

距離センサを用いた膝の動きによるカーソル操作手法

市川 佑^{†1} 志築 文太郎^{†2} 高橋 伸^{†2}

^{†1} 筑波大学 情報学群 情報科学類

^{†2} 筑波大学 システム情報系

1 はじめに

自動車のアクセルやブレーキペダル、ピアノやオルガンのペダルに代表されるように、我々は日常的に足による操作を行っている。しかし、パーソナルコンピュータをデスクトップ上で作業をする際、我々は手を中心に操作を行い、足に操作が割り当てられることは少ない。この足を活用して、パーソナルコンピュータのマウスマウスの操作を足で行おうとする研究が様々行われており、古くは English ら [1] がテキスト選択の1つとして膝による操作を調査した。Horodniczy ら [2] は、靴に摩擦力を制御する機構を取り付け、足によるマウスマウスの操作を実現した。しかし、こうしたアプローチは身体に機器を取り付けなければならないという制約がある。また Velloso ら [3] は、机下に深度センサを取り付けることで足の動きをセンシングし、足によるマウスマウスの操作の特性を調査した。しかし、深度センサは高価なものが多い。

本研究では、特別な装置を足に装着することなく、足を使ったマウスマウスの操作を可能にする。アプローチとして、膝の動作を読み取るシステムの開発を行い、膝を使ってカーソル操作を行う手法を提案する。

2 膝によるカーソル操作方法

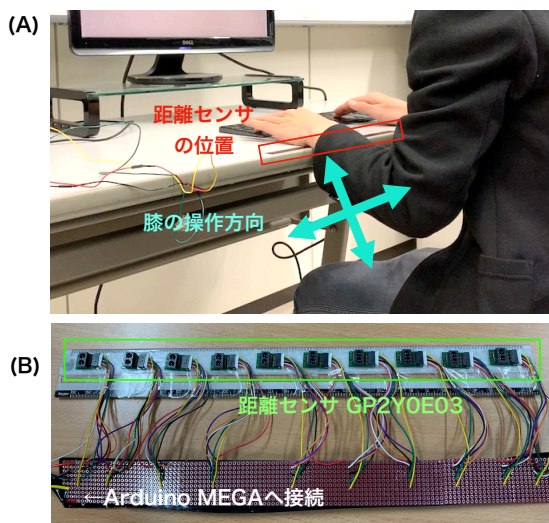


図 1: 操作の様子とプロトタイプ

Knee-based Cursor Control Using Distance Sensors

^{†1} Yuu Ichikawa ^{†2} Buntarou Shizuki ^{†2} Shin Takahashi

^{†1} Collage of Information Science, University of Tsukuba

^{†2} Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

ユーザは、図 1 (A) のように、膝を上下左右に動かすことでマウスマウスの操作をすることができる。マウスマウスを中心から左右にカーソルを移動させたい時は、膝を左右に傾ける。

図 2 は上下方向の操作のイメージである。マウスマウスを上方向に移動させたい時は、かかとを持ち上げることで膝を机に近づけ、下方向に移動させたい時は足を手前に引き、その時に浮いたかかとを床に近づけることで膝を机から遠ざける。これにより、足が完全に地面についている時にカーソルが上下方向の真ん中にあるため、ユーザはカーソルを比較的楽な姿勢で操作することが可能になる。

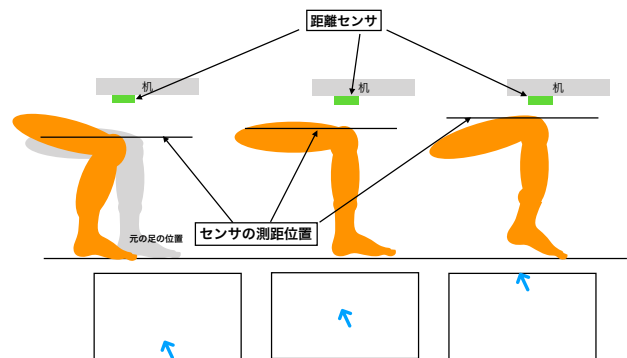


図 2: 上下方向の膝の動作

3 プロトタイプ

膝によるカーソル操作を実現するプロトタイプを実装した。ハードウェアは、三角測量の原理に基づいた光学式距離センサ GP2Y0E03 を 10 個と、Arduino MEGA を使用した。Arduino と距離センサは I²C、Arduino と PC と USB シリアル通信でそれぞれ接続する。図 1 (B) はプロトタイプの一部である。

PC 上のプログラムでは、シリアル通信を用いて取得した距離データから画面内のカーソル座標を計算する。本プロトタイプでは Xiao ら [4] の方法を参考にし、次の手順で時間 t におけるカーソルの座標 (C_x^t, C_y^t) を計算する。

1. 各距離センサからのデータそれぞれに指数平均平滑フィルタをかける。これを $D_i^t (0 \leq i \leq 9)$ とする。

2. C_y^t を D_i^t の最小値とする.

$$C_y^t = \min_i (D_i^t) \quad (1)$$

3. 各距離センサに対して重み w_i を計算し, C_x^t を計算する. ここで, d は重み調整の定数である. 本実装では調整の結果 $d = 2$ としている.

$$C_x^t = \frac{\sum_i i w_i^t}{\sum_i w_i^t} w_i^t = \frac{1}{D_i^t - C_y^t + d} \quad (2)$$

最後に, (C_x^t, C_y^t) を指数平均平滑フィルタにかけたものをカーソル座標とする.

