

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} 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「てのひら」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、両方の掌を用いると、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} 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. はじめに

人間がインタフェースを介してシステムを操作する際に、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言い難い。

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。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、デバイスを手で持って操作する場合は、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、本稿ではハンズフリーで「てのひら」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「てのひら」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及び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。角度指示及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階の入力が可能になっていった。最近では、角速度センサを内蔵した入力デバイス¹⁾²⁾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るとは言えない。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。

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-touch⁴⁾が挙げられる。これは、ディスプレイに平行して赤外線レーザーを多層に照射し、それぞれのレーザー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⁵⁾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制度や温度等外部環境の影響が大きいといった問題点がある。

「てのひら」を用いた身体性のあるインタフェースとして、PALMbit⁶⁾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、一方の掌に選択項目等を表示し、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 Pendant¹⁰⁾が挙げられる。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、身体性の実現の上で必ずしも良いものとはいえない。

本研究と同様に赤外線測距センサを複数用いているデバイスとしてAir Stick⁷⁾が挙げられる。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⁸⁾が挙げられる。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。

2.3 「てのひら」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。著者は、本稿を通じて、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。



図1 システム概要

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_i は各センサの間隔であり、 y_i は各センサが測定した「てのひら」までの距離を表している。図3に、本稿で提案する「てのひらポインタ」の概念を示す。傾きとして、「てのひら」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。最小二乗法による角度の決定は以下の式(1)で表現できる。ただし、 n は距離を検出したセンサの数を表す。

$$\theta = \frac{180}{\pi} \times \arctan \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - n \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i - n \sum_{i=1}^n x_i^2} \right\} [\text{deg}] \quad (1)$$

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

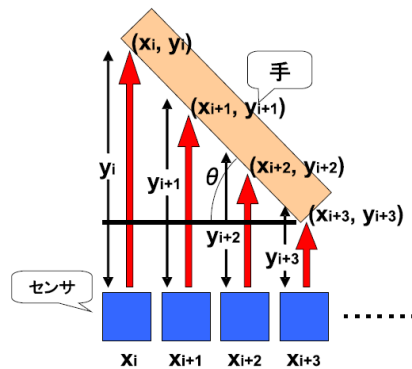


図2 システム原理イメージ

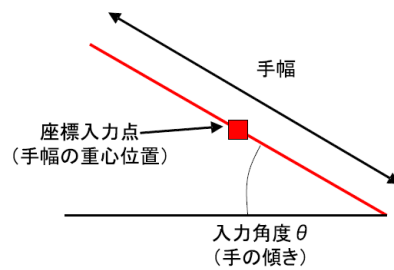


図3 てのひらポインタ

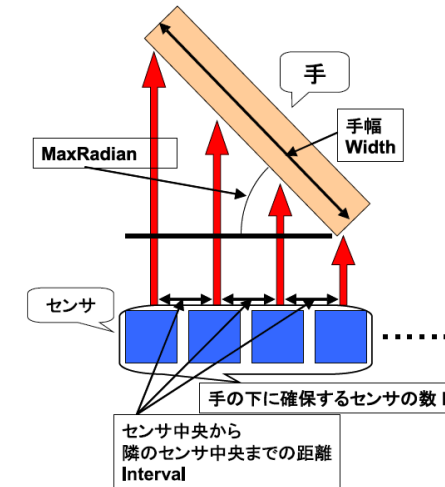


図4 パラメータ設定

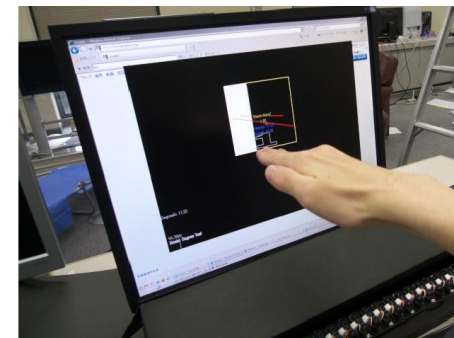


図5 プロトタイプ実装システム

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 (2) によって表すことができる。

$$Interval = \frac{Width}{N} \cos(MaxRadian) \quad (2)$$

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。

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。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「てのひら」を動かすことによって、座標及び角度情報を入力することができる。本プロトタイプシステムで用いたセンサは SHARP 製赤外線測距センサ GP2Y0A21YK0F¹¹⁾ 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 18mm、センサの数を 24 個とした。また、手の大きさ $Width$ は 100mm とし、「てのひら」の検出に用いるセンサ数 N を 4 個とした。これを式 (2) 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。

表 1 実験 1 の結果 (単位 [sec])

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

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 及び 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で行った。

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 0.3m .
- (2) TV 利用, 被験者と画面の距離は約 3m .

