

赤外線測距センサを用いた 座標と角度による感覚的入力装置の提案

若林航佑^{†1,*1} 河合純^{†1} 金田重郎^{†1}

赤外線測距センサにより、ディスプレイ上に表示された直線の位置および傾きを入力可能な、新しいポインティングデバイスを提案する。赤外線測距センサを直線状に並べ、その上にかざした「手のひら(掌)」により入力を行う。このため、完全なハンズフリーである。プロトタイプシステムによる評価実験の結果、特に、両方の手のひらを用いると、3m程度離れていても、十分な精度で傾きと位置を入力できることを確認した。

An Angle-and-Coordinates Input Device Using Infrared Distance Sensors

KOSUKE WAKABAYASHI,^{†1} JUN KAWAI^{†1}
and SHIGEO KANEDA^{†1}

This paper presents a new device based on infrared distance sensors to input hands' coordinates and angle. We need to realize embodiment of palm to use computers or other appliances perceptually but previous devices have various problems. For example, cameras have privacy problem and load of processing, remote-controllers are not competent because these are not Handsfree. We propose a device and a new pointer which has line to show the angle to realize embodiment. The proposed approach solves these problems. The device is composed by an array of infrared distance sensor. The sensor is very inexpensive and safety. We show a method to compose the device and a result of the angle input experiment.

1. はじめに

人間がシステムを操作するために用いるインタフェースは、装置を使わない場合の人間の感覚をそのまま利用できるものに変化しつつある。入力手法のうちポインティングデバイスに着目すると、従来のポインティングデバイスは、マウスやタッチパネルで座標と選択操作を入力するものであった。しかし、現実世界においては、入力情報として入力デバイスの傾きを入力するものも多数存在する。例として、車のハンドルを切る場合や、身振り手振りを使って相手に情報を伝える場合などがある。車のハンドルを従来の入力デバイスで代替する場合は、一定時間ボタンを押し続けることでハンドルの切れ角を入力していたが、直感的な操作であるとはいえない。

そこで近年、角度情報を入力できるデバイスが登場している。入力方式には種々あるが、代表的なものに、加速度センサを用いたデバイス^{1),2)}、カメラを用いたデバイス³⁾がある。これらは、身体性や直感性に優れた入力デバイスである。しかし、カメラを用いる場合はプライバシーの問題から抵抗感があるユーザもあり、加速度センサを用いる場合には、デバイスを持つことによる動きの制限が生じるという問題点がある。一方でこれらの装置は、角度を含めた情報を入力でき、ジェスチャ入力や、よりインタラクティブなゲームといった新しい可能性を示しており、今後の入力デバイスとして角度情報の入力は非常に重要な分野である。

そこで、本論文ではハンズフリーで「手のひら(掌)」の身体性を入力装置に導入する。この装置は赤外線測距センサを用いて手の位置と手のひらの角度を算出し、非接触でタッチパネルのように座標と角度情報を入力する。提案手法の実装を行い、PCおよびTVでの利用を想定したプロトタイプシステムを用いた実験を行った。角度指示および座標入力の精度を評価し、提案システムの有用性を確認する。

2. 背景

2.1 コンシューマデバイス分野

古くはスイッチによるデジタル入力のみであった入力装置が、次第にアナログに近い数段

^{†1} 同志社大学大学院工学研究科情報工学専攻
Graduate School of Engineering, Doshisha University

*1 現在、竹中エンジニアリング株式会社
Presently with TAKENAKA ENGINEERING CO., LTD.

階の入力が可能になっていった。最近では、加速度あるいは角速度センサを内蔵した入力デバイス^{2),4)} やカメラの利用³⁾ によって、角度情報が入力できるインタフェースが続々と発売されている。これらは、これまでの機器に比べ、使いやすさを目指して開発されている。また、機器を操作すること自体を楽しむ文化が醸成されつつある。しかし、機器を手で持つ必要があるなどの制約が存在するため、完全なハンズフリーを実現できていない。また、カメラの利用は心理的負担とプライバシーの問題を内包している。

上記の関連研究の中で、特に、カメラを利用した入力デバイスである Kinect³⁾ に着目したい。Kinect は人間の部位を 3D で識別する機能を持つが、その処理内容については、詳細は不明な点も多い⁵⁾。しかし、特別な赤外線パターンを対象に照射し、それを CMOS カメラで解析することで 3D 処理を実現している。撮影距離は、被験者が人間の場合、1 人の場合 1.8m、2 人の場合は 2.5m 離れるように、説明書には記載があり、本論文の提案手法のような近接位置での 3D 処理はできない。ただし、最初から近くまで測定できるように設計すれば、Kinect の方式により、手のひらの 3D 位置を検出可能と推定される。

ただし、その場合でも、Kinect は、ビデオカメラを用いなければならない。したがって、プライバシーの問題を気にするユーザからすれば、カメラの存在が気になる場所である。その意味では、本論文で提案する手法は、安価であって、かつ、ビデオカメラフリーであることに特徴がある。

