

指振りによる簡易な複数機器操作手法の構築

今村勇也† 浅野秀胤‡ 増山岳人† 梅田和昇†

† 中央大学 ‡ パイオニア株式会社

E-mail: imamura@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

Abstract

本研究では、我々が構築している機器操作システムであるインテリジェントルームにおいて、指振りのみによって簡易に複数の機器を操作する手法を提案する。指を振る動作は非常に簡易で小さな動きであるため、指振りのみを用いることでユーザへの負担が少ない機器操作が可能である。提案手法による機器操作は以下の3つのステップにより行う。まず、腕を伸ばした状態で指振りを行うことで伸ばした腕の延長線上にある機器を指示する。次に、ユーザが適当な位置で指振りを行うことで、指示をした機器が起動する。最後に、起動した機器に対する操作コマンドが関連付けられた空間を配置し、その中で指振りを行うことで機器の具体的な操作を行う。また、実験により、提案手法を構成する要素技術の精度評価のための検証を行った。

1 序論

近年、空間内の様々なセンサや機器を連携させ、空間を知能化するというアプローチがとられている[1]。それにより、センサを意識させる必要やデバイスを持たせる必要が無く、空間内の人に対して適切な支援を行うことが可能となる。人の動きを検知し稼働する照明は空間の知能化の身近な例であり、既に病院やオフィスで広く普及している。一方で、空間の知能化を機器操作に応用した研究も行われている。空間の知能化により、人の動きや音声を認識することで、ユーザがセンサを意識しない自然な機器操作の実現が可能であると考えられる。空間の知能化による機器操作システムとして、我々はインテリジェントルーム[2]を構築している。インテリジェントルームの概念図を図1に示す。このシステムではジェスチャにより室内にある様々な機器の操作が可能である。しかし、複数のジェスチャを記憶し、大きな動きで段階的に行う必要があった。加えて、ユーザが様々なジェスチャを行うことによる疲労や恥ずかしさを感じることも考えられる。

本研究では、インテリジェントルームにおいて、以上のようなユーザへの負担を軽減した機器操作手法を

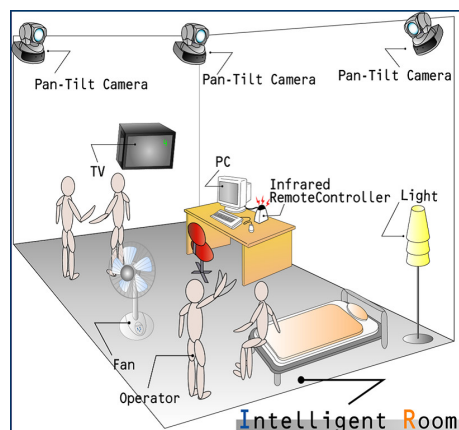


図1 インテリジェントルームの概要

構築することを目的とする。そこで、指振りのみによって簡易に複数の機器を操作する手法を提案する。指を振る動作は非常に簡易で小さな動きであるため、指振りのみを用いることでユーザへの負担が少ない機器操作が可能である。

2 本研究におけるインテリジェントルーム

2.1 計測領域

幅 6m × 6m, 高さ 2.5m の空間の天井の四隅にカメラを設置し計測領域としている。これは一般的な家庭や病室, オフィスでの使用を想定したものである。4台のカメラによりユーザの指振りを検出し、室内にある様々な機器の操作を行う。

2.2 指振り位置の検出

浅野らによって提案された手法[3]により指振り位置の検出を行う。この手法は、計測領域内であれば、指を上下させる程度の小さな指振りでも 40mm 以下の誤差で位置の検出が可能である。検出手法の概要は以下の通りである。低解像度化したグレースケール画像において指振りが行われると輝度値の周期的な変化が起る。その周期的な変化に対してフーリエ変換を用いることで取得されるスペクトルを基に指振りを検出する。2台以上のカメラで指振りを検出することで、三角測量の原理により指振りが行われた三次元位置を取得する。

3 提案手法の概要

提案手法では、指振りを基にした3つのステップにより機器の操作を行う。3つのステップを置くことで複数の機器のより多くの操作を行うことを可能としている。

3.1 ステップ1：操作する機器の指示

機器操作のための1つめのステップとして操作する機器の指示を行う。機器の指示には腕の方向推定を用いる(4.2節参照)。ユーザが腕を伸ばし指を振ると、腕の三次元形状から腕が伸びている方向を推定する。伸ばした腕の延長線上に機器があれば、その機器を指示した状態となる。ユーザが室内の機器の位置を把握していれば、ユーザの向きや姿勢に依らず機器の指示を行うことが可能である。