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 390mm) , テレビ画面は 37 インチ (画面の横幅 818mm) 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及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、直感性及び身体性を評価する。

5. 実験結果と考察

5.1 実験 1

画面上に表示された四角形の目標領域に手を移動し、1 秒間目標領域に留まるまでの時間を計測した。本実験では被験者 10 人に対してそれぞれ 20 回ずつ、ランダムに表示される目標領域に対してポインティングを行った。

5.1.1 座標入力に要する時間についての考察

PC 及び 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、

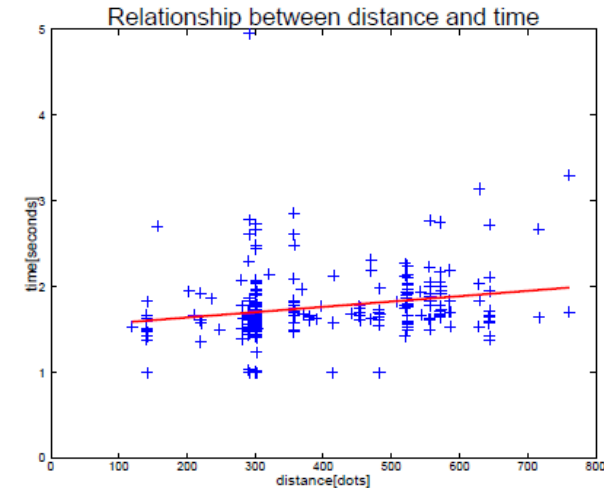


図 6 条件 A-1, B-1 時の前回ポインティング位置からの距離と時間の関係

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。

5.1.2 連続入力時の入力時間に関する考察

図 6 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。図中には一回帰直線を示してある。また、図 7 に、条件 A-1, B-2 (TV 片手利用) 時の同様のグラフを示す。

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 10 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

*1 両眼視野角を 200° として計算している。

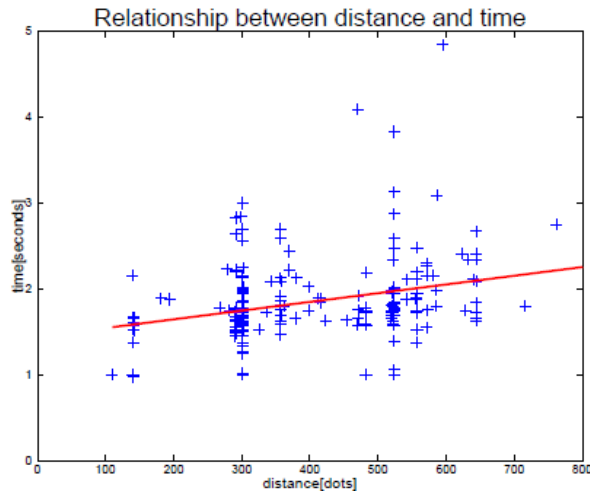


図 7 条件 A-1, B-1 時の前回ポインティング位置からの距離と時間の関係

た装置に対しての角度入力にも有効であるといえる。

座標のポインティングに関する法則として、Fitts の法則¹²⁾がある。提案手法も Fitts の法則に当然従うと考えられる。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イス¹⁾の場合は手首を上に向けておくだけでよく、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の操作性を評価するため、画面上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。被験者は画面上に表示された赤い破線と同じ角度になるよう「てのひら」を傾け、プロトタイプシステムによって角度を入力する。本実験は 10 人の被験者にそれぞれ 16 回ずつ実験を実施した。

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が 5° 以内、及び 10° 以内であった確率を表 2 に示す。角度誤差 10°

