

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

<b>第 1 章 序論</b>	<b>1</b>
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 . . . . .	1
<b>第 2 章 関連研究</b>	<b>2</b>
2.1 足を入力操作として用いる研究 . . . . .	2
2.2 足をポインタ操作として用いる研究 . . . . .	2
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 . . . . .	2
<b>第 3 章 システム</b>	<b>3</b>
3.1 概要 . . . . .	3
3.2 膝の操作 . . . . .	3
3.2.1 操作方法案 1 . . . . .	3
3.2.2 操作方法案 2 . . . . .	3
3.2.3 操作方法案 3 . . . . .	4
<b>第 4 章 実装</b>	<b>7</b>
4.1 概要 . . . . .	7
4.2 プロトタイプ 1 . . . . .	7
4.2.1 ハードウェア . . . . .	7
4.2.2 ソフトウェア . . . . .	7
4.2.3 プロトタイプ 1 の性能評価 . . . . .	9
4.3 プロトタイプ 2 . . . . .	11
4.3.1 改良点 . . . . .	11
4.3.2 改良後の評価 . . . . .	11
<b>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</b>	<b>12</b>
<b>第 6 章 議論</b>	<b>13</b>
<b>第 7 章 アプリケーション例</b>	<b>14</b>

第 8 章 実験 2: 実際のアプリケーションを用いた評価	<b>15</b>
第 9 章 結論	<b>16</b>
謝辞	<b>17</b>
参考文献	<b>18</b>

# 図 目 次

3.1 操作方法案 1 . . . . .	4
3.2 操作方法案 2 . . . . .	5
3.3 操作方法案 3 . . . . .	6
4.1 プロトタイプその 1 . . . . .	8
4.2 移動物体に対する距離センサの設置方向概念図 . . . . .	10

# 表 目 次

# 第1章 序論

## 1.1 背景

パーソナルコンピュータ、スマートフォン、タブレット端末に代表される情報端末が普及し、それらの操作方法は多岐にわたる。一般的に、パーソナルコンピュータはマウスやタッチパッドなどを用い、スマートフォン、タブレット端末においてはタッチパネルを搭載しており、直接触れることで、コンテンツを選択することができる。しかし、これらの操作方法は手を用いることを前提としており、特にパーソナルコンピュータの操作においてはキーボードも同時に用いるため、マウスと同時に操作することはできない。こうした問題を解決するために、手を用いない操作手法が多数提案されている。

視線や音声など、具体的に挙げる

本研究では、通常パーソナルコンピュータの使用には関わらない、足を用いた操作手法に着目する。具体的には、足をマウス操作に用いることで、上記の問題の解決をはかる。

従来研究では足に何かを装着しなければならない点を挙げる

## 1.2 目的・アプローチ

## 1.3 貢献

## 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 [1] は、モバイルデバイスのコマンドに対し、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 [2] 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。鈴木 [3] 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 [5] 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 [6, 7] 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事を示した。

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 [9] 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 [10] 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。

