

携帯情報機器のための入力デバイス DigiTrack の評価*

1B-01

峰 健三¹, 衣鳩 昌俊², 林 祐典², 大淵 竜太郎³

k6224@kki.yamanashi.ac.jp, k7022@kki.yamanashi.ac.jp, k7146@kki.yamanashi.ac.jp, ohbuchi@acm.org

¹山梨大学大学院工学研究科, ²山梨大学工学部電子情報工学科, ³山梨大学コンピュータメディア工学科

〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11

1 はじめに

近年, 小型かつ軽量の携帯情報機器(PDA)や携帯電話が登場し, 日常生活のあらゆる場面で情報の操作, 閲覧が可能になった. これらの機器を小型化する上での障害は, 入力装置, 出力装置, および電池(電源)である. 例えば, 入力装置を無くせば機器を小型化し, 貴重な機器の表面積の出力装置に用いる部分が増やせる. この方法を用いて機器を小型化したのがザウルスや Palm™などのペン入力型 PDA である. しかし, ペン入力にはある程度の描画領域が必要であり, その領域を携帯情報機器自体に確保するとデバイスの小型化に制限が生まれる. 例えば, 最大2インチ程度の携帯電話の液晶画面にペンで手書きするのはあまり実用的ではない.

我々が先の論文[14]で提案した入力デバイス DigiTrack は, 手書き入力の可能なトラッキング能力も提供しつつ, 描画領域を携帯情報機器外にとることで情報通信機器の小型化を可能にする2次元ポインティングデバイスである. 本論文では DigiTrack のプロトタイプのパフォーマンス評価のために既存の光学式マウスと比較した実験について述べる. また, 人間が普段行う動作を取り入れたジェスチャ入力について提案する.

以下, 次節で DigiTrack のコンセプトとプロトタイプの作成について, 第3節ではプロトタイプの評価実験と結果, 第4節で新たに, 複数指に DigiTrack を装着する複数指協調ジェスチャ入力を提案し, 第5節で既存の入力デバイスを紹介し, 第6節でまとめと今後の課題について述べる.

2 DigiTrack

2.1 コンセプト

図1に DigiTrack の理想像を示す(Adobe Illustrator で作画した想像図). 理想の DigiTrack はキーボードのないウェアラブルコンピュータや PDA で使用することを目的としている. PDA などとの接続は Bluetooth などの技術を用い, 無線通信により行う. DigiTrack はマウスのような2次元ポインティングデバイスで, 面上での指の動きを検出するセンサとマウスのボタンに相当するタッチセンサをもつ. タッチセンサは図1の矢印の位置にあり, 対向指である親指で操作する. 対向指で操作することにより DigiTrack で文字を手書きするとき, 親指が人差し指の支えとなり安定した操作が可能となる. 指先での操作の利点は, タブレット用コイルを指先に装着した指先式タブレットの実験[11]で示されている. DigiTrack はクリップオンネイルに類似した感覚で指先に装着する. 爪に装着することで, 装着している側の手で電車の吊革を握ったり, 携帯電話の操作をしたりなどの日常的作業の妨げにならないと期待される.

また, 我々は単体の DigiTrack でのポインティングデバイスとしての使用のほか, 複数個の DigiTrack を用いた場合の協調操作も考えている. 2指の協調操作の詳細は第5節で述べる.

2.2 実現技術

ウェアラブル情報機器は指輪やイヤリング等と同様に常時装着・携帯するため, その大きさ, 外見, 装着

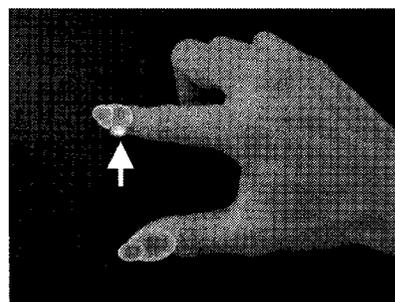


図1 DigiTrack の理想図.