表 2 角度入力の精度

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

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

以内であれば、高い精度で入力できている。

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わかる。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 両手入力時の入力誤差特性

図 8 は A-1, B-1 の条件で行った実験により得られた、画面の上部を原点とする Y 軸座標と指示角度の誤差の関係を示す。また、図 9 には A-2, B-1 の条件での同様の関係を示す。両者の比較により、両手入力時には誤差がより減少していることが裏付けられる。また、図 8 では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。これは片手入力で上部の入力を行う場合には手の角度が安定しづらいこと、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。

5.2.3 目標角度に対する入力誤差特性

図 10 は A-2, B-1 条件下での実験により得られた目標角度と指示角度の誤差の関係を示している。この図での分布は逆 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、逆に大きな角度は入力誤差が大き

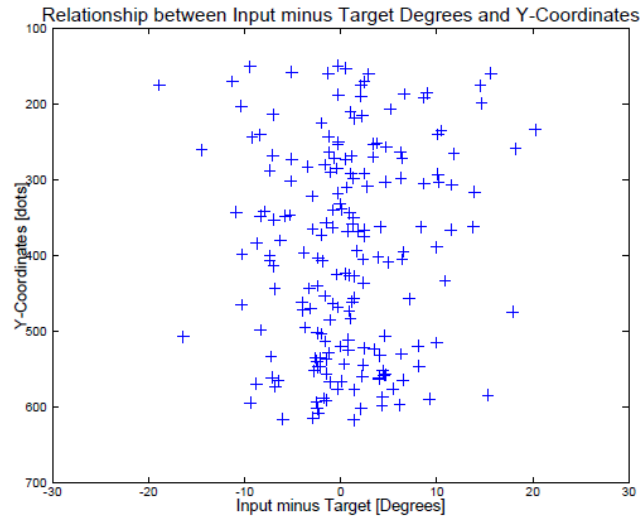


図 8 A-1, B-1 条件下での Y 軸座標と指示角度の精度の関係

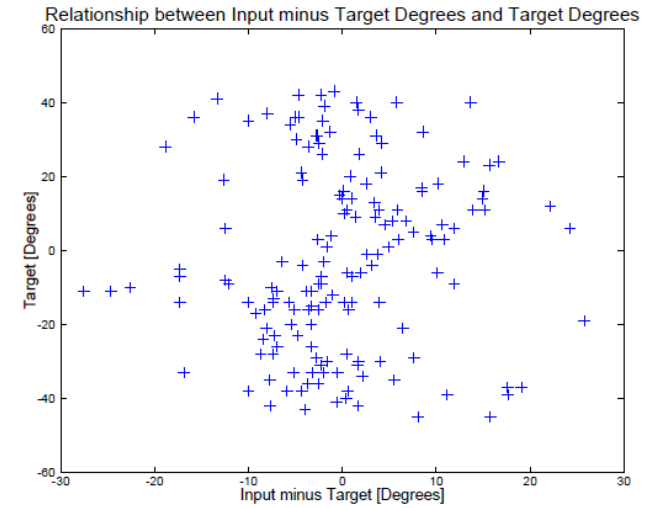


図 10 A-2, B-1 条件下での目標角度と指示角度の精度の関係

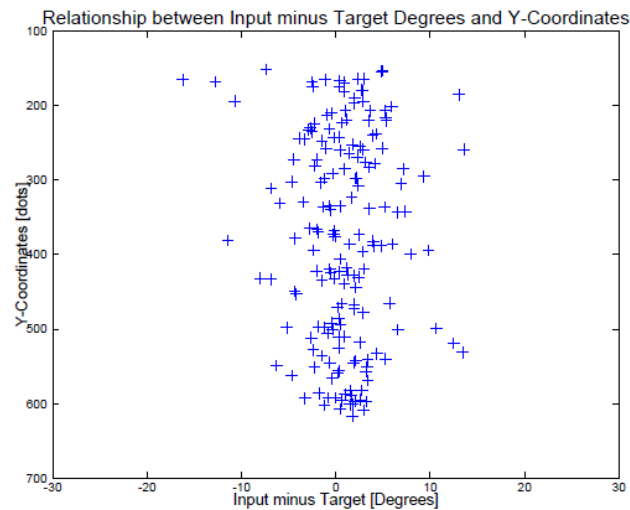


図 9 A-1, B-2 条件下での Y 軸座標と指示角度の精度の関係

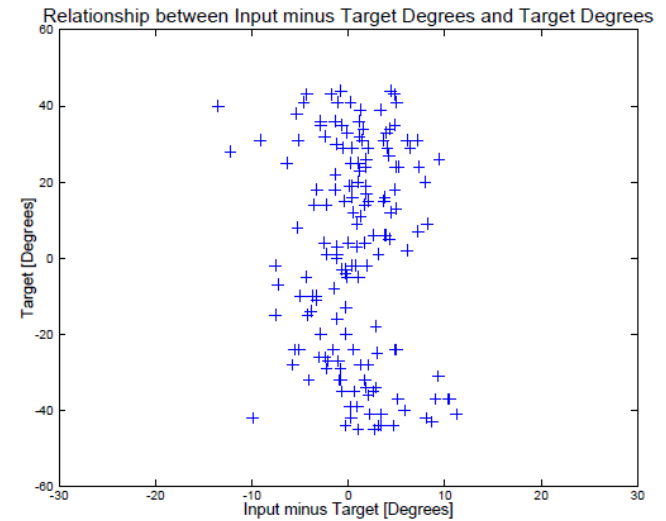


図 11 A-2, B-2 条件下での目標角度と指示角度の精度の関係

くなる可能性が高い。

図 11 は A-2, B-2 条件下での実験により得られたグラフである。この実験条件でも、データプロットが逆 S 字型になっている様子が見て取れる。一方、誤差の値の低下と、誤差の分散の低下に加えて逆 S 字型の幅は狭くなっていることがわかる。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得られている結果といえる。

6. 今後の課題

今回のプロトタイプ開発と実験を通して、提案システムの静的入力デバイスとしての性能は十分であることが示された。これらの実験では片手操作と両手操作についての差を検証したが有意な差はみられなかった。このことから片手操作と両手操作それぞれで異なる指示とすることも考えられるが、センサの検出結果から片手が両手を分離することは困難である。このため、両手操作は式 (2) に示した *Width* を増加させるために用いるのが適切であると考えられる。ジェスチャ入力を考えた場合においても片手入力と両手入力を組み合わせることにより、入力操作をより自然なものとするができる。

