

輪型入力装置を用いたハンドジェスチャの認識

大江 龍人^{†1} 志築 文太郎^{†1} 田中 二郎^{†1}

我々は、手を用いて粘土をこねるように 3D モデリングを行う環境を実現するため、輪型入力装置「わくこん」を開発している。ユーザは非利き手にわくこんを把持し、わくこん内側における利き手のジェスチャによって 3D モデルを編集する。ジェスチャの認識を改善するために、今回、輪の内側の距離センサを 32 個に増やした。本稿では、この距離センサのレイアウトとジェスチャ認識手法について述べる。

Recognition of Hand Gesture using Ring Shaped Input Device

TATSUHITO OE,^{†1} BUNTAROU SHIZUKI^{†1}
and JIRO TANAKA^{†1}

We have been developing ring shaped input devices named “Wakucon” to realize the environment that enable us to clay 3D-modeling using hand gesture. The user holds Wakucon with the nondominant hand and edits 3D-model using dominant hand’s gesture in Wakucon. To improve gesture recognition, we increase the number of sensors from 16 to 32 sensors on Wakucon. In this paper, we describe the layout of the sensors and the hand gesture’s recognition method.

1. はじめに

3D モデリングにはスカルプティングと呼ばれる変形操作がある。スカルプティングは頂点を移動させる変形操作であり、このスカルプティングには図 1 に示す 3D オブジェクトを掴む操作がある。掴む操作は通常マウスやスタイラスを用いて行なわれ、その操作はマウス

クリックした点を中心点として、マウスドラッグする方向にオブジェクトが変形するというものである。

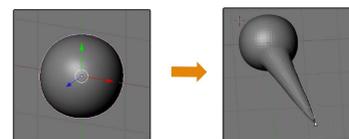


図 1 スカルプティングの掴む操作
Fig. 1 Grabbing of sculpting

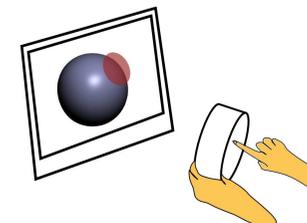


図 2 輪型入力装置を用いた操作の概念図
Fig. 2 Concept of the manipulation using ring shaped input device

我々は、マウスやスタイラスなどの入力装置を用いるのではなく、実際に手のジェスチャを用いて掴む操作を行うシステムの実現を目指している。実際に手を用いて変形することにより、ユーザは粘土を変形するような操作感を得ることができると考える。我々はこのようなスカルプティングが可能な環境の実現を目指し、輪型入力装置「わくこん」を開発してきた⁷⁾。

輪型入力装置の操作方法を以下に説明する。まずユーザは輪型入力装置を非利き手に把持する。そして利き手を用いた輪の内側のジェスチャにより、3D モデルの移動操作や変形操作などを行い 3D モデルの編集を行う。輪型入力装置を用いた操作の概念図を図 2 に示す。

我々は輪型入力装置のプロトタイプを 2 つ実装した。本稿では、2 つのプロトタイプに関してそのハードウェアやジェスチャの認識手法をそれぞれ述べる。また実装したプロトタイプの実験に関する評価実験を行ったので、それについても述べる。

2. 関連研究

手の姿勢やジェスチャを認識する入力装置と、それを用いた 3D モデリング環境の研究がこれまで成されてきた。本節ではこれらの研究について述べ、さらに輪型入力装置に関連する研究を述べる。

2.1 本研究の目的に関連する研究

手を用いた 3D モデリングの研究には、実物体の入力装置を直接掴み 3D モデリングを行う研究と、実物体を直接触れず手のジェスチャにより 3D モデリングを行う研究の 2 種に分

^{†1} 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
Department of Computer Science, Graduate school of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba

類できる。

入力装置を直接掴み 3D モデリングを行う研究

ユーザが直接掴むことができる入力装置を開発し 3D モデリングを行う研究が存在する。Smith ら⁶⁾ は 162 個の圧力センサを備えた球状の把持型入力装置を開発し、手をセンサに押し込むことによる 3D モデリング手法を提案した。さらに Murakami ら³⁾ は、弾性のある把持型入力装置を開発し、入力装置を押し、曲げる、ひねることによる 3D モデリング手法を提案した。これらの研究はユーザの入力を直接 3D モデルに反映する。これに対し、我々の研究は輪型入力装置内のジェスチャを用いて変形操作や移動操作を行う。