2.2 学術研究分野

指先の角度を入力として用いる機器の開発として、Z-touch⁶⁾ があげられる。これは、ディスプレイに平行して赤外線レーザを多層に照射し、それぞれのレーザの反射をカメラで撮影することによって、指の検知領域に対する入射角を検出するといったことが可能である。また、パッシブ型の赤外線センサを用いている焦電センサによる指示区画検知デバイス⁷⁾ がある。これは物体の擬人化のために開発された装置で、取り付けの対象となる機器が制限されないという利点がある。一方で、これらの入力装置では検知デバイスの周辺領域での認識精度や温度など外部環境の影響が大きいといった問題点がある。

手のひらを用いた身体性のあるインタフェースとして、PALMbit⁸⁾ がある。このインタフェースでは、プロジェクタとカメラをユーザの肩に取り付ける。そして、一方の手のひらに選択項目などを表示し、もう一方の手の指で各指に設定された機能を選択する。これをカメラによって画像認識を行っている。赤外線 LED の反射光を赤外線カメラでとらえ、ジェスチャ認識を行うウェアラブル装置として、Gesture Pendant⁹⁾ があげられる。これは家電機器の操作のために首から赤外線 LED、カメラを下げ、胸にかかったそれらの装置

の前で手の形を決まったものに変えることによってジェスチャの認識を利用する。しかし、これらのようなウェアラブル装置は身体にストレスをかけてしまうために、身体性の実現のうえで必ずしも良いものとはいえない。

2.3 「手のひら」による入力デバイスの可能性

以上で概観したように、入力デバイスの多様化とともに身体性を生かした入力デバイスが研究され、一般に普及しつつある。一方で、ハンズフリーで、かつプライバシーの問題を解決した入力デバイスとして赤外線測距センサを用いた例は存在しない。著者らは、本論文を通じて、赤外線測距センサを複数個並べることにより、傾きと位置を入力できるデバイスを提案する。デバイスで角度を測定する手法を考案し、プロトタイプシステムの実装を行い、それを用いた評価実験を行った。

3. 提案システム

3.1 原理

以上の背景より、赤外線測距センサアレイを用いることで座標入力を行うとともに、複数のセンサ情報を組み合わせることで角度を算出する手法を提案する。これにより既存の入力デバイスの問題点を解決した赤外線センサアレイを用いた角度情報が入力可能なインタフェースを提案する。ユーザは表示装置に映るポインタを確認し、手をセンシング領域に入れる。そしてコンピュータで手の傾きを算出する。システムの概要を図 1 に示す。

本システムの角度算出に用いるパラメータを図 2 に示す。 x_j ($j = i, i+1, i+2, \dots$) は各センサの水平方向の位置座標であり、 y_j ($j = i, i+1, i+2, \dots$) は各センサが測定した手のひらまでの距離を表している。ただし、 i は、手のひらを検出したセンサ中、最小の番号

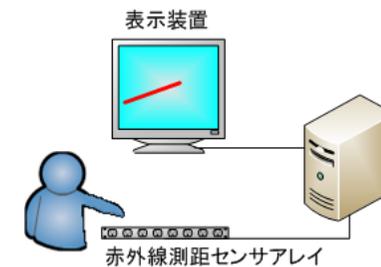


図 1 システム概要

Fig. 1 Outline of the proposed system.

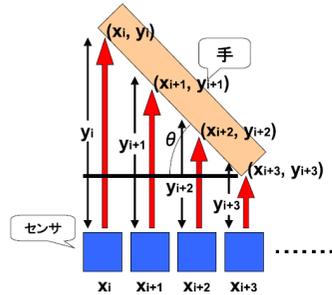


図 2 システム原理イメージ
Fig. 2 Proposed sensing method.

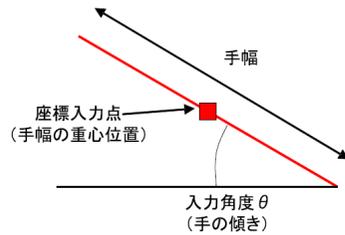


図 3 手のひらポインタ
Fig. 3 Palm pointer.

を持つセンサの番号である。図 3 に、本論文で提案する「手のひらポインタ」の概念を示す。傾きとして、手のひらの傾きをそのまま写し取るとともに、中央地点をポインタの場所とした。

理想としてはセンサから 2 点の距離さえ求めることができれば角度を決定できるが、実際にはノイズやセンサの特性などから精度が低下する可能性が高い。そこで本研究では図 2 における、センサと手の角度の関係を最小二乗法を用いて解く。

一般に、水平位置 x と高さ y で与えられる 2 次元座標 (x, y) が以下のように n 個存在するものとする。ここで、 n は手のひらを検出しているセンサの個数であり、 i は検出が始まったセンサが有する番号である。

$$(x, y) = (x_i, y_i), (x_{i+1}, y_{i+1}), (x_{i+2}, y_{i+2}) \dots (x_{i+n-1}, y_{i+n-1}) \quad (1)$$

上記の n 個の座標が与えられたとき、これらの点に対する単回帰直線 ($y = \alpha x + \beta$) の

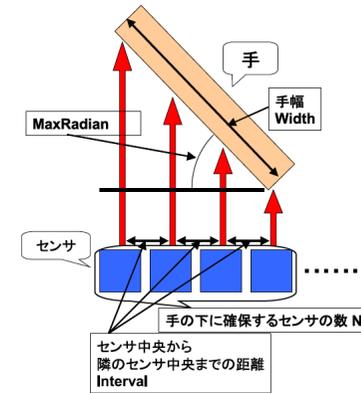


図 4 パラメータ設定
Fig. 4 Parameter settings.

