

平成30年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目

距離センサを用いた膝の動きによるカーソル操作手法

主専攻 情報システム主専攻

著者 市川 佑

指導教員 高橋伸 志築文太郎

要　旨

本研究では、デスクトップ環境下において

目次

第 1 章 序論	1
1.1 背景	1
1.2 目的・アプローチ	1
1.3 貢献	1
1.4 本論文の構成	2
第 2 章 関連研究	3
2.1 足を入力操作として用いる研究	3
2.2 足をポインタ操作として用いる研究	3
2.3 もう少し話を広げたい、背景次第ではあるが、カーソル操作の話か、それとも他の話か	4
第 3 章 システム	5
3.1 概要	5
3.2 膝の操作	5
3.2.1 操作方法案 1	5
3.2.2 操作方法案 2	5
3.2.3 操作方法案 3	6
第 4 章 実装	9
4.1 概要	9
4.2 プロトタイプ	9
4.2.1 ハードウェア	9
4.2.2 ソフトウェア	11
第 5 章 実験 1: フィットの法則を用いた足によるポインタ操作の評価	13
第 6 章 議論	14
第 7 章 アプリケーション例	15
第 8 章 実験 2: 実際のアプリケーションを用いた評価	16
第 9 章 結論	17

謝辞

18

参考文献

19

図 目 次

3.1 操作方法案 1	6
3.2 操作方法案 2	7
3.3 操作方法案 3	8
4.1 製作したプロトタイプ	10
4.2 移動物体に対する距離センサの設置方向概念図	12

表 目 次

第1章 序論

1.1 背景

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なっている。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ない。足による操作を用いたコンピュータ向けインタフェースの研究は、1960年代から存在している[1]が、現在は手による操作が中心である。しかし、Multitoe[2]のようなタッチ認識を可能にした床面とのインタラクションや、手がふさがった状態におけるモバイル機器の操作[3, 4]など、新たに足によるインタラクションの研究は関心が高まっている。

足によるマウスのようなカーソルやポインタの操作による研究も同様に行われている。そのアプローチは、膝に装置を取り付ける方法[1]、装置を足で動かす方法[5, 6]、可変摩擦機構を取り付けた靴[7]があるが、これらは体の一部に装置を取り付けるあるいは大型な装置を用いるものであるため、衣服などに制限が生じたり持ち運びができないなどの制約が加わってしまう。このような物理的制約を不要にする研究は少ない[8]。

1.2 目的・アプローチ

本研究の目的は、特別な装置を足に装着することなく、かつ簡単で安価な装置で、足を使ったマウスポインタの操作を可能にすることである。そのアプローチとして、膝の動作を読み取るシステムの開発を行い、膝を使ってポインタ操作を行う手法を提案する。ユーザは机の下で膝を動かすことで、パーソナルコンピュータ上のポインタを操作することができる。システムのハードウェアには、距離センサを用いた。距離センサを用いたトラッキング技術には、例えばAIRBAR[9]やLumiwatch[10]が挙げられるが、膝に適用した例はない。また、カメラを用いないことで、設置や構築が容易であるという利点があるために、カフェのテーブルや、ホテルのデスクのように様々な場所で設置、利用可能である。

足から突然膝になっているのでつながりを設けたい

1.3 貢献

本研究の貢献を以下に述べる。

- 安易に設置可能かつ安価な装置で膝によるマウスポインタ操作を実現した。

- 距離センサを使い、読み取ったデータから画面上の座標にマウスポインタをマップするプロトタイプを開発した。
- プロトタイプを用いて、膝によるマウスポインタ操作をフィットの法則に当てはめて評価し、
[結果](#)