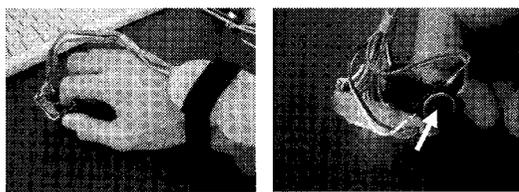
*DigiTrack: A finger-tracking input device for wearable information appliances

¹Kenzo Mine, ²Masatosi Ibatō, ²Toshinori Hayashi, ³Ryutarou Ohbuchi

¹Graduate School of Eng. Yamanashi University, ²Dept. of Electrical and Information Engineering, Yamanashi University, ³Dept. of Computer Science and Media Engineering, Yamanashi University

感が重要な性能指標である。これらの機器に使用する入力デバイスも当然、その外観や装着感が重要な性能指標となる。もちろん、トラッキング性能(自由度, 制度, 分解能, スループット, 遅れ), 消費電力, さらに価格なども重要な評価の指標である。

我々は、低価格, 小型, 低消費電力, かつ任意の場所で使用できるトラッキング手法を実現する技術として, 光学式マウスのイメージセンサに注目した。光学式マウスは2次元イメージセンサ(我々の用いたチップでは18×18ピクセル)に結ばれる像の相関を計算して動きを検出する非接触式のセンサである。



(a) 指先と手首に装着 (b) 指先部分の拡大

図 2 DigiTrack プロトタイプ。

2.3 プロトタイプ

DigiTrack のプロトタイプを図 2a に示す。指先のセンサユニットは USB インタフェースを持つ Mitsumi 社の小型光学式マウス (ECM-S6003) を分解しその部品を使用した。指先のセンサはイメージセンサチップ (Agilent Technologies 社, HDNS-2000, ほぼすべての光学式マウスが採用) と光源 (照明用の LED, ガイド用プリズム, および結像用の凸レンズ) からなる。イメージセンサチップの出力を USB 信号に変換し, またマウスボタンの検出をするための電子回路 (1チップ CPU 等) は手首に固定した。また, 右手用マウスの左クリックボタンに相当するスイッチは図 2b の矢印の位置 (人差し指の脇, 親指側の側面) に取り付けられた。

イメージセンサチップやプリズムは大きさの制約の少ないマウスのために設計されている。従って, 現在のところ, 指先に取り付けるにはこれら部品のサイズが明らかに大きすぎ, 「理想」の DigiTrack には程遠い (イメージセンサチップ HDNS-2000 のサイズは $2.2 \times 0.9 \times 0.3 \text{ cm}$)。しかし, 将来, 指先に取り付けることを考慮してチップとプリズムの設計と実装を変更すればかなりの小型化が期待できる。

3 評価実験

実験は, DigiTrack のプロトタイプと光学式マウスのポインティングの正確さと速さについて評価を行った。この 2 つは全く同一の光学式センサを用いている。評価実験については ISO9241-9 の方法論を用いた Silverberg らの論文 [5] を参照した。それに基づき評

価実験用ソフトウェアを Microsoft VisualBasic で作成した。このソフトウェアによりポインティング時間とポインティングエラーを記録する。

被験者は男性 10 名, 年齢は 21~24 歳, 全員右利きである。デバイスの使用経験は DigiTrack のプロトタイプが 30 分~1 週間程度, マウスは 4~12 年である。DigiTrack はマウスに比べて使用経験が短い。

3.1 タスク

図 3 にタスクの実行画面を示す。タスクはランダムに出現する円 (ターゲット) にマウスカーソルを移動しクリックするものである。カーソルはタスクごとに図 3 の中央の基準である正方形上に初期化される。ターゲットの大きさは 3 種類ある。図 3 の円が示すようにターゲットの出現位置は 24 種類あり, 基準からの距離 (3 種類), 基準からの角度 (8 角度), がそれぞれ異なる。1 回の実験では, 72 回タスクを繰り返す (3 大きさ \times 3 距離 \times 8 角度)。

- 大きさ: 3mm, 6mm, 12mm
- 距離: 25mm, 50mm, 100mm
- 角度: $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$