3.2 ステップ2：指示をした機器の起動

2つめのステップとして指示をした機器の起動を行う。ユーザが機器を指示した状態で適当な位置(指振りをしやすい位置)で指振りを行うことで機器を起動する。このとき、指振りを行った位置から一定範囲の空間と機器のON/OFFを関連付ける。これにより、同様の位置で指振りを行うことで、機器のON/OFFを行うことが可能となる。また、上述の空間は、ユーザを基準とした座標系上に(4.3節参照)配置される[4]。これにより、空間がユーザに追従する形となり、ユーザの位置や向き、姿勢が変わった場合でも、ユーザから見て同じ位置で指振りを行うことにより、機器のON/OFFを行うことが可能である。ユーザ自身が空間の配置を行うため、同様の位置で指振りを行うことは容易だと考えられる。ユーザを基準とした座標系と配置した空間の例を図2に示す。

3.3 ステップ3：その他の操作

3つめのステップとして起動した機器のその他の操作を行う。起動した機器のその他の操作は予め操作コマ

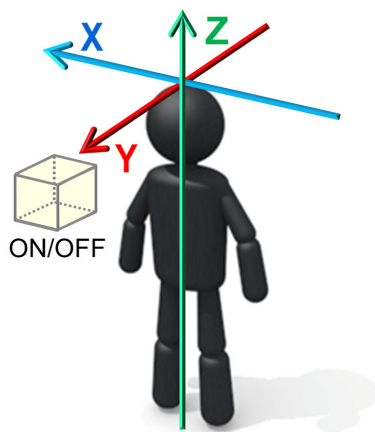


図2 ユーザを基準とした座標系上に配置した空間

ンドを関連付けておいた空間内での指振りにより行う。その空間は機器を起動した際の指振り位置を基準に配置する。例として、起動時の指振り位置の上下左右に空間を配置することで、ユーザが空間の位置を把握しやすく、少ない動きで様々な操作を行うことが可能である。

4 提案手法を構成する要素技術

4.1 ユーザの三次元形状の取得手法

提案手法を構築するため視体積交差法[5]によりユーザの三次元形状を取得する。視体積交差法は多視点画像を基に三次元形状を復元する手法であり、対象の領域を抽出したシルエット画像とカメラの位置や向き等のカメラパラメータのみを用いる。そのため、特殊な機器を用いる必要が無く、室内に設置した4台のカメラのみを用いる本研究に適している。

まず、予め取得しておいた背景画像と指振りが検出された際に取得した入力画像から背景差分画像を取得する。背景差分画像ではユーザの領域が前景領域として取得される。4台のカメラそれぞれで背景差分画像を取得し、視体積交差法によりユーザの三次元形状を復元する。このとき、指振り位置から一定距離以内の領域でのみ形状を復元することで、室内に他の人物がいた場合にもユーザの形状のみを取得できる。背景画像、入力画像、背景差分画像、復元したユーザの三次元形状の例を図3~6に示す。

4.2 ユーザの腕の状態の判別と方向推定手法

ユーザが腕を伸ばした状態で指振りを行ったかを判別し、伸ばしている方向を推定する。まず、指振り位置とユーザの三次元形状からユーザが腕を伸ばしているかを判別する。指振りが検出されるとユーザの三次元形状を復元する(4.1節参照)。検出された指振り位置がユーザの三次元形状の重心から一定距離以上離れていれば、ユーザが腕を伸ばした状態で指振りを行ったと判別する。

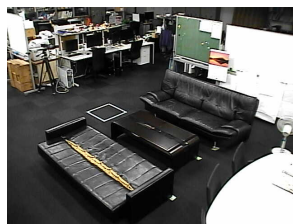
次に、腕の形状に対して主成分分析を用いることで、ユーザが腕を伸ばしている方向を推定する。ユーザが腕を伸ばした状態だと判別されると、指振り位置から一定距離以内の領域の形状を伸ばした腕の形状として取得する。視体積交差法により取得された形状は点群データとして取得される。点群に対して主成分分析を用いると、点群の分散が最も大きい方向に第一主成分が設定される。人の腕の形状に対して主成分分析を行った場合、第一主成分の方向が腕を伸ばしている方向と一致すると考えられる。取得した腕の形状と主成分の例を図7に示す。図中の直線が設定された主成分である。