4 予備実験および結果

膝によるマウスカーソル操作の性能を評価するため, ISO9241-411 に記載されているマルチディレクショナルポインティングタスクを用いた実験を行った. 実験参加者は筆者と同じ研究室内の男性 3 名である. 参加者は円周上に配置された 13 個のターゲットを 1 回ずつ選択する (これを 1 タスクとする). 1 タスクごとにターゲット間距離 (D) とターゲット幅 (W) を以下のように変化させた.

- D : 2.0, 5.0, 8.0 (インチ)
- W : 0.5, 1.0, 1.5 (インチ)

これらのすべての組み合わせ, すなわち 9 タスク行うことを 1 セッションとし, 片方の膝で 3 セッションを行うことを 1 ピリオドと定める. 参加者一人当たり, 2 ピリオド (左右の膝) \times 13 (ターゲット数) \times 9 (条件) \times 3 (セッション) = 702 試行を行う. 試行ごとに, ターゲット選択に要した時間を収集した. 1 セッション終了ごとに 3 分間, 1 ピリオド終了後に 10 分間の休憩時間を設けた. また, キャリブレーションを 1 セッションごとに行い, ピリオドの最初のセッションでは, キャリブレーション後に練習時間を 5 分設けた.

図 3 は実験の結果であり, 横軸がフィッツの法則における ID , 縦軸が選択時間である. グラフには各参加者の試行ごとの選択時間と, 参加者ごとの選択時間をもとに線形回帰で求めた直線が描かれている.

今回の実験では, 左膝と右膝の選択時間にあまり差がなかった. また, 全体のエラー率は左膝が 1.14%, 右膝が 1.71% と低かった. これは, 1 セッションごとと多くキャリブレーションを行っていたこと, 膝はカーソル操作のみに用いており, 選択はキーボードで行ったことが原因と考える. 実験終了後, 参加者に使用感や疲労度について質問したところ, 比較的良好な結果を得た.

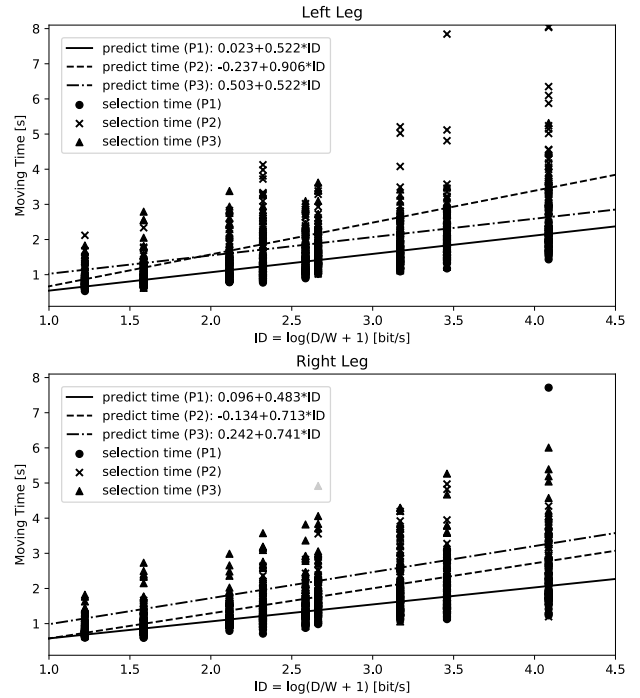


図 3: 各被験者から収集したデータとそのモデル

5 まとめと今後の展望

本研究では特別な装置を足に装着することなく, 足を用いてコンピュータ上のマウスカーソルを操作する手法として, 膝の動作を読み取るシステムのプロトタイプを製作した. また, プロトタイプを用いて予備実験を行い, 膝によるカーソル操作のフィッツの法則モデルを示した. 今後はキャリブレーションの回数によるエラー率の変化の調査, さらなる操作性と疲労度の改善を目指す.

参考文献

- [1] W. K. English, D. C. Engelbart, and M. L. Berman. Display-selection techniques for text manipulation. *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, Vol. HFE-8, No. 1, pp. 5–15, 1967.
- [2] Daniel Horodniczy and Jeremy R. Cooperstock. Free the Hands! Enhanced target selection via a variable-friction shoe. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, pp. 255–259, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [3] Eduardo Velloso, Jason Alexander, Andreas Bulling, and Hans Gellersen. Interactions under the Desk: A characterisation of foot movements for input in a seated position. In *15th Human-Computer Interaction (INTERACT)*, Human-Computer Interaction – INTERACT 2015, pp. 384–401, Bamberg, Germany, 2015.
- [4] Robert Xiao, Teng Cao, Ning Guo, Jun Zhuo, Yang Zhang, and Chris Harrison. LumiWatch: On-arm projected graphics and touch input. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 95:1–95:11, New York, NY, USA, 2018. ACM.