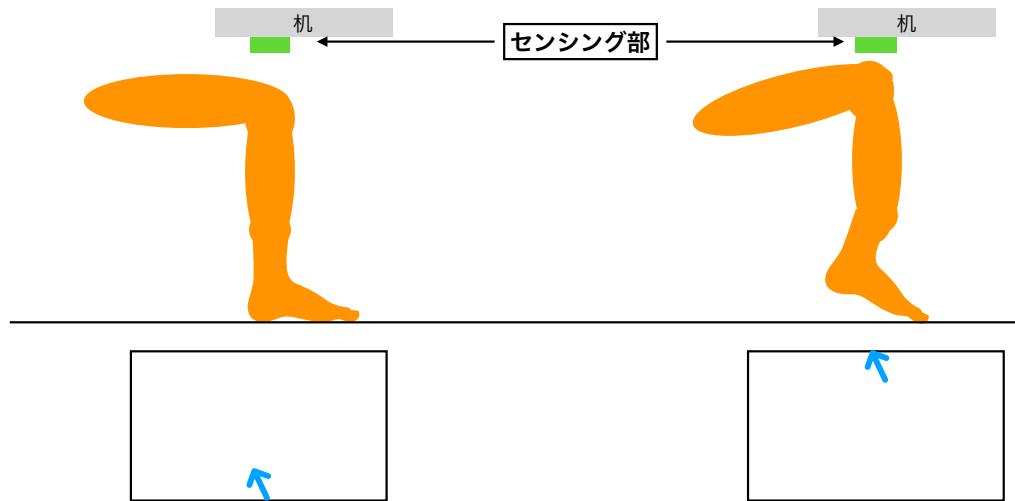


図 3.1: 操作方法案 1

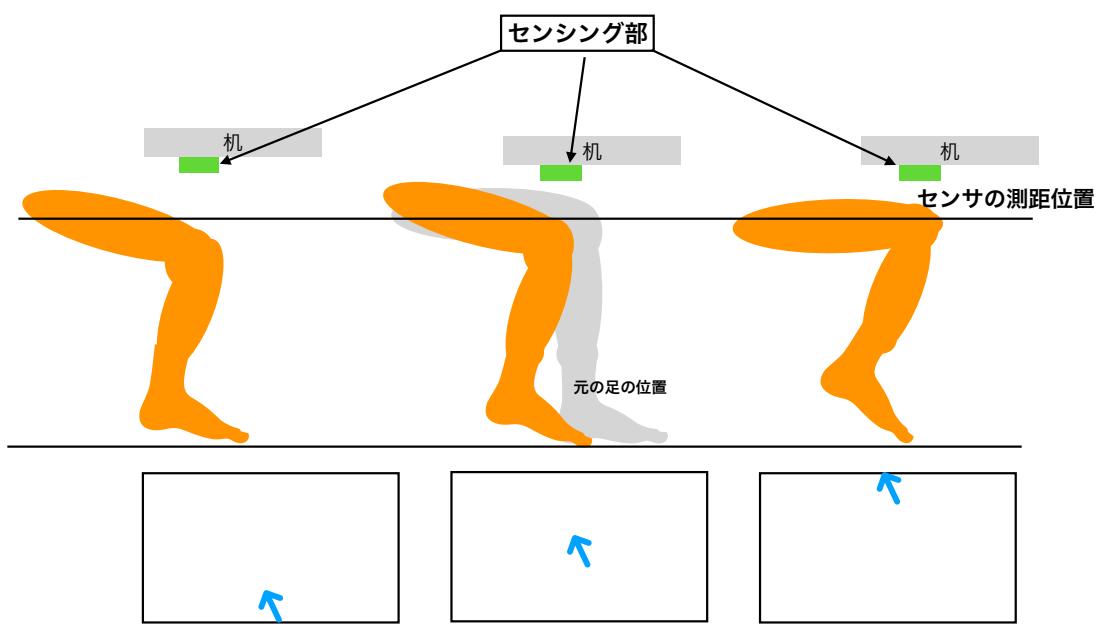


図 3.2: 操作方法案 2

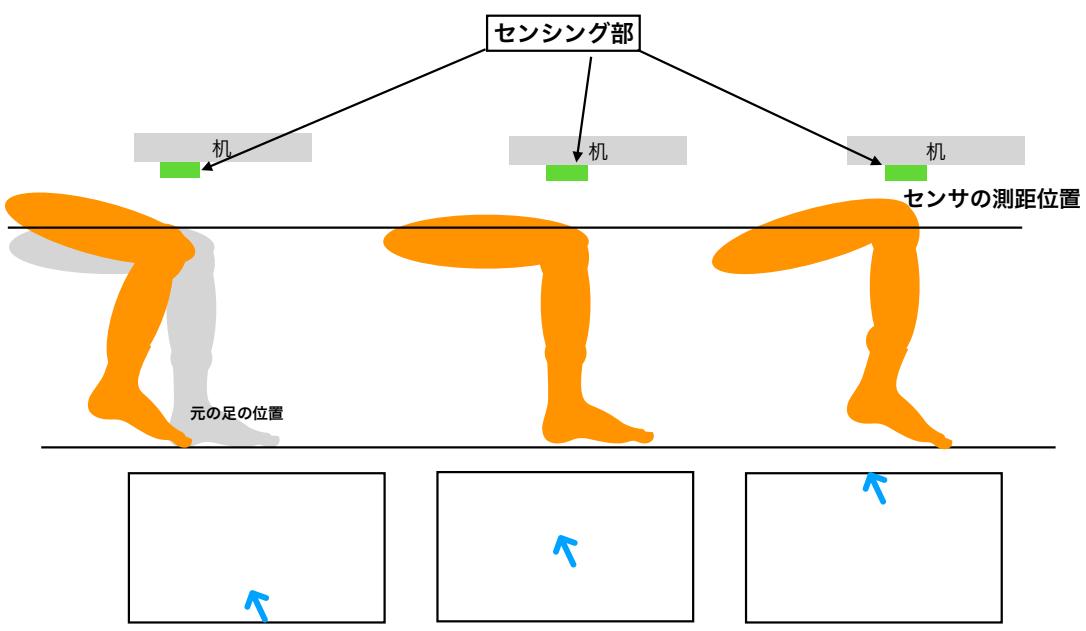


図 3.3: 操作方法案 3

# 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1

### 4.2.1 ハードウェア

距離センサは SHARP GP2Y0E03<sup>1</sup>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 I<sup>2</sup>C 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<sup>2</sup>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。接続した距離センサは 1 列に並べる。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、両面テープでセンサ本体を固定し、配線類をセロハンテープで固定した。装置が長細いため、接続にはプレッドボードの電源とグランド接続に用いられる部分を 2 列使用した。図??は実際に製作したプロトタイプの 1 つである。図 4.1 ではセンサごとの間隔は約 11mm としている。

Arduino では、I<sup>2</sup>C 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。

### 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 [11] 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。

---

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

<sup>2</sup>[http://www.sharp.co.jp/products/device/doc/opto/gp2y0e02\\_03\\_appl\\_j.pdf](http://www.sharp.co.jp/products/device/doc/opto/gp2y0e02_03_appl_j.pdf)