4.3 ユーザを基準とした座標系の設定手法

ユーザの三次元形状に対して主成分分析を行い、その結果を基に図2に示すユーザを基準とした座標系を設定する[4]。4.2節で述べた手法を人の体の形状に対して用いる。日常生活における基本的な姿勢では、おおそ人の体は身長方向に最も長く、次いで肩幅方向、そして、前後方向の順に短くなるといえる。よって、視体積交差法によって取得したユーザの三次元形状に対して主成分分析を用いると、第一主成分が身長方向、第二主成分が肩幅の方向、第三主成分が前後方向に対応

すると考えられる。ただし、指振りを行う際に伸ばした腕の形状は設定する座標軸の傾きの原因となるため、指振り位置から一定距離以内の形状を腕の形状として除去し主成分分析を行っている。人の形状に対して設定した主成分の例を図8に示す。取得した第一主成分をZ軸、第二主成分をX軸、第三主成分をY軸としてユーザを基準とした座標軸を定義する。

さらに、取得した座標軸の向きと原点を設定することで、ユーザを基準とした座標系を設定する。人が自然に身振りを行うのは上半身の前方である。そこで、提



(a) カメラ 1



(b) カメラ 2

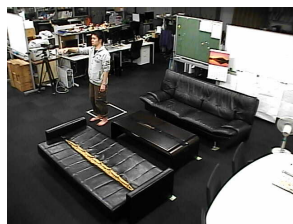


(c) カメラ 3



(d) カメラ 4

図3 背景画像



(a) カメラ 1



(b) カメラ 2



(c) カメラ 3

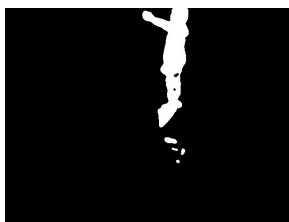


(d) カメラ 4

図4 入力画像



(a) カメラ 1



(b) カメラ 2

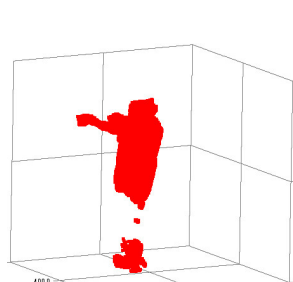


(c) カメラ 3

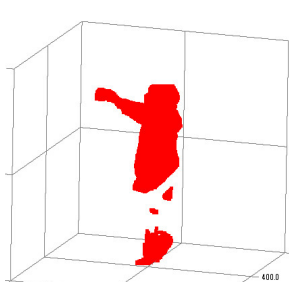


(d) カメラ 4

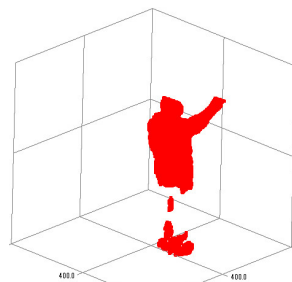
図5 背景差分画像



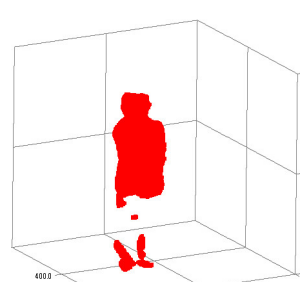
(a) カメラ 1



(b) カメラ 2



(c) カメラ 3



(d) カメラ 4

図6 復元したユーザの三次元形状

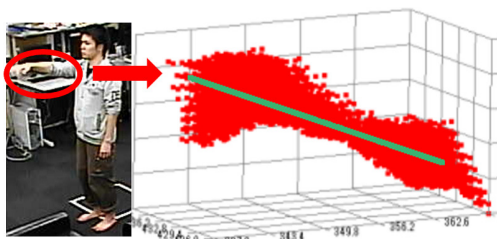


図7 ユーザの腕の形状に設定した主成分

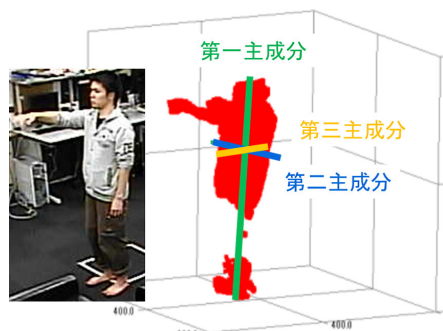


図8 ユーザの体の形状に設定した主成分

案手法により機器を操作する際は上半身の前方でのみ指振りが行われると仮定する。このとき、次のように座標軸の方向を定めることが可能である。

Z 軸: 指振り位置に近い端点をユーザの頭頂部座標とし、その方向を正とする。

Y 軸: 指振り座標に近い端点をユーザの前方とし、その方向を正とする。

また、ユーザを基準とした座標系の原点はユーザの頭頂部とする。

5 実験

提案手法を構成する要素技術の精度評価のための実験を行った。カメラはネットワークに接続可能な AXIS 233D を用いた。また、画像処理には OpenCV を用い、各種演算処理は PC(Core2Quad Q9400 2.66GHz, DDR2 6GB) で行った。

