今後の課題としては、触覚デスクトップにさらに機能を追加するとともに、ウェアラブルコンピューティングに適した触覚提示装置の開発、環境ごとの最適な情報提示方式の検討、聴覚を始めとする他の感覚と連携したシステムの構築などが挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金・特定領域研究「情報爆発のための装着型出力デバイスを用いた情報操作方式」(18049058)によるものである。ここに記して、謝意を表す。本研究を進めるに当たり、触覚マウスを貸与いただいた富士ゼロックス株式会社技術開発本部の関係者の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- [1] Logitech iFeel MouseMan
<http://www.logitech.com/>
- [2] 渡辺 哲也, 久米 祐一郎, 伊福部 達: 触覚マウスによる図形情報の識別, 映像情報メディア学会誌, Vol.54, No.6, pp.840-847, 2000.
- [3] 大岡 昌博, 古賀 宏嗣, 宮岡 徹: 高密度ピンアレイ形触覚マウスによる格子状仮想テキスト表示 (第1報) 触覚マウスの試作と性能評価実験法の確立, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.71, No.711, pp.3174-3180, 2005.
- [4] 福中謙一, 木村朝子, 佐藤宏介, 井口征士: 力覚フィードバックを与えるパッシブ型力覚マウス, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.6, No.2, pp.75-82, 2004.
- [5] Francine Gemperle, Nathan Ota, Dan Siewiorek : Design of a Wearable Tactile Display, IEEE Fifth International Symposium on Wearable Computers (ISWC'01), pp.5-12, 2001.
- [6] 塚田 浩二, 安村 通見 : 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.
- [7] 田村 隆幸, 矢野 博明, 岩田 洋夫: 振動子アレイを用いたウェアラブル触覚インタフェース, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol.7, pp.137-140, 2002.
- [8] Ways to Enter Data into a Palm Device
<http://www.palm.com/us/products/input/>
- [9] 坂巻 克己: 2次元リニアアクチュエータを用いた触覚呈示システム, ヒューマンインターフェース学会研究報告集, Vol.1, No.5, pp.83-86, 1999.