1.4 本論文の構成

第2章 関連研究

2.1 足を入力操作として用いる研究

Alexander ら [11] は、モバイル端末のコマンドに対し、足によるジェスチャをマッピングするためのユーザ導出型の調査を行なった。Felberbaum ら [12] は、立った状態、座った状態、投影された画面の上にいる状態の 3 条件で、GUI に関する操作、仮想空間に関する操作の 2 種類に対するジェスチャマッピングを調査した。この調査の中ではまた、ジェスチャと操作の対応が一意的かを表す指標を導入し評価を行なった。Fan ら [3] は、荷物を持っているなど手がふさがった状態において、足のジェスチャによりモバイル端末を操作することに対する実証研究を行なった。ユーザ定義の足のジェスチャを用いた方法と、荷物を降ろして手で端末を持ち操作する方法を比較したところ、前者の方が 70% 高速な操作が可能であるという結果となった。Saunders ら [13] は、立った状態でのデスクトップアプリケーションの制御に足による入力を用いた。Augsten らは Multitoe[2] を開発した。Multitoe は、巨大なタッチパネルを床面に設置し、複数の足の認識や足の重心位置の認識を可能にした。これにより、床面に表示されたメニュー やキーボードを足で操作することを可能にした。鈴木 [14] は、測域センサを用いることで、足の動きをセンシングし、床面におけるインタラクション手法を提案している。奥村 [4] は、靴に加速度と角速度を取得することができるセンサを取り付け、外出時におけるモバイル端末の操作を行うシステムを開発した。

2.2 足をポインタ操作として用いる研究

足をポインタ操作に用いる研究は、1960 年代から行われている。English ら [1] は、テキスト選択においていくつかの膝を含めた装置やデバイスを用いた時の操作時間を調査した。調査の結果、膝による操作は最も短い時間で選択することができることがわかった。

Pearson ら [5, 6] は「モル」という装置を開発し、ポインタの操作などに手の代わりに足を使用する方法を探査した。モルを用いた場合でも、訓練によって小さなターゲットを選択することができるることを示した。

近年でも、調査が行われている。Velloso ら [8] は、座っている状態の机の下の足の動きの特徴を調査した。この論文の中で、机の下に配置したトラッキングシステムから、片方の足のつま先をマウス操作に割り当て、1 次元と 2 次元におけるポインティング作業により、パフォーマンスのテストを行なっている。田中ら [15] は、足の指をマウス操作に用いるために、母指の力制御と運動特性を調査した。Horodniczy ら [7] は、靴底に可変摩擦式の装置を取り付け、足をマウス操作に用いることを実現した。靴底には低摩擦材料と高摩擦材料の 2 つを取り付け、高摩擦材料の位置

を制御することで、かかと部分の摩擦力を調整している。結果、2次元のポインティングタスクでエラー率においてマウスより優れた結果を発表した。

2.3 もう少し話を広げたい、背景次第ではあるが、カーソル操作の話か、それとも他の話か

第3章 システム

3.1 概要

本研究では、机の下の片方の膝の動きを認識することでマウスポインタの操作を行うシステムを提案する。システムの流れは以下のようになっている。

1. ユーザはシステムを設置した机の前に座る。
2. ユーザが膝を動かすことができる範囲を記録するため、キャリブレーションを行う。
3. センサから値を読み取り、膝の位置を2次元座標で表現する
4. キャリブレーション時に記録した値を元に、画面のサイズに合わせて膝の位置をマップする。

3.2 膝の操作

3.2.1 操作方法案1

カーソルの操作を行う時の膝の動作について考える。マウスの操作では、ポインタを x 軸方向の操作にはマウスを左右に動かす方法、 y 軸方向の操作にはマウスを奥に押す、または手前に引くという動作を行う。これらを膝に置き換えた時、 x 軸方向の操作には膝を左右に傾けるという動作を適用することができるが、膝を奥に動かしたり手前に引くということはできない。したがって、 y 軸方向の操作として、膝を持ち上げる動作を適用することとした。図3.1は y 軸方向の操作方法として考案した膝の動かし方の1つである。画面の下の方へポインタを動かす時には、かかとを下げ、ポインタが下限にくる時、かかとは完全に床につく状態になる。逆に画面の上の方へポインタを動かす時には、かかとを浮かせる。

しかし、この操作方法について意見を募ったところ、かかとを浮かせた状態で維持することが困難であり、著しく疲労を感じるという回答を受けた。特に、ポインタを画面の真ん中で維持することが困難であった。したがって、ポインタを画面の真ん中に維持する時、膝の姿勢がユーザにとって特別な力を必要としない状態を取ることが望ましいことがわかった。