係数 α は以下の式 (2) で与えられる。

$$\alpha = \frac{\sum_{j=0}^{n-1} x_{i+j} \times \sum_{i=0}^{n-1} y_{i+j} - n \sum_{j=0}^{n-1} x_{i+j} y_{i+j}}{\sum_{j=0}^{n-1} x_{i+j} \times \sum_{i=0}^{n-1} x_{i+j} - n \sum_{j=0}^{n-1} x_{i+j}^2} \quad (2)$$

以上から図 2 における、最小二乗法による角度の決定は以下の式 (3) で表現できる。ただし、 n は距離を検出したセンサの数、 i は、センサに順番に番号がついているとして、手のひらを検出している連続したサンサ中、最も若番のセンサ番号である。

$$\theta = \frac{180}{\pi} \times \arctan \left\{ \frac{\sum_{j=0}^{n-1} x_{i+j} \times \sum_{j=0}^{n-1} y_{i+j} - n \sum_{j=0}^{n-1} x_{i+j} y_{i+j}}{\sum_{j=0}^{n-1} x_{i+j} \times \sum_{j=0}^{n-1} x_{i+j} - n \sum_{j=0}^{n-1} x_{i+j}^2} \right\} [\text{deg}] \quad (3)$$

提案システムを実装するにあたり、図 4 に示したパラメータを決定する必要がある。Interval をセンサの間隔、Width を手幅、 N を手の直下に必要なセンサの数、MaxRadian を手の想定最大傾斜角度とすると、センサの間隔の設計は以下の式 (4) によって表すことができる。

$$\text{Interval} = \frac{\text{Width}}{N} \cos(\text{MaxRadian}) \quad (4)$$

N が大きくなればその分入力可能な傾斜角度は大きくなる。センサの寸法により Interval に制約条件が発生する。また、 N を決定する際にはセンサの特性を考慮する必要がある。

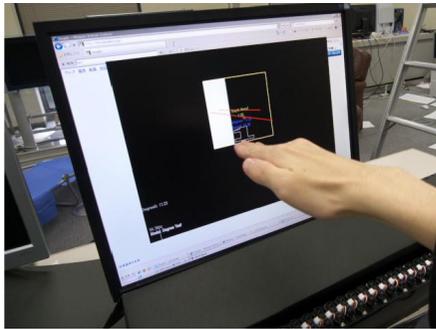


図5 プロトタイプ実装システム
Fig. 5 Prototype system.

なお、本提案手法と類似の実現方法を用いた提案として、複数の赤外線測距センサを用いたデバイスである Air Stick¹⁰⁾ があげられる。これは非接触で演奏ができる電子楽器として開発されており、6つの近赤外線測距センサにそれぞれ音を割り当て、距離をいくつかの範囲に分割してそれぞれ応答を設定している。同様に赤外線測距センサアレイを用いた音楽インタフェースとして、測距センサアレイの開発と音楽インタフェースへの応用¹¹⁾ があげられる。この研究では縦横2個ずつ計4個のセンサを用いた実装について示された。いずれも赤外線測距センサを複数用いている点は類似してはいるが、本論文の提案手法とは、その目的や効果がまったく異なっている。

3.2 プロトタイプシステムの実装

評価のためシステムのプロトタイプを実装した。提案手法がどのようなシーンで利用されるかは現状では定かではない。ただし、角度入力が可能なが特徴であるので、本論文では、キーボードと一緒に利用されるハンズフリーなデバイスとしての利用シーンを想定した。キーボードを主として利用する状況で、手をキーボードから手を浮かして、キーボードの（操作者から見て）向こう側にあるセンサに手を伸ばすような利用形態を想定している。片手をキーボードに残して、もう一方の手でセンサを操作してもよく、両手を浮かせて、センサを操作してもよい。キーボードのすぐ向こう側にセンサが置いてあるので、腕の動きを小さく抑えることができると考えた。

図5は、センサとそれに接近して置かれているディスプレイを示す。図5のディスプレイ前の黒い筐体内に並べられている赤外線測距センサが入力装置である。この上部で手のひらを動かすことによって、座標および角度情報を入力することができる。本プロトタイプシ

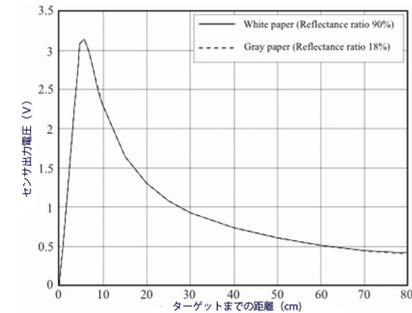


図6 利用したセンサの距離・出力電圧関係
Fig. 6 Relationship between output voltage and distance.