5.1 腕の方向推定精度の検証

4.2 節で述べた腕の方向推定手法の精度を検証した。被験者 1 人が腕を伸ばした状態で取得した 50 回分の形状データに対して腕の方向の推定誤差を検証した。被験者の腕は、極力、5m 前方の壁に対して垂直で、床と平行になるよう固定している。これにより、被験者の感覚的な誤差を無くし、腕の方向の推定手法のみによる誤差を検証した。視体積交差法の分解能は 10mm とし、指振り位置から 500mm 以内の領域の形状を腕の形状として取得している。

実験の結果を図 9 に示す。5m 前方での腕の方向の推

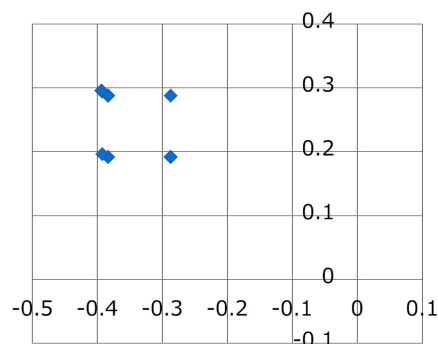


図9 5m 前方での腕の方向の推定誤差 (単位: m)

定誤差を示しており、前方の壁に垂直で床に平行に腕を伸ばしたとし誤差を算出している。また、右方向と上方向を正としており、点数が少なく見えるのは点同士が重なっているためである。実験の結果、5m 前方を指示する場合、ユーザからみて左方向に 0.4m、上方向に 0.3m 程度の誤差が生じることがわかった。本研究におけるインテリジェントルームは幅 6m × 6m であり、現状の精度でも機器を指示する上での影響は少ないと考えられる。ただし、指示をする機器が小さい場合や他の機器と隣接している場合、指示を行うことができないことも考えられる。余分な形状を取得することや欠損が生じることなく腕の三次元形状を復元することで腕の方向推定精度を向上させることが可能である。

5.2 ユーザを基準とした座標系の設定精度の検証

4.3 節で述べたユーザを基準とした座標系 (図 2) の設定精度を検証した。被験者 1 人を対象に立位 (直立に立った姿勢)、座位 (椅子に座った姿勢)、仰臥位 (ソファに仰向けに寝た姿勢) の 3 つの姿勢で検証している。被験者の実験位置は変化させず、極力同じ姿勢で、姿勢毎に 50 回分の形状データを取得した。また、視体積交差法の分解能は 50mm とした。

実験により得られた座標軸の傾きを表 1 に示す。理想的な座標系からの誤差を算出したものである。どの姿勢においても座標軸の傾きは生じているが、座位での傾きが大きくなっている。この原因は、立位と仰臥位では頭頂部から脚部までが真っ直ぐに伸びた状態となるのに対し、座位では脚部が胴体部分より前方に突き出す状態となるためである。現状ではユーザのおおまかな三次元形状のみにより座標系を設定しており、ユーザの向きや姿勢を考慮することで座標系の設定精度を向上させることが可能だと考えられる。

5.3 指振り位置の再現性の検証

3.2, 3.3 節で述べた機器操作に用いる空間はユーザ自身が配置する。そこで、ユーザが定めた位置で再度指振りを行うことが可能であるか検証した。図 10 に示

表 1 ユーザを基準とした座標系の設定精度 (単位: °)

姿勢	軸	平均	標準偏差
立位	X	1.4	0.6
	Y	3.1	0.8
	Z	2.9	0.3
座位	X	4.4	0.7
	Y	11.2	0.8
	Z	12.2	0.5
仰臥位	X	8.2	0.5
	Y	6.3	0.2
	Z	3.4	0.3

す 5 箇所の実験位置に立ち、被験者が指振りを行いやすい位置で 10 回指振りを行うよう指示した。実験位置ごとに 5 回ずつ実験を行っている。被験者 8 人に対して実験を行うことで取得した 2000 回分の指振り位置のデータを用いている。