3.2.2 操作方法案2

操作方法案1の改善点を受け、操作方法案2を考えた。図3.2はそのイメージ図である。

操作方法案 2 では足を手前に引き、かかとを浮かせた状態をポインタが真ん中に来るものとする。ポインタを下に動かしたいときは、その位置からかかとを下げる。それに伴い、膝も下に下がる。ポインタを上に動かしたいときは操作方法案 1 と同様にかかとを更に浮かせる。操作方法案 2 についても意見を募った。しかし、ポインタを下方向に動かす動作は、足首が本来とは逆の方向に曲がるために、正しい操作が可能かはその人の足首の柔らかさに依存した。したがって、**足首に負担がかからない動作方法**について、操作方法案を再考することとした。

3.2.3 操作方法案 3

操作方法案 2 の改善点を受け、操作方法案 3 を考えた。図 3.3 はそのイメージ図である。操作方法案 3 では、かかと含め、足が完全に床についている状態をポインタが画面の真ん中に来るものとする。ポインタを下に動かしたいときは、足を十分引き膝の位置を下げる。ポインタを上に動かしたいときは操作方法案 1 と同様にかかとを浮かせる。操作方法案 3 について意見を募ったところ、操作方法案 1 で問題になった疲労感、操作方法案 2 で問題となった足首に対する依存が解消されたとの回答を受けた。したがって、この操作方法でポインタ操作を行うものとする。