ステムで用いたセンサは SHARP 製赤外線測距センサ GP2Y0A21YK0F¹³⁾ である。このセンサは赤外線 LED を発光させ、検知エリアの物体からの反射光を位置検出素子で受光することで距離を測定する。

プロトタイプシステムではセンサ間の距離 *Interval* を 18 mm、センサの数を 24 個とした。また、手幅 *Width* は 100 mm とし、手のひらの検出に用いるセンサ数 *N* を 4 個とした。これを式 (4) に代入することで、設計上の最高認識傾斜角は 43.95 度となる。

なお、今回利用したセンサは安価ではあるが、1つの原理上の限界を持っていることを確認しておく。図6は、センサが検出した距離と、出力電圧の関係である。センシングする距離が遠くなるほど、単位距離変化あたりの出力電圧の変化が小さくなる。つまり、手のひらまでの距離が遠くなるほど、測定精度が信用できなくなる可能性がある。ただし、後述するように、このセンサの測距方法自体が持っているデメリットは、今回のプロトタイプ実験に関する限り、悪影響を与えたとは思えない。

4. プロトタイプシステムによる実験

作成したプロトタイプシステムを用いて、デバイスの操作性と角度入力の正確性について評価実験を行った。実験は PC および TV を入力対象とした場合に行い、以下の条件を組み合わせて行った。

実験条件 A 入力デバイスから操作対象までの距離。

- (1) PC 利用, 被験者と画面の距離は約 0.3 m .
- (2) TV 利用, 被験者と画面の距離は約 3 m .

実験条件 B 入力に使用する手.

- (1) 片手操作, 被験者の利き手で入力.
- (2) 両手操作, 被験者は両手を揃えて入力する.

なお, PC 画面は 19 インチ (画面の横幅 390 mm), テレビ画面は 37 インチ (画面の横幅 818 mm) である. それぞれの条件で, 以下の実験を実施した.

実験 1 操作性評価画面上に指示された座標および角度に手を移動するまでにかかる時間を計測し, ポインティングデバイスとしての操作性を評価する.

実験 2 角度入力精度評価画面上に表示された角度とユーザが入力した角度情報との差を検証することで, 直感性および身体性を評価する.

5. 実験結果と考察

5.1 実験 1

実験 1 では, 画面上に表示された四角形の目標領域に手を移動し, 目標領域に到達するまでの時間を計測した. 手のひらポインタは, 画面上, 1 つの直線として表示される (読み取りにくい, 図 5 の画面にも手のひらポインタが表示されている). 目標領域は, 手のひらポインタがちょうど収まる程度のサイズであり, その画面上の位置は, ランダムに生成された. 目標領域の中に, 手のひらポインタが 1 秒滞在していれば, ポインティングが成功したとして, 検出するように設定されている. 実験は, 被験者 10 人に対してそれぞれ 20 回ずつ, 画面上のランダム位置に表示される目標領域に対してポインティングを行ってもらった.

5.1.1 座標入力に要する時間についての考察

PC および TV を対象とした実験結果を表 1 に示す. これは 1 秒間の目標領域滞在時間を含んでいるため, 実際の目標までの到達時間はそれぞれ 1 秒を減算して考える必要がある. 結果より, 操作対象となる画面が離れることにより多少の操作時間増加が見られるものの, 離れた位置に表示装置を置いた場合でも素早い操作が可能であるといえる. 提案手法は手元での操作のみではなく, 離れた場所にある装置の操作に対しても有効である.

表 1 実験 1 (ポインティング所要時間) の測定結果
Table 1 Results of Experiment-1 (A-1 (PC) and A-2 (TV)).

	条件 A-1 (PC) [sec]	条件 A-2 (TV) [sec]
条件 B-1 (片手)	1.69	1.76
条件 B-2 (両手)	1.57	1.65

5.1.2 連続入力時の入力時間に関する考察

図 7 に, 条件 A-1, B-1 (PC 片手利用) 時の前回ポインティング位置から次の位置に移動するまでに要した時間と距離の関係を示す. 図中には一次回帰直線を示してある^{*1}. また, 図 8 に, 条件 A-2, B-1 (TV 片手利用) 時の同様のグラフを示す.

座標のポインティングに関する法則として, Fitts の法則^[14] がある. Fitts の法則では, 目標までの到達時間 (T) が, 「目標の困難さ ID 」を ID , a と b を定数項として, 以下の式 (5) で表現される.

$$ID = a + b \times ID \quad (5)$$

ここで, 目標の困難さ ID の単位はビットであり a は反応時間 (たとえば, マウスをクリックするまでの時間), b はビットあたりの所要時間である. ID の定式化はいくつか提案されているようであるが, Fitts の定式化としては, 以下が知られる. ここで, D は対象物までの距離, W は目標対象物の大きさである.

$$ID = \log_2 \left(\frac{2D}{W} \right) \quad (6)$$

図 7, 図 8 の結果から見る限り, 定数項 a があることは自明であり, また, PC 操作, TV

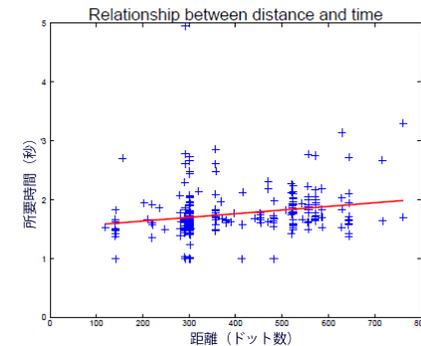


図 7 条件 A-1 (PC), B-1 (片手) 時の前回ポインティング位置からの距離と時間の関係
Fig. 7 Relationship between distance from previous position and required time (Conditions A-1, and B-1).