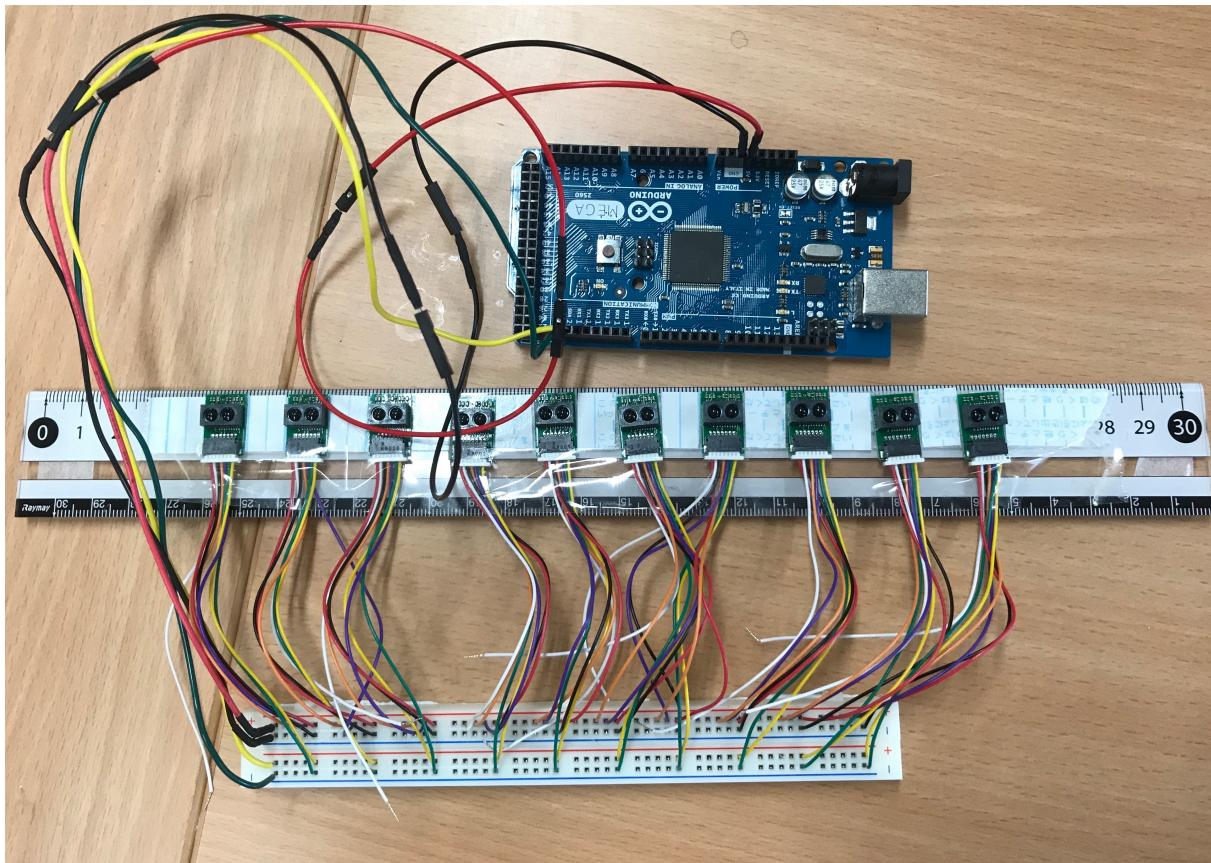


図 4.1: プロトタイプその 1

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.

### 4.2.3 プロトタイプ 1 の性能評価

実装を行なったプロトタイプを机の裏に設置し, 自由なポインタの操作ができるか試みた. キャリブレーション次第では膝を静止させた時にポインタも静止するが, 多くの場合は膝を静止させているにも関わらずポインタは左右に振れるなどした. センサからの値を観察したところ, **膝がかかっていない部分の値**が激しく上下していることがわかった. 原因として, 以下のようなものが挙げられた.

1. アプリケーションノートに, 移動物体に対するセンサの設置方向に関する記述があり, センサの設置方向が正しくない可能性がある. プロトタイプ 1 では図 4.2 の黒い矢印の方向に膝が移動するが, 赤い矢印の方向で移動する必要がある.
2. センサのコネクタのピンが細いため, ブレッドボード接続をしたことにより接触不良を起こしている.
3. 床の色が黒く, 赤外線を吸収し正しく距離を計測できていない.
4. センサの設置部分が小さく, 膝が範囲外に飛び出してしまう