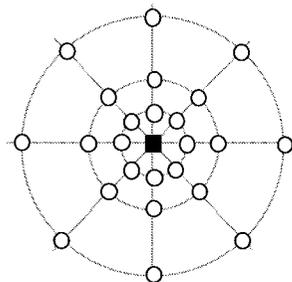


図 3 タスクの実行画面。

ターゲットはカーソルでクリックすると画面上から消える。これで 1 回のタスクが終了する。また, ターゲットの外をクリックしても同様にタスクは終了する。この場合, ポインティングが失敗したのでエラーとして記録する。そのあと, 画面中央に基準が現れると同時に基準上にカーソルが現れ, 次のタスクが始まる。

3.2 操作姿勢

デバイスの操作姿勢には 3 種類ある。まず図 4a に示す被験者が椅子に座った状態の卓上でのデバイスの操作 (座位卓上), 図 4b に示す被験者が座った状態の太股上でのデバイスの操作 (座位太股上), 図 4c に示す被験者が立った状態の太股上でのデバイスの操作 (立位太股上), である。特に太股上での操作は条件を一致させるために布を巻きクリップで固定してもらった。

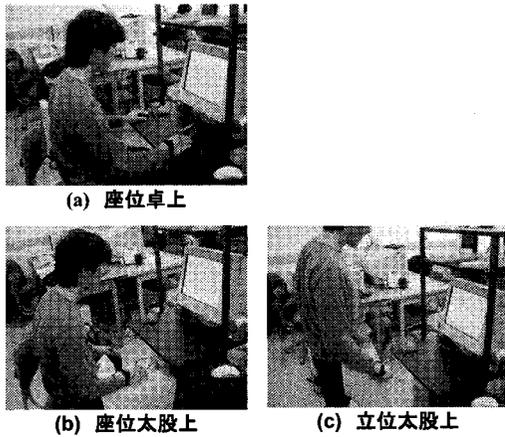


図 4 3 種類の操作姿勢.

3.3 タスク回数

実験ごとに 2 回づつ行うため(72×2=144 回), 3 種類の操作姿勢, 2 種類のデバイスを用いて行うため, 6 種類の実験を行う(144×6=864 回). これを被験者 10 人に対して行うため, タスクは合計 8,640 回となる.

3.4 実験結果

(1) スループット

スループットは速さと正確性に基づく複合の測定法で, 単位は[bit/s]である. 測定方法は 1954 年に Fitts により考案され, 以後ポインティングデバイスの性能評価に使われている. 計算方法を以下に示す.

$$T = \frac{I_e}{t} \text{ [bit/s]}$$

$$I_e = \log \left(\frac{d}{W_e} + 1 \right) \text{ [bit]}$$

$$W_e = 4.133 \times S_x$$

T: スループット

d: 目標までの距離

t: 移動時間

S_x: 標準偏差

スループットの平均結果を図 5 に示す. 表中でしめす M, D はそれぞれマウス, DigiTrack のことを指す. 座位卓上, 座位太股上, 立位太股上, の順にスループットが低くなっている. また, 座位卓上に比べ立位太股上のマウスと DigiTrack のスループットの差は少ない.

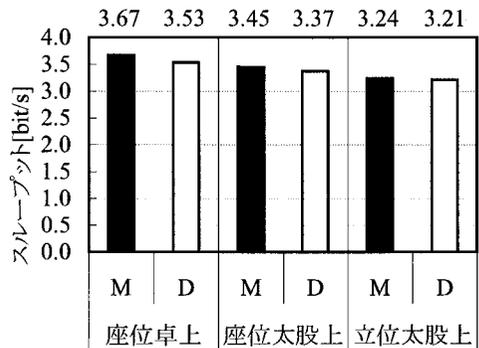


図 5 スループット平均.

(2) 移動時間

移動時間は, 1 回のタスクにかかる時間で, マウスと DigiTrack の平均の移動時間を図 6 に示す.

平均の移動時間が最も速いのは座位卓上でのマウスである. これはマウスの使用経験の長さが関係していると考えられる. また, 立位太股上のマウスが最も遅い結果である. これは立って操作するため, マウスをしっかりグリップできず安定した操作ができなかったことが理由として考えられる. 立位の場合, DigiTrack のほうがマウスより, 少しだけ速い結果が出ている.