*1 図 7, 図 8 の直線回帰は数学的に計算されている. しかし, 図 9, 図 10, 図 11, 図 12, 図 13, 図 14, 図 15, 図 16 の各曲線は, 直感的に描いたものであり, 1 つの参考にすぎない.

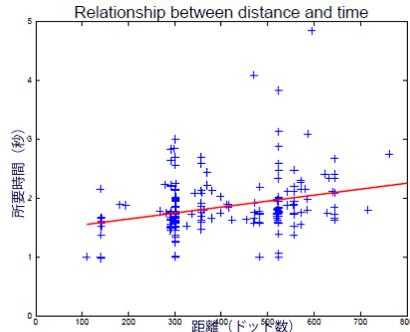


図 8 条件 A-2 (TV), B-1 (片手) 時の前回ポインティング位置からの距離と時間の関係

Fig. 8 Relationship between distance from previous position and required time (Conditions A-1, and B-2).

操作で定数項 a に数値的差異は感じられない。ただし、両手 (図 8) でポインティングした場合の方が定数項 b が大きい。これは、TV が対象で、目標物のサイズが小さい (W の値が見掛け上小さい) 一方で、手を動かす距離 D はセンサ上で動かしている限り (PC と TV の間に) 差異がないことが影響している可能性がある。図 7, 図 8 からだけでは、対数項が対数となっているか否かの確認は難しいが、今回の結果は、ほぼ Fitts の法則に準じているものと思われる。

これらの結果より、離れた位置に置いた装置に対する入力の場合が、よりポインティング対象の距離の影響を受けやすいといえる。しかし、人間の視野に対する表示装置の見かけ上の大きさが、PC 画面の場合は 11.35%、TV 画面の場合は 2.40% である*1。このため、TV 画面の場合はより小さな目標に対して入力を行っている影響があると考えられる。同様の問題は既存のポインティングデバイスでも起こりうるものであり、離れた装置を操作する場合共通の問題である。しかしながら、両手入力を行った図 8 でも、離れた位置にある小さな目標に対する際の入力誤差はさほど大きくなっているとはいえず、提案手法はある程度離れた装置に対しての角度入力にも有効であるといえる。

ただし、両手操作による入力の補助や入力対象センサの増加は、ポインティングデバイスの入力しやすさを増加させる働きがある。一方で、手を高い位置に保持しなければならない点は、身体性の制限により不利となる。この点に関しては、手元でリモコン操作を行うデバ

*1 両眼視野角を 200° として計算している。

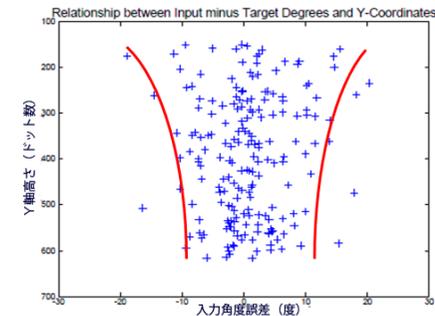


図 9 A-1 (PC), B-1 (片手) 条件下での Y 軸座標と指示角度の精度の関係

Fig. 9 Relationship between Y axis position and angle input (Conditions A-1, B-1).

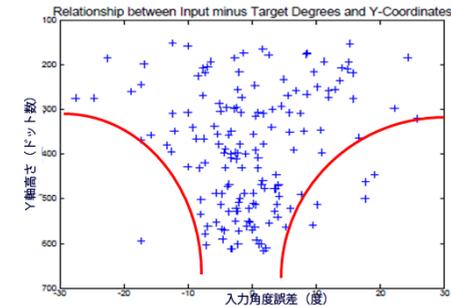


図 10 A-2 (TV), B-1 (片手) 条件下での Y 軸座標と指示角度の精度の関係

Fig. 10 Relationship between Y axis position and angle input (Conditions A-2, B-1).

イス²⁾ の場合は手首を上へ傾げるだけでよく、優れているといえる。ただし、赤外線受信装置の認識領域外にポインタが出てしまうという問題点も指摘できるため、実装依存の面もある。

5.2 実験 2

デバイスの角度入力操作における操作性を評価するため、画面に表示された目標角度と入力された角度の誤差を測定する実験を行った。この実験 2 では、画面の上に四角形の目標領域を表示し、その目標領域の中に目標となる斜線 (赤い直線) を表示した。被験者は、手のひらポインタを上記目標領域の中に移動させ、その中にある目標線に、手のひらポインタを重ね合わせることを要求された。

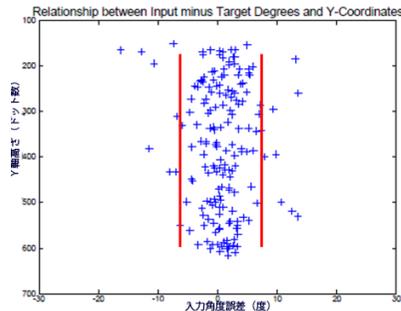


図 11 A-1 (PC), B-2 (両手) 条件下での Y 軸座標と指示角度の精度の関係

Fig. 11 Relationship between Y axis position and angle input (Conditions A-1, B-2).