実験により得られた指振り位置のばらつきを表 2 に示す。ユーザから見て左右、前後、上下方向でのばらつきを示している。検出した指振り位置のばらつきの平均は、ユーザから見て左右方向に 72mm、前後方向に 74mm、上下方向に 55mm という結果が得られた。また、最もばらつきが大きい被験者でも前後方向に 130mm 以内のばらつきしか生じなかった。このことから、3.2 節で述べた機器の ON/OFF に用いる空間は、指振り位置を中心に最小で $\pm 100\text{mm}$ の範囲、すなわち一辺 200mm 程度の大きさの空間であれば、安定して空間内で指振りを行うことが可能であると考えられる。

6 結論

本研究では、ユーザの負担を軽減した機器操作手法として、インテリジェントルームにおいて、指振りのみによって簡易に複数の機器を操作する手法を提案した。指を振る動作は非常に簡易で小さな動きであるため、指振りのみを用いることでユーザへの負担が少ない機器操作が可能である。提案手法による機器操作は以下の 3 つのステップによって行う。まず、腕を伸ばした状態で指振りを行うことで伸ばした腕の延長線上にある機器を指示する。次に、ユーザが適当な位置で指振りを行うことで機器を起動する。最後に、機器の起動と同時に操作コマンドを関連付けた空間を配置し、その中で指振りを行うことで機器の具体的な操作を行う。この空間はユーザを基準とした座標系上に配置しており、一度空間を配置すれば、ユーザの位置や向き、姿勢が変わった場合でも、ユーザから見て同じ位置で指

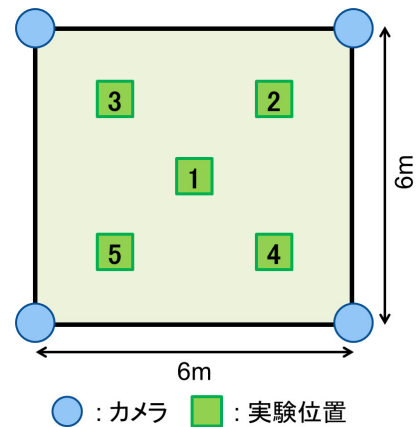


図 10 実験位置

表 2 指振り位置のばらつき (単位: mm)

被験者	左右方向	前後方向	上下方向
A	62	61	42
B	52	58	63
C	70	80	54
D	49	55	41
E	66	58	47
F	82	70	49
G	98	82	67
H	100	128	80
平均	72	74	55

振りを行うのみで同様の操作を行うことが可能である。

また、実験により提案手法の要素技術の精度評価のため検証を行った。伸ばした腕の方向推定手法では、5m 前方を指示する場合、左右方向に 0.4m、上下方向に 0.3m 以内の誤差で機器の指示が可能であり、現状の精度でも機器操作を行う際に与える影響は少ないと考えられる。しかし、ユーザを基準とした座標系の設定精度は、特に座位で大きい値となり、ユーザの向きや姿勢を考慮することで改善する必要がある。一方、ユーザの指振り位置の再現性を検証した結果、指振り位置のばらつきの平均は、ユーザから見て左右方向に 72mm、前後方向に 74mm、上下方向に 55mm となった。このことから、一辺 200mm 程度の大きさの空間であれば、安定して空間内で指振りを行うことが可能であると考えられる。今後は、各要素技術の精度を向上させると同時に、操作する機器を想定した上での空間の配置方法を検討し操作性の評価を行っていく。

参考文献

- [1] 佐藤知正 : “ 部屋・家・地域まるごとロボット-ロボット技術の現状/課題と展望- ”, パナソニック技法, Vol.56, No.3, pp.148-153 (2013)
- [2] Nagayasu, T., Asano, H., Terabayashi, K. and Umeda, K. : “ Improvement of an Intelligent Room that Detects HandWaving Motion for Operation of Home Appliances ”, Proceedings of The SICE Annual Conference 2011 (SICE2011), pp.821-826 (2011)
- [3] 浅野秀胤, 永易武, 織茂達也, 寺林賢司, 太田睦, 梅田和昇 : “ フーリエ変換を用いた指振り検出と機器操作への応用 ”, 精密工学会誌, Vol.79, No.6, pp.565-570 (2013)
- [4] 今村勇也, 永易武, 浅野秀胤, 梅田和昇 : “ 操作者形状の限定によるコマンド空間を用いた家電操作手法の改良 ”, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.37, pp.43-44 (2013)
- [5] 松山隆司, 高井勇志, ウ小軍, 延原章平 : “ 3次元ビデオ映像の撮影・編集・表示 ”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.4, pp.521-532 (2002)