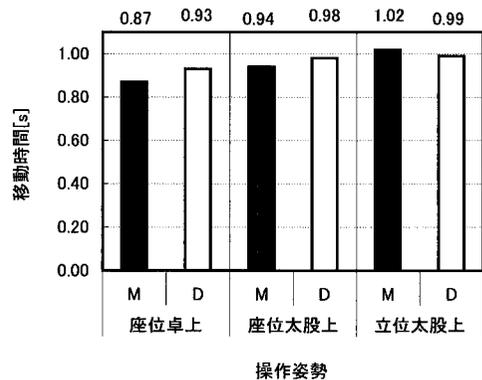


図 6 平均の移動時間.

(3) ポインティングエラー

ポインティングエラーには 2 種類ある. それはターゲットの半径 2 倍の同心円以内でクリックした場合(Near エラー), その同心円外をクリックした場合(Far エラー)である. 図 7 にユーザごとのエラーについて示す.

図 7 に示すようにエラー率は被験者ごとに大きく異なっている. 全体的にマウスの方が DigiTrack に比べてエラー率が低い. この理由はマウスが DigiTrack

に比べて習熟度が高いことが考えられる。しかし、被験者番号 2, 7 のようにマウスより DigiTrack ほうがエラー率が低い場合もある。このため、DigiTrack の習熟度が上がれば異なる結果が出るのが予想される。

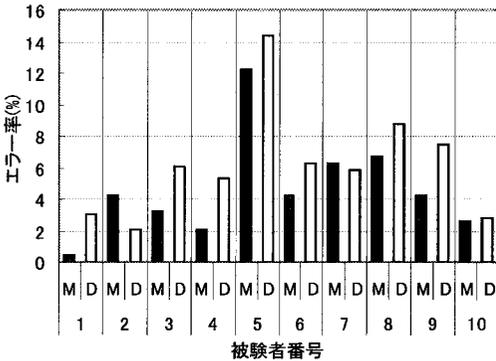


図 7 被験者ごとのエラー率。

図 8 に操作姿勢、デバイスごとのエラー率を示す。

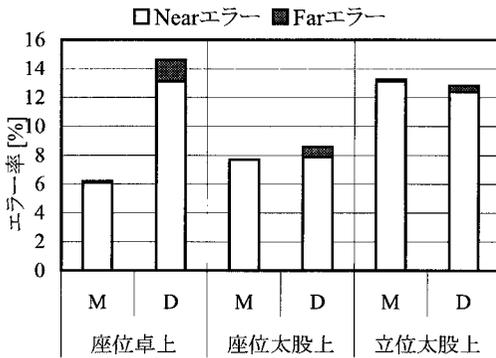


図 8 操作姿勢、デバイスごとのエラー率。

図 8 で座位卓上、座位太股上、立位太股上の順でエラー率が高くなっている。座位では DigiTrack はマウスに比べてエラー率が高い。特に座位卓上では Near エラー, Far エラーともに高い。これはマウスに比べて DigiTrack の接地面積が小さいため、卓上では滑りやすかったことが理由として考えられる。また、全体を通して、Far エラーは DigiTrack に多い。これは DigiTrack のボタンをクリックするとき、DigiTrack 本体が動くためポインタが大きすぎてしまったことが考えられる。

3.5 考察

DigiTrack のプロトタイプと光学式マウスのポインティングデバイスについて正確さと速さの評価実験を行

った。実験結果より、統計的に優位な差ではないがマウスは DigiTrack に比べて全体的に良い結果が得られた。これはマウスの習熟度が DigiTrack に比べて、非常に高かったことが影響している可能性がある。

我々は、実験順序をランダムに入れ替えをせず、座位卓上、座位太股上、立位太股上の順に行った。座位卓上に比べて、後に行われた立位太股上のマウスと DigiTrack のスループット、移動時間、エラー率の差が小さくなっている。これは座位太股上と立位太股上の DigiTrack の習熟度が異なったためだと考えられる。

また、実験に用いた DigiTrack のプロトタイプは、ターゲットの決定を人差し指の脇に付けられたボタンのクリックで行った。そのため、ボタンを押すことでターゲットからカーソルがずれてしまい、マウスに比べてエラーが高くなった可能性がある。プッシュボタンスイッチをタッチセンサ方式にした場合も、滑りやすい面状では改善できない。また、人差し指の側面に親指を当てる行為自体が、自然な動作ではないこともエラー率に関係している可能性がある。

