

2つの加速度センサを用いたポインティング手法

A Pointing Method with Two Accelerometers

所 洋平 寺田 努 塚本 昌彦*

Summary. ユーザが作業中でも様々な情報を提供できるウェアラブルコンピューティングは、実世界における新たなコンピュータ利用スタイルとして有力である。ウェアラブルコンピュータの操作には、単純でハンズフリーな入力インタフェースが適しているが、GUIを操作するために必要なポインティングに関しては、従来のマウスやトラックボールを利用した場合、ハンズフリーでかつ高速・高精度な入力はいまだ実現できていない。ウェアラブルコンピューティングのためのジェスチャ入力や視線入力の技術が発展してきてはいるが、ポインティング速度の低さ、必要とするデバイスの持ち運びにくさ、他の作業との並行作業のし難さなどが問題となる。そこで本論文では、2つの加速度センサを用いたジェスチャ入力によるポインティング手法を提案する。パソコンの画面やヘッドマウントディスプレイ上の2つの直線の動きを、装着した2つの加速度センサの独立した動きに同期させることにより、ポインティングを行う。また、より直観的な操作を実現するためにアイコンやメニューなどポインティング対象の配置を制御する機構を導入する。これはポインティング対象を本提案手法で用いる2直線の動作を基準とした配置へと移動させることで操作感とポインティング速度を上昇させるものである。評価実験の結果より、提案手法が有効であることを示す。

1 はじめに

近年、計算機の小型化・軽量化に伴い、ノートパソコンやPDA(Personal Digital Assistants)などの計算機をユーザが常に身につけ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[1]。ウェアラブルコンピューティングでは、ユーザはコンピュータを常に電源を入れた状態で身に着け、普段の生活の中で使用するため、その主目的はユーザが実世界で行っている作業を支援することである。コンピュータが周囲の環境とユーザとの間に介在することにより、ユーザの能力を向上させる。

一方、通常のデスクトップコンピューティング環境では、GUI(Graphical User Interface)が広く利用されており、コンピュータを利用するにはポインティングデバイスが必要不可欠である。GUIを使用するにはアイコンやボタンに対して、マウスなどのポインティングデバイスを用いて操作を行う。また、携帯情報端末においては、文字入力に関してもポインティングを用いる方式が実用化されている。ウェアラブルコンピューティングでは、荷物を持つ、片手で他の装置を操作するといった状況でアプリケーションを利用することが多くなるため、ハンズフリーで操作の簡単なポインティングデバイスが必要となる。

これまでマウスやトラックボール、ジョイスティックなど様々なポインティングデバイスが研究されて

きた。しかし、これらはデバイスを手に持ち操作する必要があり、ハンズフリー性が実現できていない。また、視線入力などを用いたポインティングに関しても色々な研究がなされているが、動作が制限されやすく、思う通りの操作が困難である。そこで本論文では小型の加速度センサを体に装着し、ジェスチャ入力でのポインティングを行う手法を提案する。提案手法では、操作する2軸を分離し、2つの加速度センサの動きと連動して動く2本の直線を用いてポインティングを行う。これにより、単純で分かりやすい操作で、正確かつ素早いポインティングが可能となる。

本論文は以下のように構成されている。2章でウェアラブルコンピューティングで使用するポインティングデバイスの関連研究について記述し、3章では提案するポインティング手法について述べる。さらに、4章で実装について述べ、5章で評価実験と考察を行い、最後に6章でまとめを行う。

2 関連研究

2.1 ウェアラブルコンピューティングのための入力手法

現在、ウェアラブルコンピューティングにおける入力デバイスとしては、トラックボールやジョイスティック、ジャイロセンサを用いたワイヤレス空中マウスなどが使われている[2][3]。しかし、これらのデバイスは実際に手に持って操作する必要があり、他の作業をしながら利用できない。また、これまでに光イメージセンサや超音波などを用いたデバイスを指先に装着してポインティングを行う研究もある

Copyright is held by the author(s).