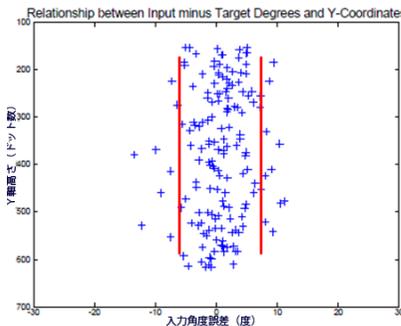


図 12 A-2 (TV), B-2 (両手) 条件下での Y 軸座標と指示角度の精度の関係

Fig. 12 Relationship between Y axis position and angle input (Conditions A-2, B-2).

目標領域の画面上での位置は、画面上でランダムに生成した。目標となる斜線の角度も、ランダムに変化させた。入力判定は、手のひらポイントが目標領域中に 1 秒以上存在すれば、ポインティングされたものとして判断した。実験は 10 人の被験者に対して、それぞれ 16 回ずつ実施した。

5.2.1 角度入力精度についての考察

角度入力の入力誤差について、図 9 には PC 前での操作、図 10 には TV セット前での操作を示す。図 9 および図 10 は、いずれも片手操作である。一方、図 11 には PC 前での操作、図 12 には TV セット前での操作を示す。いずれも両手操作である。それぞれの図中で、両側に引いた曲線は、全体的な傾向を示すために引いたものである。この全体傾向を示

表 2 角度入力の精度

Table 2 Accuracy of angle input.

実験条件	5 [deg] 以内		10 [deg] 以内	
	PC[%]	TV[%]	PC[%]	TV[%]
片手	60.94	52.50	86.46	75.63
両手	82.49	78.75	94.35	96.88

表 3 誤差絶対値の平均と分散

Table 3 Average and variance of absolute error.

実験条件	平均 [deg]		分散 [deg ²]	
	PC	TV	PC	TV
片手	5.08	6.74	53.13	81.49
両手	3.13	3.31	19.64	18.34

す曲線からも、PC の前では手のひらの高さはあまり影響しないが、TV の前では、手のひらの高さが高くなるほど、角度入力誤差が大きくなること分かる。1 つの可能性として、図 6 で示した、センサ自体の誤差の問題である可能性がある。しかし、画面上部に目標が表示された場合の誤差が大きくなる特性が見られるが、両手入力時にはこの特性は弱まっている。これは片手入力での上部の入力を行う場合には手の角度が安定しにくいこと、両手入力時には前述の左右の手による安定化作用が効いていることを示している。この結果から見る限り、センサ特性が悪影響しているとは考えにくい。

角度入力の入力誤差が 5° 以内、および 10° 以内であった確率を表 2 に示す。ただし、10° という値は、1 つの目安であって、技術的必然性があるわけではない。たとえば、角度誤差 10° 以内が 1 つの目安と仮定すれば、入力精度は十分であるといえる。一方、表 3 は、入力角度誤差の絶対値に対して、平均、および、分散を計算した結果である。表 3 の結果より、両手入力時の方が入力精度が向上していることが分かる。これは左右の手が互いの動きを制約することにより、目標角度と一致した後の角度維持が容易に行えていることを示している。これより、両手を用いることで角度をより正確に入力できる。以下にさらに詳細な実験結果を示し、各条件下での角度入力の特性について詳述する。

5.2.2 目標角度に対する入力誤差特性

図 13 および図 14 はいずれも片手入力 (条件 B-1) の下で、PC および TV を対象として、与えられていた目標角度と指示角度の誤差の関係を示している。また、図 15 および図 16 は、同様にして、両手入力 (条件 B-2) の下で、PC および TV を対象として、与え

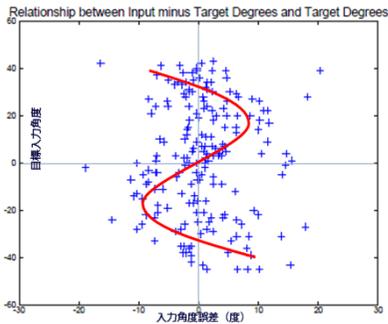


図 13 A-1 (PC), B-1 (片手) 条件下での目標角度と指示角度の精度の関係
Fig.13 Relationship between target angle and angle input (Conditions A-1, B-1).

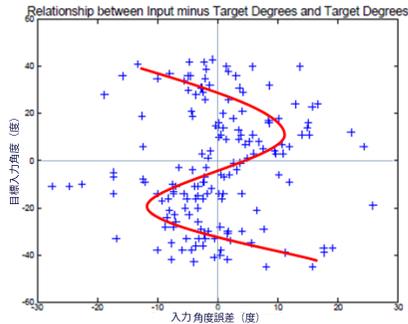


図 14 A-2 (TV), B-1 (片手) 条件下での目標角度と指示角度の精度の関係
Fig.14 Relationship between target angle and angle input (Conditions A-2, B-1).