4 複数個の DigiTrack による協調操作

人間は普段より、両手で物を持ったり、複数の指で物を掴んだりする動作を行っている。このような両手や複数指を使ったインタラクション手法を取り入れることで作業効率が改善されるという研究結果が報告されている[1][3][10][13]。

我々は DigiTrack を利き手に装着し、携帯情報機器を反対側の手で持って操作することを考えている。このとき利き手の複数の指を用いたジェスチャによる入力を取り入れることで、人の持つスキルを利用し、快適な操作が可能ではないかと考えた。そこで複数の指に DigiTrack を装着して、複数指協調ジェスチャ入力を新たに提案する。図 9 は 2 つの DigiTrack を右手の親指、人差し指の 2 指に装着した場合である。2 指の協調操作により、これまで必要であったマウスのボタンの代替を目指す。また、LenzBar[12]を用いた詳細と概略を同時に表示するブラウザの 2 つの詳細レベルの 2 指による同時操作、

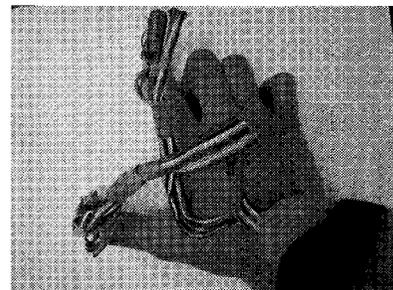


図 9 親指と人差し指にプロトタイプを装着。

つまり、親指で概略部分を操作し、人差し指で詳細部分を操作することも考えている。

4.1 2 指によるジェスチャ入力

実験中の親指と人差し指、2 指を使うジェスチャ入力方法を以下に述べる。

(1) 2 指の平行移動

2 指の平行移動とは、親指と人差し指を同じ方向に動かすジェスチャである(図 10a)。例えば、2 指の平行移動のジェスチャを解釈することで GUI のスクロールバーを動かすことに使える。

(2) 1 指を固定した回転

1 指を固定した回転とは、親指を軸とし、人差し指を回転させるジェスチャである(図 10b)。回転には時計回り、反時計回りがある。また、人差し指を軸とし、親指を回転させる方法もある。さらに角度大きな回転、小さな回転、を組み合わせることで、8 通りのジェスチャが可能である。

(3) 2 指同時回転

これも回転のジェスチャであるが、親指と人差し指の 2 指の中心を軸として回転させる(図 10c)。例えば、回転角度の大小を 2 段階区別すると時計回りに小さな回転でメールソフトを起動し、時計回りに大きな回転でインターネットのブラウザの起動することに使える。同様に反時計回りの回転にも機能を割り当てることができる。また、オーディオのボリュームノブの操作のメタファを取り入れて、時計回りに回転させると音を大きくし、逆に反時計回りに回転させると音を小さくするなど考えられる。

(4) 2 指の接近

これは親指と人差し指を近づける動作をするジェスチャである(図 10d)。このジェスチャはボタンによる選択の代替にできる。

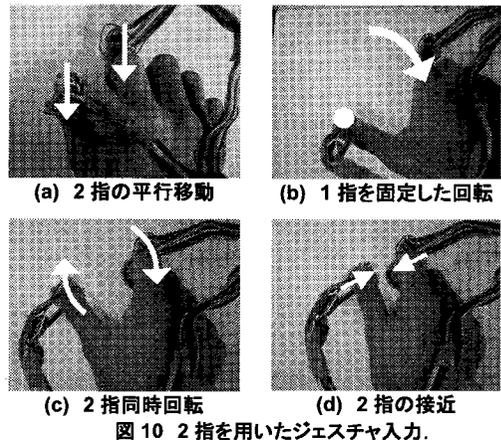


図 10 2 指を用いたジェスチャ入力。

(5) ポインティング+操作

人差し指で操作対象を選択し、親指のジェスチャ入力により、その対象に加える操作を指定する方法である。例えば、人差し指で任意のアイコンにカーソルを動かし、親指で円を描くようなジェスチャでファイルを開く(図 11a)、また親指で数回往復させる動作でファイルを削除する(図 11b)、ことが考えられる。