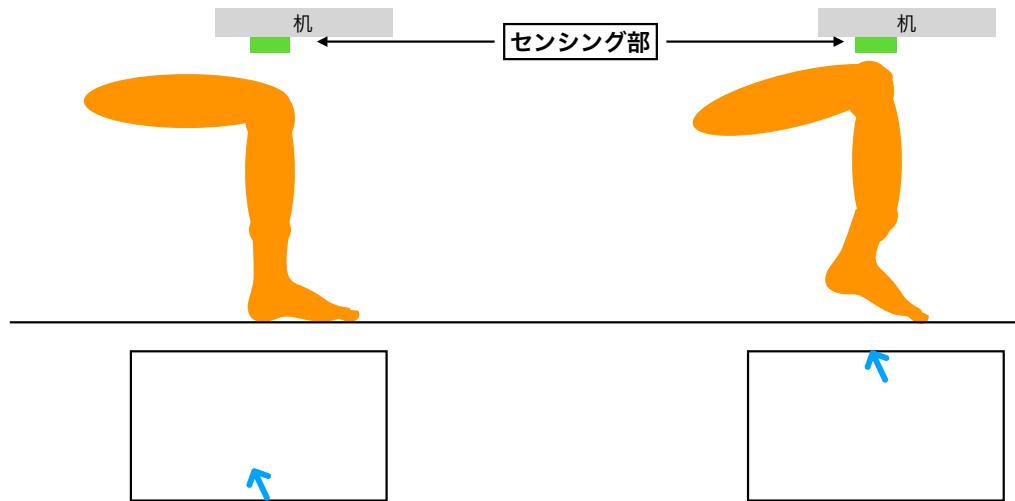


図 3.1: 操作方法案 1

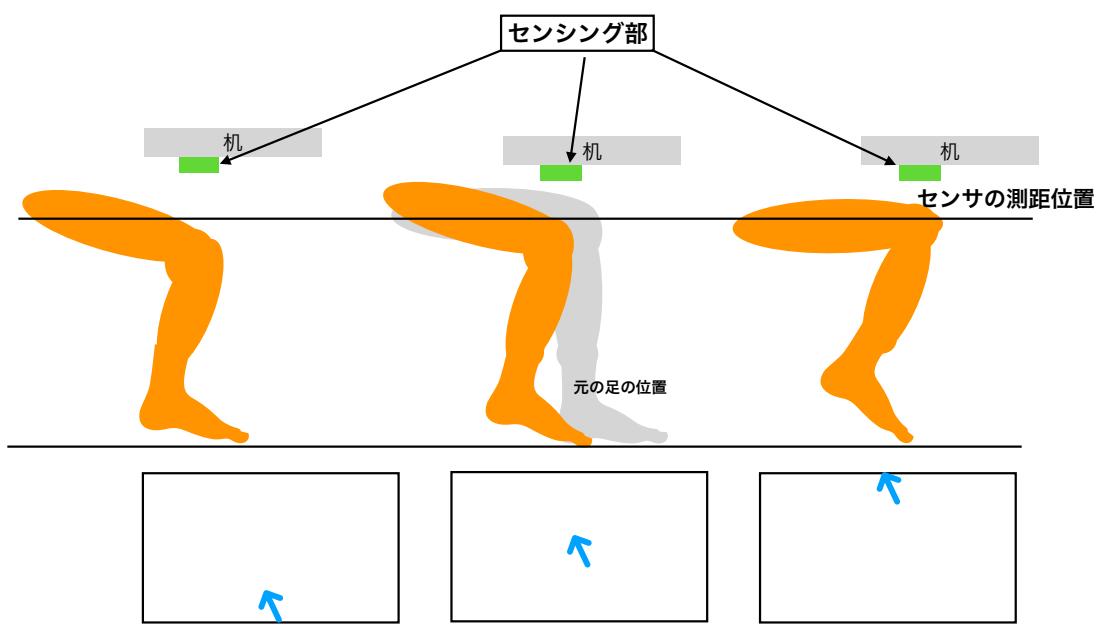


図 3.2: 操作方法案 2

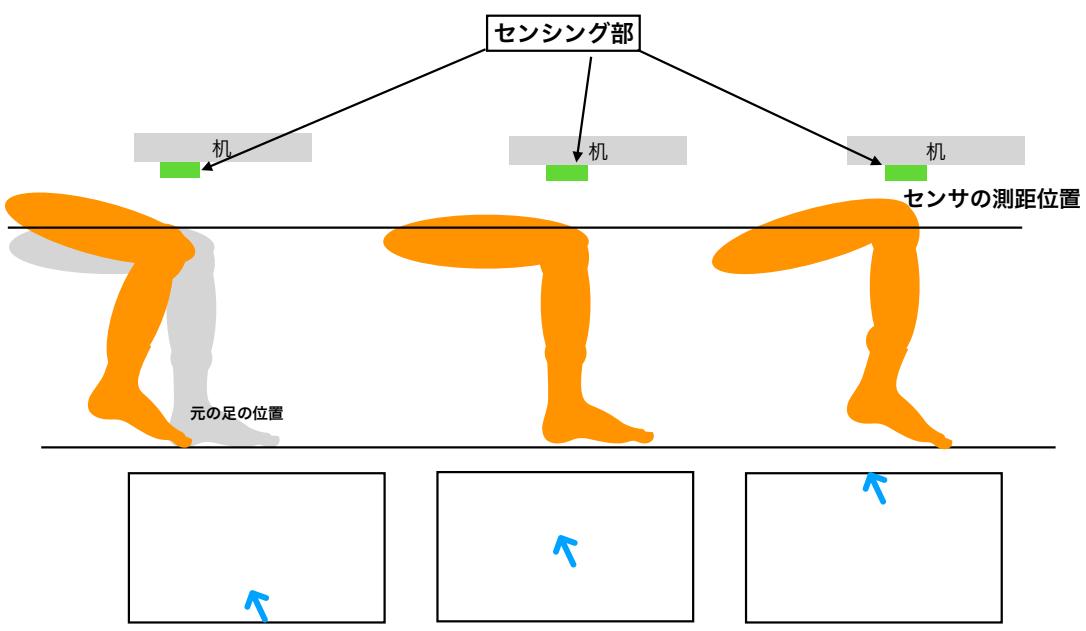


図 3.3: 操作方法案 3

第4章 実装

4.1 概要

本プロトタイプは、ハードウェアとして三角法を用いた光学式距離センサ 10 個を一列に並べたセンサアレイと、センサから取得した値の処理と値を元に座標を計算するソフトウェアからなる。

4.2 プロトタイプ

4.2.1 ハードウェア

距離センサは SHARP GP2Y0E03¹を使用した。この距離センサは三角測量の原理を用い、対象までの距離を計測する。本センサの値の取得には、Arduino MEGA 2560 を用いる。距離センサとは I²C を用いて接続を行う。個々のセンサは、スレーブアドレスが初期値(0x40)で統一されているために、アプリケーションノート²に記載されている e-fuse プログラミングの手順で、スレーブアドレスの変更を行なっている。これにより、10 個の距離センサを 2 本の信号線で制御する。