* Yohei Tokoro, Tsutomu Terada and Masahiko Tsukamoto, 神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学 専攻

が [4][5], ハンズフリー利用に十分なデバイスサイズは実現できていない。

手の動きなどのジェスチャを検出してポインティングを行う研究も行われている。Gesture Pendant では、胸につけたペンダントに装着したカメラと赤外線投光器を用いてジェスチャ入力を行う [6]。WearTrack では頭部に 3 個のマイクを装着し、超音波を用いて三角測量により指先の位置を決定することで、ポインティングを実現している [7]。ハンドマウスでは、ウェアラブルカメラで得られた映像から着用者の手を検出し追跡することで、着用者の手をポインティングデバイスとして用いている [8]。MAGI-MOUSE は頭の動きでマウスカーソルの制御やクリックを行う [9]。TrackIR シリーズ [10] や、HeadMouse Extreme [11] は、頭部につけたマークを赤外線センサで読み取ることでポインティングを行う。ゲイズ・アンド・シェイクインタフェースでは、頭に加速度センサとカメラを装着し、視線感知により誤入力を防止すると同時に、加速度センサを用いたジェスチャ入力をポインティングに用いている [12]。

ユーザの視線を用いてポインティングを行う研究も多い。Tobii Technology 社の Eye-Tracking は視線でマウス操作を行う装置である [13]。視線入力によるコンピュータ操作支援システムでは、ビデオカメラを用いて重度肢体不自由者のパソコン使用を可能にしている [14]。注視拡大表示機能付き視線マウスインタフェースでは、注視点を拡大する手法を用いて、ポインティングやクリック動作を視線のみで行っている [15]。

しかし、これらの視線やジェスチャを検知するためには、カメラ、マイク、据え置き型のセンサなどの機器を余分に身につけたり、使用場所に設置する必要がある。そのため、使用環境が制限されたり、身につけて移動できないといった欠点もある。

2.2 加速度センサによるポインティング

加速度センサを用いたポインティングデバイスの研究も多数行われており、Ubi-Finger [16] では、人差し指の部分にベンドセンサを、手首部分に 2 軸加速度センサを取り付けたグローブ型のデバイスを構築している。しかし、Ubi-Finger では人差し指を押し込む動作によるライトのオン/オフや、手首の回転による TV の音量・チャンネル操作等の実世界における情報家電の操作を目的としており、GUI でのポインティングには適さない。

従来の加速度センサを用いたポインティングは、2 軸や 3 軸の加速度センサ 1 つだけを用いることが多く、その手法は大きく分けて 2 つに分類される。1 つ目は相対的な加速度の変化を用いるタイプである。この手法は加速度センサの値の蓄積をポインタの速度として用いるタイプである。しかし、この手

法は慣性によるポインタの行き過ぎや誤差の蓄積が原因となり、ポインティングが不正確になる。2 つ目は重力加速度を用いるタイプである [12]。この手法は重力の向きをポインタの速度として用いるタイプである。しかし、この手法は動きの組み合わせとポインタの動きが非直接的であり、あまり直観的な操作ではない。

3 提案

3.1 要求仕様

ウェアラブルコンピューティングのためのポインティング手法は、以下の要求事項をもつ。

- 素早さ: ウェアラブル環境においても、従来のデスクトップ環境と同等のポインティング速度が要求される。例えば、ホテルマンやウェーターが客の必要する情報をその場で検索するような状況や緊急医療処置、災害救助の現場において素早いポインティングが必要となる。
- 正確さ: 一般に、ポインティング操作には精度が求められる。常にユーザの必要に応じて、意図した箇所へポインタを移動できなければならない。
- ハンズフリー性: ウェアラブルコンピュータは、実世界の他の作業と並行して操作されるので、ハンズフリーな入力が求められる。
- 装着性: 体に装着するためには、デバイスサイズは小さくなければならない。また装着した状況下で長時間デバイスを使用し続けることになるので、ユーザが容易に装着していただけるような快適な装着感が必要になる。
- 操作性: デバイスの操作とポインタの動きの組合せは直観的に理解できる必要がある。直観的でなければ、ユーザは操作に集中しなくてはならず、実世界で行う作業や他の現象に対する注意が減少し、事故などにあう可能性が高まる。
- 計算量: ポインティングは少ない計算量でおこなわれる必要がある。ポインティングに画像処理のような高い計算量を使用してしまうと、他のアプリケーションの性能が低下する。