られていた目標角度と指示角度の誤差の関係を示している。なお、図 13~図 16 において、図中に引かれた曲線は、全体傾向を分かりやすくするために、参考までに直感的に引いたものであり、数学的に求めたものではないことをお断りしておく。

程度の差こそあれ、図 13~図 16 では、測定値の分布は逆 S 字型になっている。これは目標角度の絶対値が小さいときには入力角度の絶対値がそれを上回ることが多く、逆に大きいときは下回ることが多いということを示している。この原因として考えられるのは、指定された角度にまで手を傾げるためにかかる時間である。今回の実験では被験者に対して連続してランダムな座標と角度を入力させたために、手は前回の傾きを残した状態から次の入力に移行している。また、人間の手の構造上、絶対値の小さな角度は指示しやすく、逆に大き

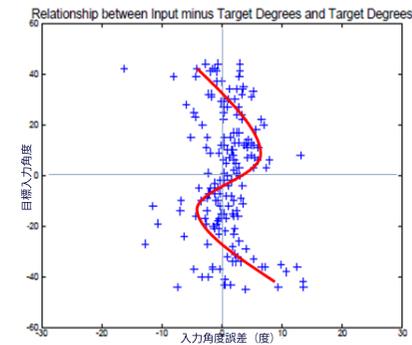


図 15 A-1 (PC), B-2 (両手) 条件下での目標角度と指示角度の精度の関係
Fig.15 Relationship between target angle and angle input (Conditions A-1, B-2).

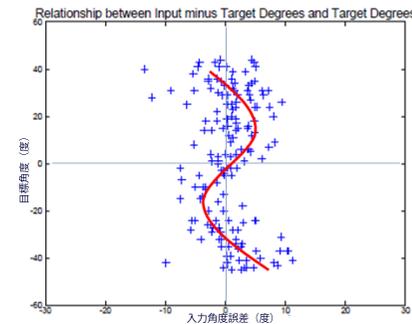


図 16 A-2 (TV), B-2 (両手) 条件下での目標角度と指示角度の精度の関係
Fig.16 Relationship between target angle and angle input (Conditions A-2, B-2).

な角度は入力誤差が大きくなる可能性が高い。

一方、両手入力の図 15, 図 16 を見ると、誤差が低下していることと、逆 S 字型の幅が狭くなっていることが分かる。これも前節の結果と同様、両手入力による角度安定の効果が見られている結果と思われる。

6. 適用イメージと課題

6.1 提案手法の適用イメージ

本節では、提案手法の適用イメージについて考察したい。プロトタイプシステムでは、キー

ボードの（人間の位置から見て）向こう側，すなわち，キーボードとディスプレイの間に，提案センサを設置した．利用イメージとしては，通常はキーボードを利用しているが，必要に応じて，キーボードから手を離して，手のひらを持ち上げて，ポインティングデバイスとして利用するようなケースを想定している．この場合には，物理的にデバイスを取り上げることなしに，入力操作が可能であることに大きな特徴がある．たとえば，片手のみをセンサに掲げる場合には，センサ（片手）でポインティングしながら，片手でキーボード入力が可能である．したがって，片手で画面上のオブジェクトを次々と指定して，位置と傾きが設定されれば，残った片手でエンターキーを押すことも可能である．たとえば，複数のオブジェクトを次々とドラッグして，位置や傾きを入力するようなインタフェースが想定される．両手で入力する場合には，マウスポインタのクリック動作が実現できない．本論文の実験で採用したように，ある一定の領域内部にとどまることを条件として入力値を確定する方法など，クリックに相当する操作とその検出手法の確立が期待される．

本提案手法では，片手操作と両手操作を別のデバイスとして扱うことは，必ずしも，容易ではないかもしれない．理由として，手のひらのサイズを事前登録することは考えていないためである．たとえば，非常に手のひらが小さな女性が両手で利用したときと，大柄な男性が片手を用いて入力したときとを，明確に区別することは難しい．ただし，2つの手のひらが分離すれば，本システムは片手が2つ存在することを検出できる．したがって，画面上であっても，片手をマウスカーサとして利用し，もう一方を傾き入力に用いることは可能であろう．

また，さらに本提案手法の大きな特徴は，デバイスに直接に手を触れる必要がないことである．したがって，たとえば，温水洗浄便座において，提案デバイスを置いて，温水の方向や強さを制御するようなアプリケーション^{*1}も想定される．提案手法の実際のアプリケーションへの適用については，今後も，さらに，検討を重ねる必要がある．

6.2 デバイスとしての課題

プロトタイプシステムでは通常のPCにおけるデスクトップ画面の幅（約50cm）の入力デバイスを作成した．テレビやプロジェクタなどさらに大画面を対象として用いる場合でも，センサの個数を増加させることで，対応できる．また，必要であれば，奥行き方向にもセンサを並べれば，手のひらの3次元的な位置を測定できる．