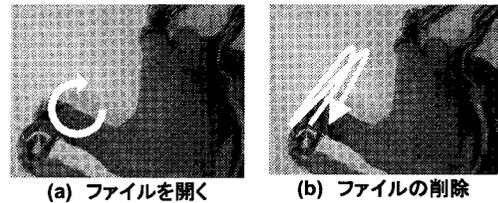


図 11 親指によるジェスチャ入力。

4.2 ジェスチャによるコマンド入力の例

2 指のジェスチャを用いた例を示すソフトを試作した。試作ソフトではカーソルの移動の他、ジェスチャ入力としては 2 指同時回転、2 指の接近が認識できる。カーソル操作とジェスチャ入力の切り替えは、親指が面に接地しているかどうかにより判断する。親指が接地している場合はジェスチャ入力モードで、人差し指が接地していない場合はカーソル操作モードである。

試作ソフトはアプリケーション起動メニューを開き、アプリケーションを起動する例を示すものである。2 指同時回転のジェスチャで、アプリケーション起動のアイコンをいくつか表示する。また、2 指の接近のジェスチャで、アプリケーションを起動する。

図 12a では親指を接地させていない状態で、通常のカーソル操作を行っている。図 12b は親指を接地し、2 指同時回転を行った場合である。このときアイコンを想定した矩形 3 つがカーソルの周りに表示さ

れる。親指を面から離し、カーソルを任意の矩形上に移動する。カーソルがアイコン上にある状態で親指を接地させ、2 指接近のジェスチャを行いアプリケーションを想定した新しいウィンドウを開く(図 12b)。

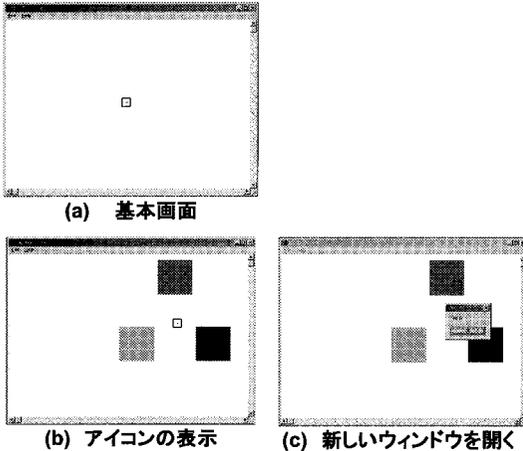


図 12 協調操作の例。

5 関連研究

手を使った携帯情報機器向け入力デバイスには、大きく分けて、文字を入力することを目的とするもの、ジェスチャ入力を目的とするもの、マウスのように点の位置を指定する事を目的とするもの、の 3 種類がある。

5.1 キーボード型

キーボード型の文字入力デバイスとして、片手で握る和音キーボードに Twiddler[7]や、指輪に加速度センサをつけて指の動きを検出する FingeRing[4]がある。Twiddler も FingeRing も文字入力専用で、携帯情報端末の入力デバイスとしては不向きである。また、キー入力方式のため習熟が必要であるため、一般的なユーザには敷居が高い。

5.2 ジェスチャ型

ジェスチャを用いた入力デバイスの研究に Ubi-Finger[9]がある。親指・人差し指・中指の3本の指によるジェスチャを入力とするグローブ型のデバイスで、指の曲げ伸ばしと手首の回転角度を獲得するための複数のセンサにより構成される。Ubi-Finger の主な使用法は家電機器の操作であり、部屋の照明の ON/OFF などが行える。Ubi-Finger は 3 次元方向の指示やジェスチャ入力などの機能は高い。しかし、現在 2~5 万円程度で売られている PDA に対して価格的にバランスがとれないと予想される。

また、Gesture-Pendant[6]は、胸につけたペンダントに装着したカメラと赤外線投影器を用い、視覚に

よるジェスチャ入力を行う。しかし、指先の 3 次元位置を読みとることはできず、手がカメラの視野内になければならない問題がある。

5.3 ポインティング型

手や指先の位置を獲得するデバイスは、超音波または視覚(カメラ)を用いたものが中心である。3 次元ポインティングデバイス WearTrack[2]は超音波を用いて 3 角測量により指先の位置を決定する。しかし、頭部に 3 個のマイクを装着するのは煩雑である。WearTrack では指の発信器が頭部のマイクから見えないといけないので、立位の場合、例えばプレゼンテーションや混雑した電車の中などでは使いにくい。