3.2 2 個の加速度センサを用いたポインティング

提案手法では、正確な操作を行うために、2 個の加速度センサを用いる。これは、人は体の各部をそれぞれ 1 軸方向のみに関しては、正確に素早く動かすことができるという想定に基づくものである。2 個のセンサを用いることによって、図 1 に示すように両手、両肘、両膝など、体の 2 箇所をそれぞれ別々の軸を操作するために使用できる。前章で述べた相

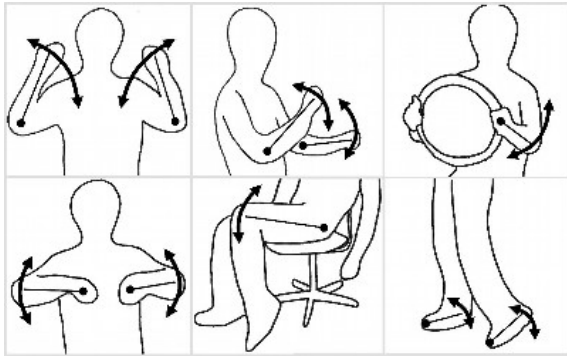


図 1. デバイスの使用状況例

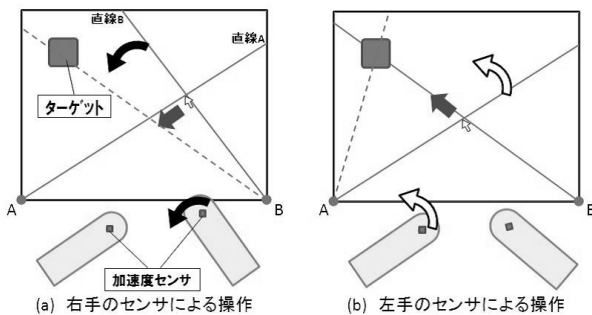


図 2. ポインティング操作例

対的な加速度の変化による方式ではユーザの動きを正確に検知できず、重力加速度を検知する方式では非直接的な操作になる。そこで、提案手法では、重力加速度に対するデバイスの傾きを画面上の直線の角度へ変換し、2本の直線の交点をポインティングする。速度への変換を介してポインティングを行うのではなく、角度から角度への直接的なマッピングを行うことにより、正確なポインティングに加え、直観的で分かりやすい操作を実現できる。以下に提案するポインティング手法について詳しく述べる。

図2に示すように、画面左下の点(以下、点Aとする)を支点とした直線(以下、直線Aとする)と画面右下の点(以下、点Bとする)を支点とした直線(以下、直線Bとする)を考え、それらの2直線の交点にポインタを配置する。この直線A、直線Bをそれぞれ装着した左右2個の加速度センサに対応させ、加速度センサの値の変化に応じて直線の画面下端からの角度を変化させる。この操作によって、加速度センサを取り付けた手先や肘の動きに同期して直線が動き、その交点によって表されるポインタを動かすことができる。

図2を用いて、操作例を次に示す。

1. 右手につけた加速度センサを下方方向に動かすことで、それに同期して直線Bが動き、ポインタが直線Aに沿って、左下方方向に動く。
2. 直線Bをターゲット上まで動かす。

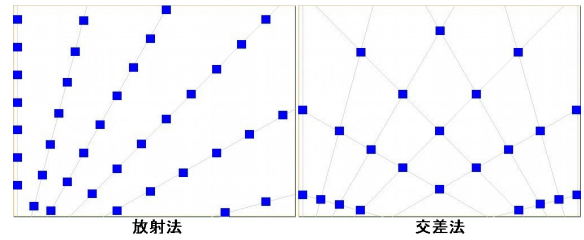


図 3. オブジェクト配置例

3. 1のときと同様に、左手を用いて直線Aを動かし、ポインタを直線Bに沿って左上に動かす。
4. 直線Aをターゲット上まで動かし、ポインタがターゲットに到達する。