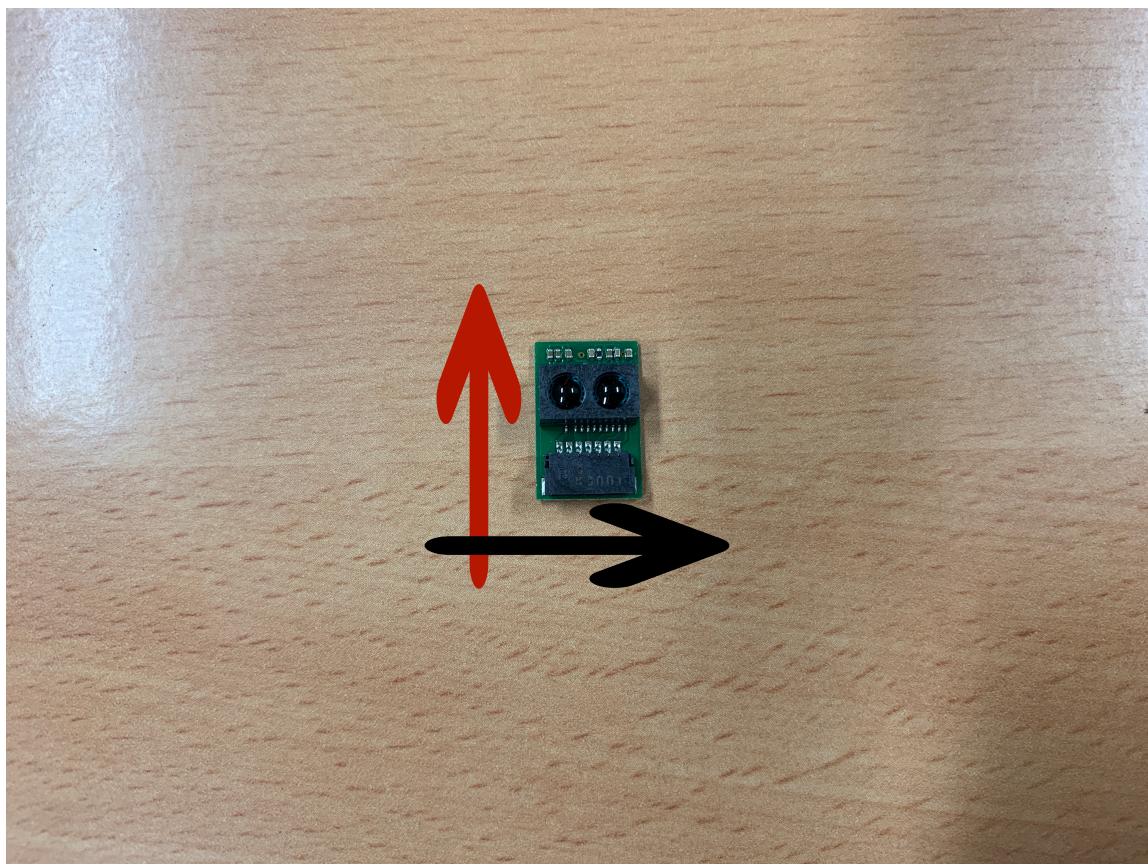


図 4.2: 移動物体に対する距離センサの設置方向概念図

## 4.3 プロトタイプ2

### 4.3.1 改良点

4.2.3 項であげた問題を解決するために、プロトタイプに改良を行った。

- 改良 1: 問題点 1. について、すべてのセンサを 90 度左回転させて設置した。また同時に問題点 4. について、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。
- 改良 2: 問題点 2. について、実装を **ブレッドボードでの接続からユニバーサル基板を用いて配線を固定することとした。**
- 改良 3: 問題点 3. について、センサの直下には床に白紙を貼り付けることで解決を図った。

### 4.3.2 改良後の評価

改良 1 を加えたプロトタイプ 2 を同様に机の裏に設置し、自由なポインタの操作ができるか実験した。プロトタイプ 1 ではポインタの左右の振れ方はとても大きく、キャリブレーション次第では操作もままならないほどであったが、改良 1 により軽減された。問題点 1. の指摘は正しく、改良後のセンサの配置方向が正しいと考えられる。しかし、依然としてポインタが左右に振れた。

改良 2 を加えて同様の実験を行なったところ、ポインタの左右の振れの改善はあまり見られなかった。これは、**センサと膝は直接触れる事はないため、設置した状態から動くことはないからであると考える。** しかし、ユニバーサル基盤上に実装したことで、接続部分がブレッドボードよりも薄くなり机裏への設置が容易になった。加えてプロトタイプ 1 では作業中に簡単に配線が抜けてしまうことがあったが、配線が固定され抜けることがなくなった。したがって、ブレッドボードの実装に戻すことはしなかった。

改良 3 を加えて、まずセンサの値を観察したところ、相変わらずノイズは観察されるが、指數平均平滑フィルタを通した後の値は改良 3 を加える前よりも安定した。床面を白くすることで赤外線の反射が多くなり、正しく測定できているからであると考える。

## 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] 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.
- [2] 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.
- [3] 鈴木茂徳. フットワークインター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.
- [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] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [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] 田中則子, 上田知生, 中尾恵, 佐藤哲大, 湊小太郎, 吉田正樹, 纓纓和美. 足指マウス開発にむけの基礎的検討：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.
- [10] 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.

- [11] 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.