手のジェスチャを用いて 3D モデリングを行う研究

Nishino ら⁵⁾ は両手に CyberGlove を装着し、ろくろを用いて粘土を変形させる様に 3D モデリングを行う手法を提案した。また、Gross ら¹⁾ はテンプレートマッチングを用いて手の姿勢を認識し、その姿勢を用いて 3D モデリングを行う手法を提案した。前者の研究はデバイスの装着が必要があり、また後者の研究は白い背景を必要とする。両者とも多数の手姿勢を認識できるが、利用環境に制限がある。これに対し、我々の研究では認識できる姿勢は 3 種に限られ、またユーザは入力装置を把持する必要があるが、デバイスの装着やユーザの背景などの環境に対する制限が少い。

2.2 輪型入力装置に関連する研究

輪型入力装置を用いたインタラクションに関する研究が存在する。Nagashima⁴⁾ は音楽を演奏する目的で、2つの輪により構成される Peller-Min を開発した。Peller-Min の輪にはそれぞれ 8 個の距離センサが備え付けられ、ユーザはテルミンを演奏する様に Peller-Min を演奏する。Moeller ら²⁾ の ZeroTouch は赤外線センサアレイを用いたマルチタッチインタフェースである。ZeroTouch では、赤外線 LED と光センサから構成される 32 個のセンサモジュールを四角形の枠に取り付けることで、マルチタッチインタフェースを実現している。ZeroTouch に対し、本システムは手の姿勢とその姿勢を用いたジェスチャを認識している。

3. 輪型入力装置を用いた 3D モデリング

本節では輪型入力装置とこの入力装置を用いた 3D モデリングのインタラクション手法について述べる。さらに、そのインタラクションを可能にするための手のジェスチャ認識手法についても述べる。

3.1 輪型入力装置

輪型入力装置の概要図を図 3 に示す。また本システムの構成を図 4 に示す。輪型入力装置は、複数の距離センサ、加速度センサ、赤外線カメラを備える。複数の距離センサは同心円状に輪の内側を向けて輪型入力装置に取り付けられている。ここで、本稿では距離センサにより構成される同心円状の輪を「センサの輪」と定義する。センサの目的は以下の通りである。

距離センサ 手のジェスチャを認識する。

加速度センサ 輪型入力装置の傾きを認識する。

赤外線カメラ 図 4 に示すように、赤外線カメラはディスプレイに取り付けられた 2 点の赤外線 LED をキャプチャする。赤外線カメラがキャプチャした 2 つの赤外線 LED のカメラ座標から、三角測量により 3 次元のポインティング位置を求める。

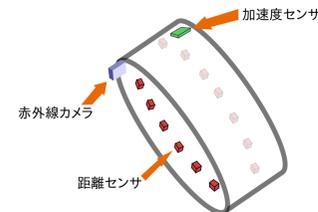


図 3 輪型入力装置の概要図

Fig. 3 Overview of ring shaped input device

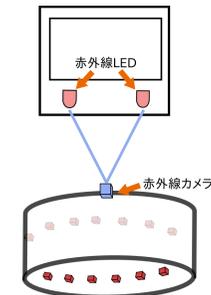


図 4 システム全体の構成

Fig. 4 The composition of our system

提案する輪型入力装置は輪型の「わく」を形作るコントローラであったので、我々はこの入力装置を「わくこん」と名づけた。

3.2 輪型入力装置を用いた 3D モデリングのインタラクション手法

わくこんを用いたインタラクション手法を説明する。ユーザはわくこんを非利き手に把持し、利き手を用いて輪の内側でジェスチャを行う。ユーザは利き手の姿勢変更やジェスチャを行うことによって、3D モデルの移動操作や変形操作などを行う。わくこんを用いたインタラクション手法の具体例を図 5 に示す。図 5a, 図 5b, 図 5c それぞれのインタラクション手法を以下に説明する。

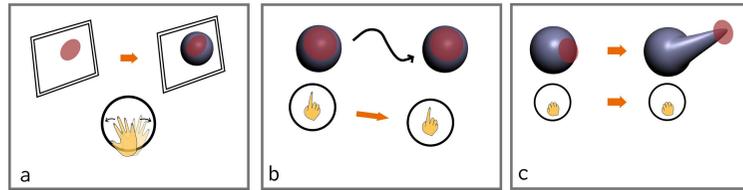


図 5 輪型入力装置を用いたインタラクション手法
Fig. 5 Interaction techniques using our ring shaped input device

図 5a : 3D オブジェクトの生成操作 わくこんをディスプレイに向け、3D オブジェクトを生成したい場所にポインタを合わせる。そして、利き手を周期的に振るとそのポインタ位置に 3D オブジェクトが生成される。