図 4.1 は実際に製作したプロトタイプの 1 つである。接続した距離センサは横向きにして 1 列に並べる。横向きにするのは、GP2Y0E03 のアプリケーションノートには、センサの設置方向は、移動物体の距離を測定する時、図 4.2 の黒い矢印の方向ではなく、赤い矢印の方向で移動した方が、誤差が少ないとあるためである。

本プロトタイプでは、長さ約 30cm のプラスティック製の定規を用意した。両面テープでセンサ本体を定規に固定し、配線類はセロハンテープで固定した。はじめ、センサごとの間隔は約 11mm としてたが、センサの設置部分が小さく、左右に動かした時に膝が範囲外に飛び出してしまうという問題があった。このため、左右方向に膝を傾けた時にどれくらいの範囲を動くかを測定し、必要なセンサのカバー範囲を推定した。測定の結果、およそ 20~30cm の長さが必要であるとわかった。このことから、センサの間隔を 11mm から 30mm に変更し再配置した。センサと Arduino を接続するために、配線をユニバーサル基板上で行う。各センサの電源、グランド、I²C のクロック線、I²C のデータ線同士を、それぞれ基板の裏側の導線と接続する。

Arduino では、I²C による制御を行い、値をシリアルモニタに送信することだけを行う。したがって、センサのノイズ等の処理は全てソフトウェアで行う。

¹<http://www.sharp.co.jp/products/device/lineup/selecion/opto/haca/diagram2.html>