ただし，プロトタイプでも観測されているが，センサを近接させて並べることによる，赤

外線干渉の問題が生じる．これは，隣のセンサが発光する赤外線が，センサに飛び込んで，測定ノイズとして観測される現象をいう．この問題を解決するためには，赤外線発光タイミングを全体で制御して，センサが隣のセンサからの赤外光を受信しないように配慮する必要がある．今回の測定でも，この干渉ノイズが存在した状態で行っており，ノイズ除去のためかなり強い移動平均処理を行っている．したがって，この周辺デバイスからのノイズの問題が回避されれば，本論文で示した誤差および反応時間が，削減される可能性は残されている．

7. おわりに

本論文では，角度入力可能な赤外線測距センサアレイによるポインティングデバイスの提案を行い，プロトタイプシステムを実装し，実験を行った．結果として以下の知見を得た．

- 提案システムを用いた位置入力精度は目標との距離に大きな影響を受けない．
- 画面上部の目標に対する入力は，両手を用いるなど入力時に補助があることで精度が向上する．
- 目標角度の絶対値が大きくなるほど角度入力精度は低下するが，両手入力を用いることで軽減できる．

実験結果として位置および角度の入力デバイスとして十分な性能があることを確認した．人間の「手のひら」を直接入力デバイスとして用いることで，直感的な操作を可能とするとともに，新たなインタラクションの方法としての可能性を示した．

参 考 文 献

- 1) NEC トーキン株式会社：モーションセンサMDP-A3U9S，入手先(<http://www.nec-tokin.com/product/3d/outline.html>)．
- 2) 任天堂株式会社：Wii リモコン，入手先(<http://www.nintendo.co.jp/wii/controllers/index.html>)．
- 3) Microsoft: Kinect, available from (<http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>)．
- 4) Logitech: MX Air, available from (<http://www.logicool.co.jp/ja-jp/mice-pointers/mice/devices/3443>)．
- 5) Kinect のトラッキング原理「部位認識に基づく3D姿勢推定」，入手先(<http://derivecv.tumblr.com/post/2106495200>)．
- 6) Takeoka, Y., Miyaki, T. and Rekimoto, J.: Z-touch An Infrastructure for 3D gesture interactions in the proximity of tabletop surfaces, *The ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, 2010* (2010)．

*1 たとえば，角度によってノズルの方向を制御し，センサからの距離は温水の噴出強度の制御に利用する．

- 7) 野田誠人, 大澤博隆, 今井倫太: 焦電センサによる指示区画検知デバイス, 第 70 回情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.4, pp.119-120 (2008).
- 8) 山本豪志朗, 佐藤宏介: PALMbit: 掌への光投影を利用した身体インタフェース, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.6, pp.797-804 (2007).
- 9) Starner, T. et al.: The Gesture Pendant A Self-illuminating, Wearable, Infrared Computer Vision System for Home Automation Control and Medical Monitoring, *ISWC2000* (2000).
- 10) Franco, I.: The Airstick A Free-Gesture Controller Using Infrared Sensing, *NIME'05 Proc. 2005 Conference on New Interfaces for Musical Expression*, pp.248-249 (2005).
- 11) 池淵 隆, Michael Bylstra, 片寄晴弘: 測距センサアレイの開発と音楽インタフェースへの応用, 音楽情報科学研究会, 2006-MUS-64, Vol.2006, No.19, pp.31-40 (2006).
- 12) 経済産業省人間特性基盤整備事業 (size-JPN) 2004-2006, 入手先(<http://www.meti.go.jp/press/20071001007/20071001007.html>).
- 13) シャープ株式会社: GP2Y0A21YK0F, 入手先(http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf).
- 14) Fitts, P.M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.47, No.6, pp.381-391 (1954).

(平成 23 年 3 月 18 日受付)

(平成 23 年 9 月 6 日採録)



若林 航祐 (正会員)

平成 21 年 3 月同志社大学工学部知識工学科卒業。平成 23 年 3 月同志社大学大学院工学研究科情報工学専攻修了。同年 4 月中エン지니어リング株式会社に入社, 現在に至る。その間, コピキタスコンピューティング技術の開発・研究に従事。第 73 回情報処理学会全国大会学生奨励賞受賞。



河合 純

平成 16 年 3 月同志社大学工学部知識工学科卒業。平成 18 年 3 月同志社大学大学院工学研究科知識工学専攻修士課程修了。同年 4 月株式会社 ACCESS に入社, 携帯電話向けソフトウェア開発に従事。平成 22 年 4 月より同志社大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程。センサ融合, コピキタスコンピューティングの研究に従事。



金田 重郎 (正会員)

昭和 49 年 3 月京都大学工学部電気第二学科卒業, 昭和 51 年 3 月京都大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年 4 月日本電信電話公社・武蔵野電気通信研究所入所。大型汎用電子計算機の実用化, ならびに, 誤り検出訂正符号の研究に従事。さらに, NTT 日本電信電話株式会社・情報通信処理研究所にてエキスパートシステムの研究を行った。平成 9 年 4 月同志社大学大学院総合政策科学研究科教授・同工学部教授。現在は, 同工学研究科情報工学専攻教授。情報システム・コピキタスコンピューティングの研究に従事。工学博士 (京都大学), 技術士 (情報処理部門)。電子情報通信学会, IEEE 各会員。