3.3 オブジェクト配置手法

提案するポインティング方式を用いるにあたり、より直観的な操作を行うためにポインティング対象の配置を制御する手法について述べる。

3.3.1 アプローチ

一般的なGUIで用いられている直交座標系に基づくアイコン配置やメニュー構造では、提案手法の軸の動きには適しておらず、直観的な操作の妨げとなっている。そこで、ポインティング対象の配置を提案手法に合わせて変化させることで、提案手法のポインティング性能を向上させる。

ポインティング対象としては、デスクトップ上やフォルダ内のアイコン、各ウィンドウのメニューバーやプルダウンメニュー、ソフトウェア内の特定の操作ボタンなど様々なものがある。これらのポインティング対象を本提案手法で用いられる軸に沿った箇所へ配置することを考える。

3.3.2 配置制御アルゴリズム

本手法に適していると考えられる2種類のアイコン配置を提案する。どちらも画面両下の2点を支点とする直線の回転移動を基準とした配置である。

(1) 放射法

支点となる1点から等角度で放射状に並べたライン上にポインティング対象を図3左のように等間隔に配置する。この例では、左の直線を大きなラインの選択に用い、右の直線を用いて細かな項目を選択する。つまり、おおまかなライン選択と詳細な項目選択の役割が固定されているため、単純で分かりやすいポインティングが実現できる。

(2) 交差法

2つの支点から等角度で放射状に並べられたラインの交点にポインティング対象を図3右の

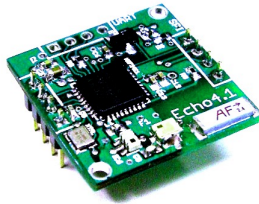


図 4. モジュールの外観

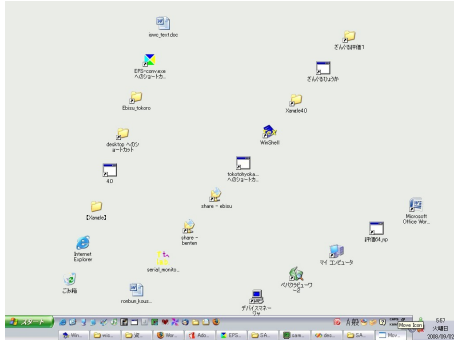


図 5. アイコン配置画面

ように配置する．この手法では，その時点でのポインタの位置と次にポインティングしたい位置との関係に応じて，ライン選択の直線と項目選択の直線を切り替えられるため，臨機応変なポインティングが実現できる．

4 実装

提案した手法に基づいて，筆者らの研究グループで開発した $20 \times 20 \times 3.9$ mm の無線センサモジュールを用いる．図 4 はそのモジュールの外観である．このモジュールは STMicroelectronics 社の 3 軸加速度センサ LIS3LV02DQ を用いている．無線 IC としては Nordic 社製 nRF24E1 を採用し，2.4GHz 帯での通信が可能である．また，PC 側のソフトウェア開発には，Microsoft 社の Visual C# 2005 を用いた．オブジェクト配置手法の利用例として，デスクトップ上のアイコンを自動的に提案手法に適した配置へと動かすプログラムを実装した．アイコンが配置されている画面を図 5 に示す．