また、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が、テレビやプロジェクタ等さらに大規模な画面で用いる場合でも本手法は有効であると考えられる。一方で、センサの増加に伴う赤外線干渉の問題がシステム実装の際に見られた。これは、アクティブ型のセンサを用いたために、赤外線の照射が重複したためと考えられる。この問題を本質的に解決するためには、赤外線の照射タイミングをセンサごとにずらし、照射タイミングが重ならないようにすることが考えられる。今後はこの問題を解決した上で、さらに大きなスクリーンに対し、多人数が同時に入力をする場合についても検討していきたい。

7. おわりに

本稿では、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及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「てのひら」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) Wii リモコン, 任天堂株式会社,
<http://www.nintendo.co.jp/wii/controllers/index.html>
- 2) MX Air, Logitech,
<http://www.logicool.co.jp/ja-jp/mice-pointers/mice/devices/3443>
- 3) Kinect, Microsoft, <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>
- 4) Yoshiki Takeoka, Takashi Miyaki and Jun Rekimoto: 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)
- 5) 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) .
- 6) 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) .
- 7) Ivan Franco: The Airstick A Free-Gesture Controller Using Infrared Sensing, NIME'05 Proceedings of the 2005 conference on New interfaces for musical expression, pp.248-249(2005).
- 8) 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) .
- 9) 経済産業省人間特性基盤整備事業 (size-JPN) 2004-2006,
<http://www.meti.go.jp/press/20071001007/20071001007.html>
- 10) T.Starner et al; The Gesture Pendant A Self-illuminating, Wearable, Infrared Computer Vision System for Home Automation Control and Medical Monitoring. ISWC2000 (2000).
- 11) GP2Y0A21YK0F, シャープ株式会社,
http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf
- 12) Paul M. Fitts: 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).