²http://www.sharp.co.jp/products/device/doc/opto/gp2y0e02_03_appl_j.pdf

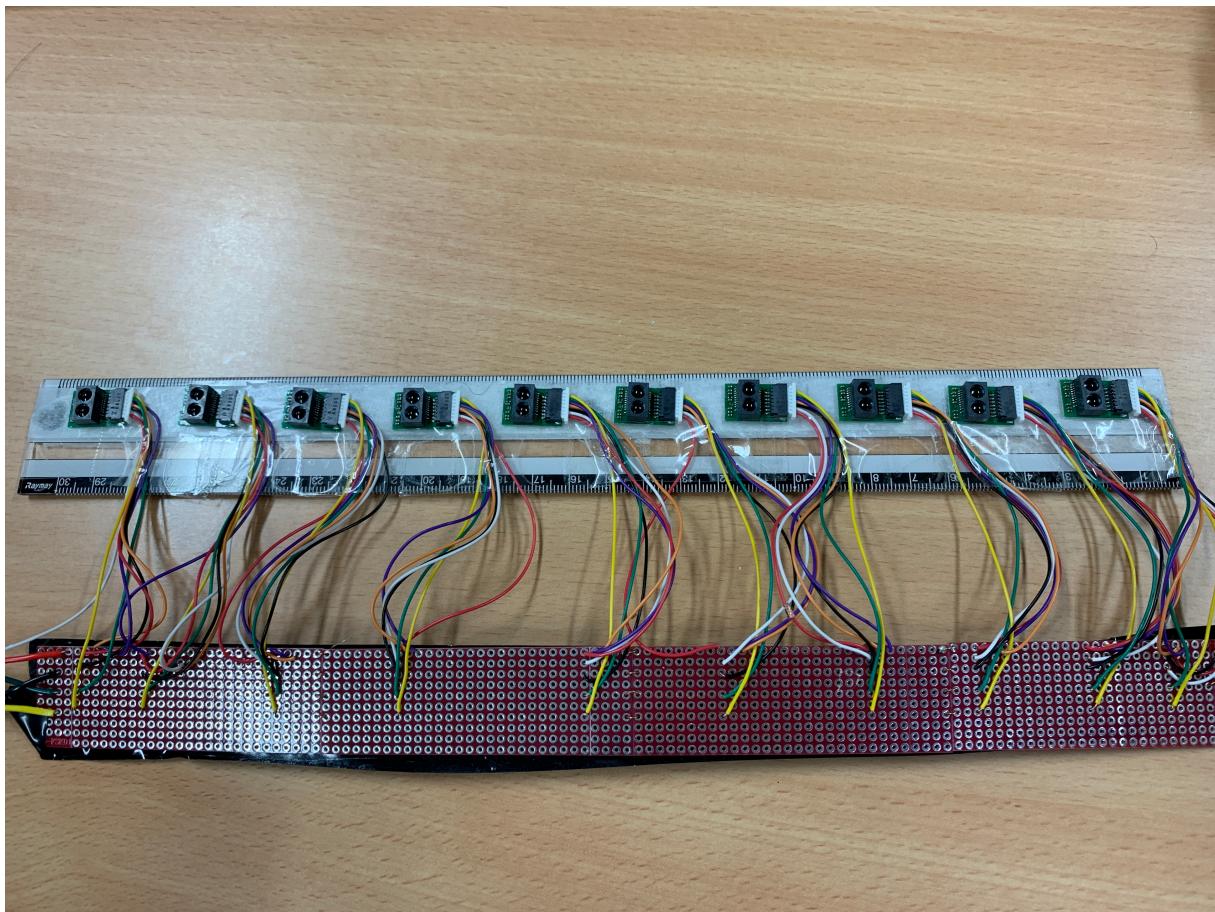


図 4.1: 製作したプロトタイプ

4.2.2 ソフトウェア

プログラム言語は Python を用いた。シリアル通信のためのライブラリとして PySerial、ポインタを描画する GUI のためのライブラリとして PyQt を用いた。膝の位置の計算には、スマートウォッチに搭載した距離センサから指の位置をトラッキングした Xiao ら [10] の研究を参考にした。膝の位置の計算は次のように行う。

1. センサからの値を指数平均平滑フィルタを用いて平滑化する。
2. y 軸方向の位置をすべての距離センサの最小値とする。

$$y = \min(sensors_val) \quad (4.1)$$

3. i 番目の距離センサについて、重み w_i を式 4.2 のように計算する。ここで、 d は重み調整の定数である。本プロトタイプでは調整の結果 $d = 2$ としている。