この他、指の曲げ伸ばしを測定することで指先の位置を推定することが可能である。指の曲げ伸ばしを測定するには、CyberGlobe や DataGlobe のような抵抗線あるいは光学式応力センサ、あるいは機械式の指の曲げセンサが使われている。しかし前 2 者は精度が低く、機械式は装着性、可搬性、安全性などに問題がある。

FMRID[8]は指先に装着するデバイスで、指の動きをパタン認識で認識して、文字や指示の入力を実現した。実装には、感圧センサと光学式センサの 2 つがある。DigiTrack はこの光学センサによる実装をより発展させ、複数個用いることによる協調操作を行う点が異なる。

6 まとめと今後の課題

我々は先の論文で、携帯型情報機器のための指に装着する新しいポインティングデバイス DigiTrack を提案した。本論文では DigiTrack のプロトタイプと光学式マウスの性能評価の実験を行った。実験より、既存の光学式マウスと性能の差がほとんどないことが分かった。また、プロトタイプはポインティング時にボタンでクリックを行うため、エラー率が高いことが分かった。さらに複数指に DigiTrack を装着して行う複数指協調ジェスチャ入力により、マウスボタンのクリックの代替や階層メニューの操作を行う手法を提案した。

今後、ジェスチャ入力のアプリケーションを開発し、実験を行い、有効性を示す予定である。

参考文献

- [1] Andrea Leaganchuk, Shumin Zhai, William Buxton, Manual and Cognitive Benefits of Two-Handed input: An Experimental Study, ACM Transaction on Computer-Human Interaction, pp.326-359, December 1998.

- [2] E. Foxlin, M. Harrington, WearTrack: A Self-Referenced Head and Tracker for Wearable Computers and Portable VR, Proceedings of the *Fourth International Symposium on Wearable Computers (ISWC '00)*, 2000.
- [3] Ken Hinckley, Randy Pausch, Dennis Proffitt, Neak F. Kassell, Two-Handed Virtual Manipulation, *ACM Transaction on Computer-Human Interaction*, pp. 260-302, September 1998.
- [4] M. Fukumoto and Y. Tonomura. Body coupled FingeRing:Wireless wearable keyboard, Proceedings of the *1997 Confernce on Human Factor in Computing Systems (CHI '97)*, 1997.
- [5] M. Silfverberg, I. S. MacKenzie, T. Kauppinen, An Isometric Joystick as a Pointing Device for Handheld Information Terminals, Proc. *GI 2001*.
- [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 Mediacal Monitoring, Proceedings of the *Fourth International Symposium on Wearable Computers (ISWC '00)*, 2000.
- [7] Twiddler2 ホームページ,
<http://www.handykey.com/site/twiddler2.html>
- [8] 杉本明彦, 鈴木薫, FMRID:Finger Motion Recognition Input Device, *インタラクシオン 2000*, pp. 91-98, 2000.
- [9] 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試作, *インタラクティブシステムとソフトウェア IX (WISS 2001)*, pp. 119-124, 近代科学社, 2001.
- [10] 中村聡史, 塚本晶彦, 西尾章治郎, 両手入力を用いた図形描画システムの実現について, *ヒューマンインタフェース学会*, pp. 15-22, 2001.
- [11] 辺見一男, ヒューマンインタフェースにおけるポインティング装置の特性改善に関する研究, 学位論文, 立命館大学, 1989.
- [12] 増井俊之, ブラウジングとキーワード検索を統合した GUI 部品 LensBar, *インタラクティブシステムとソフトウェア VI (WISS'98)*, pp. 153-158, 近代科学社, 1998.
- [13] 松下伸行, 綾塚祐二, 暦本純一, Dual Touch: ペン型 PDA のための新しい操作手法, *インタラクティブシステムとソフトウェア VII (WISS '99)*, pp. 23-32, 近代科学社, 1999.
- [14] 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, *インタラクティブシステムとソフトウェア IX(WISS 2001)*, pp.7-12, 近代科学社, 2001.