5 評価と考察

提案したポインティング手法とオブジェクト配置手法の評価実験を行った．

5.1 ポインティングの評価

提案手法のポインティング速度を評価した．実験では， 1024×768 ピクセルの PC の画面上に， 64×64 ピクセルのターゲットをランダムに出現させ，

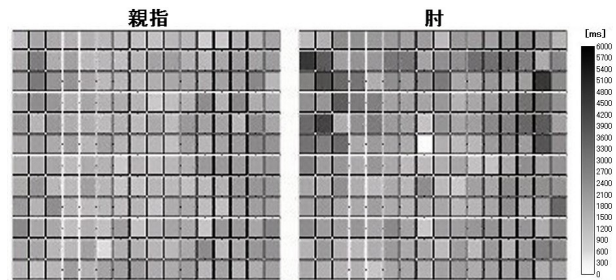


図 6. ポインティング所要時間

ポインタがターゲットに到達するまでの時間を測定した．

1 回の実験は 5 分間で，被験者は大学生 8 名である．評価プログラムは，ターゲットの座標とターゲットに到達するまでの経過時間を記録している．

また，予備実験により，提案手法における支点を画面の左下隅・右下隅に配置した場合，画面下側のポインティング速度が遅いという結果が得られた．これは 2 つの支点を結ぶ直線との距離が近いいため，角度の微小な変化でも直線の交点が大きく変化してしまい，ターゲットへの正確なポインティングが困難となるためである．そこで，提案手法では支点の位置を画面縦幅の約 25 % に当たる 200 ピクセル下げた座標に配置して実験を行った．

装着位置による比較

提案手法において，親指にセンサを装着した場合と肘にセンサを装着した場合との性能の違いを評価した．図 6 は 16×12 に分割した PC 画面の各位置に対応しており，色の濃淡がポインティングに要した時間を表している．実験結果より，加速度センサを肘に装着すると，両手のハンズフリー性は増すものの，全体的なポインティング速度は，加速度センサを親指に装着したときと比べて，低下することがわかった．また，肘に装着すると，画面右上部と左上部のポインティング速度が極端に遅くなる．これは画面上側をポインティングするための「肘を上げる」という動作が，日常生活においてあまり馴染みのない動きであることが原因と考えられる．

既存デバイスとの比較

同様の実験を既存デバイスでも行い，提案手法との比較を行った．比較対象として，日立 WIA 社の光学式マウス，Beige 社のハンドトラックボール FDM-G51，日本ビクター社のハンディジョイスティック，任天堂社の Wii リモコンを用いた．また，ハンズフリーデバイスの例として，Wii リモコンを頭に装着した場合と，サイズの大きなトラックボールを足を用いて操作した場合についても同様の実験を行った．

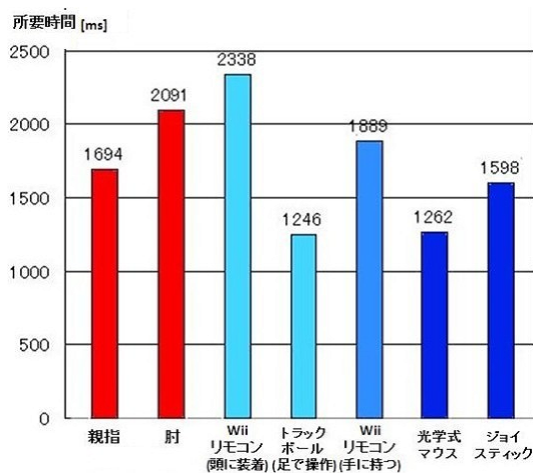


図 7. ポインティング速度

結果を図 7 に示す．これらの既存デバイスに関しては，提案手法とは異なり，画面上の場所によるポインティング速度の違いはほぼ見られなかったため，平均ポインティング速度にのみを示している．

グラフより，トラックボール，光学式マウスに関しては手に持たなければならず，ハンズフリーが実現できないという欠点があるものの，ポインティング性能は高いことが分かる．足でトラックボールを操作した場合は，提案手法よりもポインティング速度で勝っているが，装着して移動できないため，使用できる環境は限定される．提案手法に関しては，指に装着したものは，市販のジョイスティックと同程度のポインティング速度を実現している．また，Wii リモコンでは，手に持って操作した場合であっても，提案手法と同程度かそれよりもポインティング速度が劣るという結果が得られた．頭に装着してハンズフリー状態で使用したのものに関しては，提案手法の指，肘どちらに装着したときでも，提案手法の方がポインティング速度が速いことが分かる．このことから，提案手法はハンズフリーを実現しながら，十分なポインティング速度を実現できたといえる．