$$w_i = \frac{1}{y_i - y + d} \quad (4.2)$$

4. w_i から、 x 座標を式 4.3 のように計算する。

$$x = \frac{\sum i w_i}{\sum w_i} \quad (4.3)$$

5. (x, y) を指数平均平滑フィルタを用いて平滑化する。
6. (x, y) を実際のディスプレイの画面サイズに合わせてマッピングする。

使用者はあらかじめ上下左右方向にキャリブレーションを行い、膝の可動範囲の限界を記録し、これを元に 6. のマッピングが行われる。

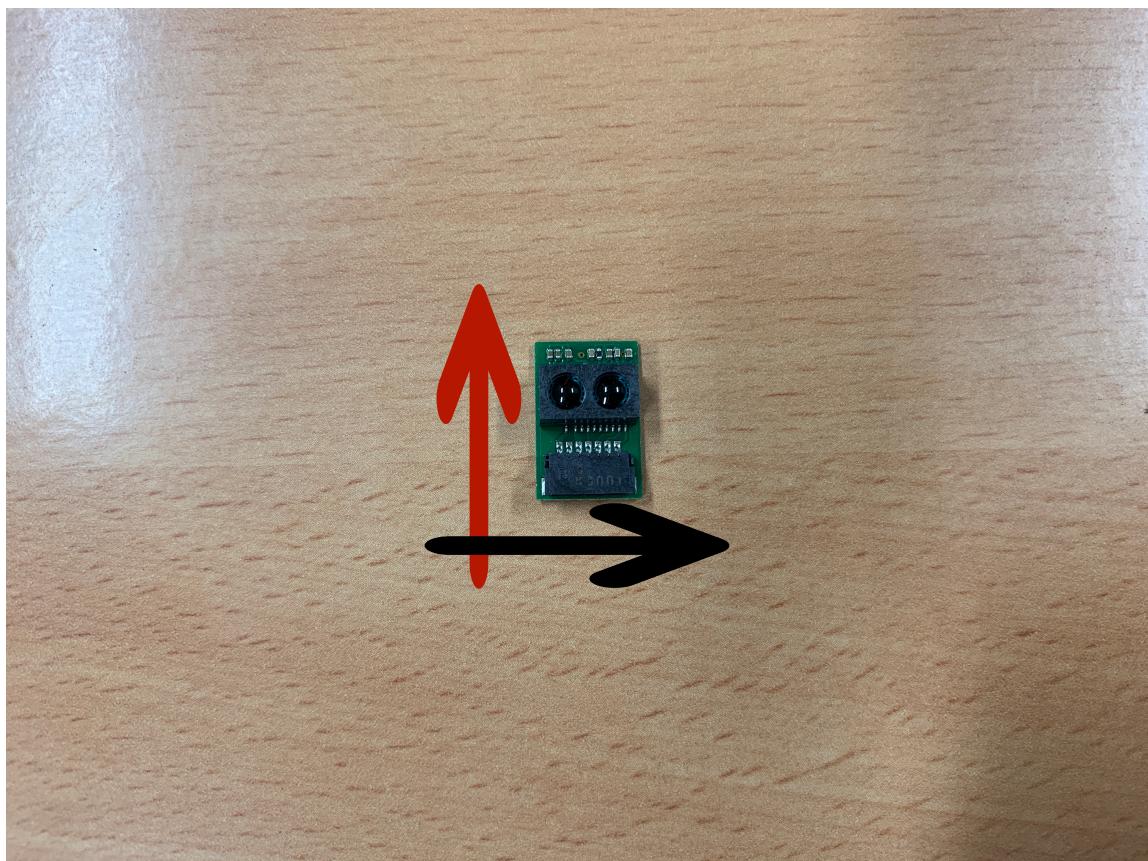


図 4.2: 移動物体に対する距離センサの設置方向概念図

第5章 実験1: フィッツの法則を用いた足によるポインタ操作の評価

第6章 議論

第7章 アプリケーション例

第8章 実験2:実際のアプリケーションを用いた評価

(ここは時間があったら)

第9章 結論

謝辞

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, March 1967.
- [2] Thomas Augsten, Konstantin Kaefer, René Meusel, Caroline Fetzer, Dorian Kanitz, Thomas Stoff, Torsten Becker, Christian Holz, and Patrick Baudisch. Multitoe: High-precision interaction with back-projected floors based on high-resolution multi-touch input. In *Proceedings of the 23Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST ’10, pp. 209–218, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [3] Mingming Fan, Yizheng Ding, Fang Shen, Yuhui You, and Zhi Yu. An empirical study of foot gestures for hands-occupied mobile interaction. In *Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ISWC ’17, pp. 172–173, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [4] 奥村典明. モバイル環境における足入力インターフェースの研究, 2011.
- [5] G. Pearson and M. Weiser. Of moles and men: The design of foot controls for workstations. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI ’86, pp. 333–339, New York, NY, USA, 1986. ACM.
- [6] Glenn Pearson and Mark Weiser. Exploratory evaluations of two versions of a foot-operated cursor-positioning device in a target-selection task. *SIGCHI Bull.*, Vol. 19, No. 3, pp. 70–75, January 1988.
- [7] 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.
- [8] 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)*, Vol. LNCS-9296 of *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015*, pp. 384–401, Bamberg, Germany, September 2015.
- [9] Airbar. <https://air.bar>.
- [10] 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.

- [11] Jason Alexander, Teng Han, William Judd, Pourang Irani, and Sriram Subramanian. Putting your best foot forward: Investigating real-world mappings for foot-based gestures. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 1229–1238, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [12] Yasmin Felberbaum and Joel Lanir. Better understanding of foot gestures: An elicitation study. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 334:1–334:12, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [13] William Saunders and Daniel Vogel. Tap-kick-click: Foot interaction for a standing desk. In *Proceedings of the 2016 ACM Conference on Designing Interactive Systems*, DIS '16, pp. 323–333, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [14] 鈴木茂徳. フットワークインタラクションのための測域センサによる足の位置・動作の認識手法, 2009.
- [15] 田中則子, 上田知生, 中尾恵, 佐藤哲大, 湊小太郎, 吉田正樹, 繁縁和美. 足指マウス開発にむけての基礎的検討：母指の運動特性. 生体医工学：日本エム・イー学会誌, Vol. 43, No. 4, pp. 790–794, dec 2005.