5.2 オブジェクト配置手法の評価

この実験では，1024 × 768 ピクセルの PC の画面上に，アイコンのサイズを想定した 32 × 32 ピクセルのターゲットを複数個配置する．ランダムに指定されるターゲットをクリックすると，次のターゲットが指定される．

今回の実験では，ターゲットを前章で示した放射法と交差法を用いて配置したものと，それぞれの手法と同数のターゲットを直交座標に基づいて配置したものを用意する．10 名の被験者に対し，4 種類の配置方式でそれぞれ 30 回のクリックを行わせた．

図 8，9 はそれぞれのターゲットの位置におけるポインティング時間の詳細，図 10 はそれぞれの手

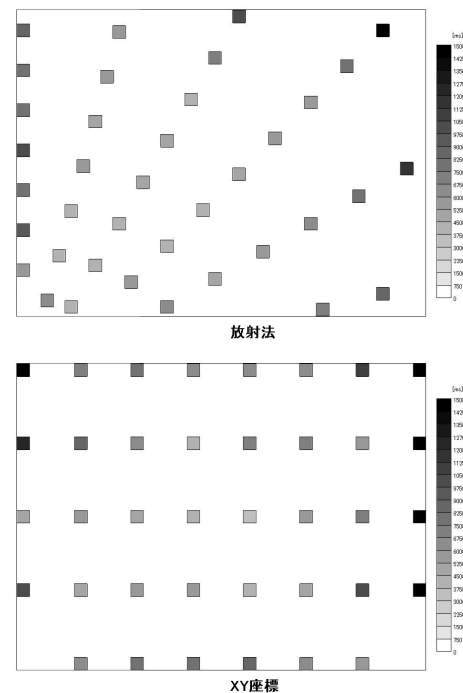


図 8. 放射法の評価

法の平均ポインティング時間を示している．画面の端のポインティングが難しいという結果は前述した通りであるが，提案手法の方が XY 配置よりもその影響が少ないことが分かる．どちらの手法も XY 手法に比べて，平均ポインティング速度が速くなっている．

速度向上は，XY 配置よりも直観的な操作が実現できたことが原因であるといえる．ターゲットの仮想的なラインに操作線を合わせることで，自分がイメージした通りの操作が可能となる．また，同じライン上のターゲットを続けてポインティングする際に一方の軸を完全に固定することで正確な操作ができることも理由として挙げられる．放射法より交差法の方が全体的に早くなっているのはターゲットの総数が少ないためであると考えられる．放射法の方が交差法より，提案手法の速度向上が大きいことより，ターゲットの数が多く，煩雑なときほど，提案手法が有効であることが分かる．

6 まとめ

本論文では，2 個の加速度センサを用いたポインティング手法を提案した．提案手法は，人の動きと同期して動く 2 本の直線の交点にポイントを配置することで，左右で独立した軸を操作でき，正確で素早いポインティングが行える．また，装着デバイスのサイズが小さいため，生活の中で常に身につけて使用でき，他の作業をしながらでも操作しやすい．さらに，提案手法に特化したオブジェクト配置手法

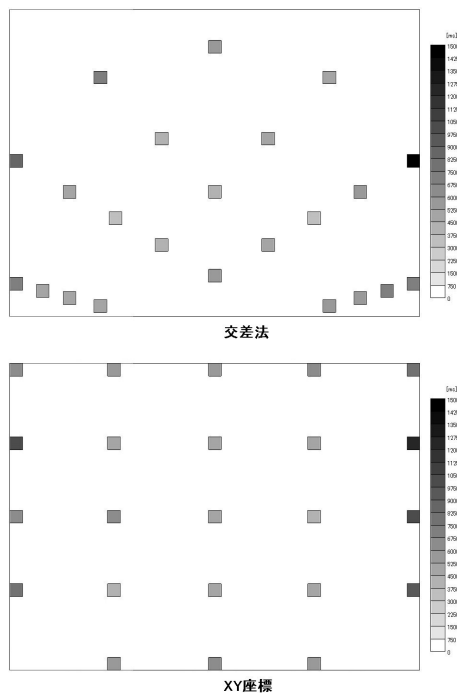


図 9. 交差法の評価

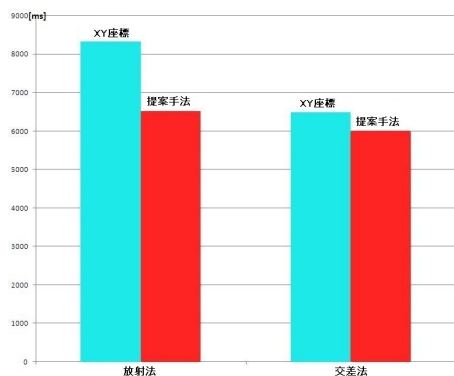


図 10. ポインティングの平均時間

を提案し、デスクトップアイコンを放射状に配置するプログラムを作成した。評価実験の結果から、提案手法の有効性が確認された。

今後の課題としては、デスクトップのアイコンを移動させるだけでなく、各フォルダ内のアイコンを動的に移動させたり、アイコン以外のメニュー構造も本手法に適した配置に変更できるような改良を加える必要がある。また、デジタル音楽プレイヤーやウェブブラウザなどの専用ソフトウェアの操作にも対応するシステムにしていくことが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省特定領域研究「情報爆発のための装着型入出力デバイスを用いた情報操

作方式」(19024056)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] P. Siewiorek: New Frontiers of Application Design, *Communications of The ACM*, Vol. 45, No. 12, pp. 79–82, 2002.
- [2] 株式会社バッファロー: <http://buffalo.jp/products/catalog/item/b/bomu-w24a/>, BOMU-W24A.
- [3] Gyration, Inc.: <http://www.gyration.com/>, GO 2.4 Optical Air Mouse.
- [4] 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, Vol. 27, pp. 125–130, 2001.
- [5] 坂口広樹, 野中秀俊, 栗原正仁: モバイル指向指先装着型ポインティングデバイスの開発と応用, 平成 16 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2004.
- [6] T. Starner, J. Auxier, D. Ashbrook and M. Gandy: The Gesture Pendant: A Self-illuminating, Wearable, Infrared Computer Vision System for Home Automation Control and Medical Monitoring, *Proceeding of The Fourth International Symposium on Wearable Computers*, pp. 87–94, 2000.
- [7] E. Foxin, M. Harrington: WearTrack: A Self-Referenced Head and Tracker for Wearable Computers and Portable VR, *Proceeding of The Forth International Symposium on Wearable Computers*, pp. 155–162, 2000.
- [8] 蔵田武志, 興梠正克, 加藤丈和, 大隈隆史, 坂上勝彦: ハンドマウスとその応用: 色情報と輪郭情報に基づく手の検出と追跡, 映像学技報, VIS2001-103, Vol. 25, No. 85, pp. 47–52, 2001.
- [9] Magitek.com, LLC: <http://www.magitek.com/>, MAGI-MOUSE.
- [10] NaturalPoint, Inc: <http://www.naturalpoint.com/trackir/>, TRACKIR.
- [11] Origin Instruments Co.: <http://origin.com/access/headmouse/index.htm>, HeadMouse.
- [12] 小川樹幸, 塚本昌彦, 義久智樹, 西尾章治郎: カメラと加速度センサを用いたポインティング方式の設計と実装, ウェアラブルコンピューティング研究会研究報告, Vol. 1, No. 1, pp. 78–85, 2005.
- [13] Tobii Technology, Inc.: <http://www.tobii.com/>, Eye-tracking.
- [14] 渡辺浩之, 阿部清彦, 大井尚一, 大山実: 視線入力によるコンピュータ操作支援システム, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 5, No. 1, pp. 1–6, 2003.
- [15] 伊藤和幸: 注視中の拡大表示機能付き視線マウスインタフェース, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 5, No. 3, pp. 367–372, 2003.
- [16] 塚田浩二, 安村通晃: Ubi-Finger: モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの提案, 情報処理学会研究報告, 2001-HI-94, pp. 9-1-4, 2001.