図 5b : 3D オブジェクトの移動操作 移動したい 3D オブジェクトにわくこんを向け、利き手を人差し指を出した姿勢にしわくこんに挿入する。そして、その挿入した状態を保ったまま非利き手を用いてわくこんを移動させると、わくこんの移動方向に 3D オブジェクトが移される。最後に利き手の姿勢を解除すると 3D オブジェクトの位置が確定される。

図 5c : 3D オブジェクトの変形操作 変形させたい 3D オブジェクトにわくこんを向け、手を開いた姿勢にした利き手をわくこんに挿入する。挿入した利き手を閉じた姿勢にすると、掴むジェスチャが行われたとシステムは認識する。ユーザが閉じた姿勢を保ったまま非利き手のわくこんを移動させると、わくこんの移動方向に 3D オブジェクトが変形される。最後に利き手の姿勢を解除すると 3D オブジェクトの変形が確定される。

3.3 輪型入力装置を用いた 3D モデラ

実際に本システムを用いて 3D オブジェクトの変形操作を行っている様子を図 6 に示す。また、ディスプレイ上に表示される 3D モデラの概観を図 7 に示す。図 7 の 3D モデラには、3D オブジェクトとユーザの手姿勢が映っている。手姿勢はわくこんをディスプレイに向けた位置に映し出され、ユーザはこの手姿勢を操作の視覚フィードバックとして受け取りながら 3D モデリングを行う。

3.4 ジェスチャ認識手法

本システムは、手の姿勢とジェスチャを認識する。認識される手の姿勢は、手を開いた姿勢、手を閉じた姿勢、人差し指を出した姿勢であり、これらの手姿勢は機械学習の 1 種である Support Vector Machine(以下 SVM) を用いて認識される。さらに、認識される手姿勢

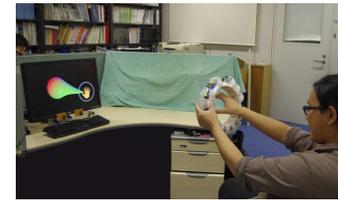
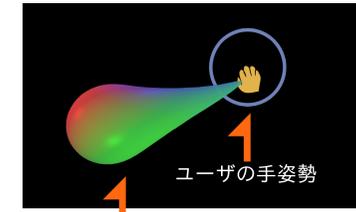


図 6 実際に本システムを用いて 3D モデリングを行っている様子

Fig. 6 Editing a 3D-model using our system



変形させる3Dオブジェクト

図 7 本システムの 3D モデラ概要図

Fig. 7 Overview of the 3D-modeler in our system

を用いて掴むジェスチャ、手を振るジェスチャを認識する。例えば、掴むジェスチャは手を開いた姿勢から手を閉じた姿勢へと手姿勢が遷移した場合に認識される。また、手を振るジェスチャは手を開いた姿勢の場合かつ、手が周期的に振られている場合に認識される。

4. 輪型入力装置のプロトタイプ 1

提案したわくこんを実現するために、我々はわくこんのプロトタイプ 1 を作成した。本節はこのプロトタイプ 1 について述べる。

4.1 ハードウェア

以下に示す作業を行いプロトタイプ 1 のハードウェアを実装した。

- (1) 紙粘土を用いて土台となる輪を作成する。
- (2) 距離センサを土台の輪に埋め込む。
- (3) マイコンと電子部品を配線する。

実装したプロトタイプ 1 の概観を図 8 に示す。プロトタイプ 1 は直径 20cm、総重量 371g の入力装置となった。

距離センサには ROHM 社の RPR-220*1を用いた。RPR-220 は赤外線 LED と光センサから構成されており、赤外線 LED の反射光を光センサがセンシングすることにより距離を測る。プロトタイプ 1 では 16 個の RPR-220 を用いた。また、マイコンには FIO*2を用い、マイコンと計算機間は XBee*3 により無線接続される。

*1 www.rohm.co.jp/products/databook/s/pdf/rpr-220-j.pdf

*2 <http://funnel.cc/Hardware/FIO>

*3 <http://www.digi.com/products/wireless/point-multipoint/xbee-series1-module.jsp#overview>



図 8 実装したプロトタイプ 1 の概観
Fig. 8 Overview of the implemented prototype 1

4.2 ソフトウェア

センシング値を取得する処理を FIO マイコンに実装した。処理の流れを図 9 に示す。処理は図 9a, 図 9b, 図 9c の 3 つの処理から構成される。

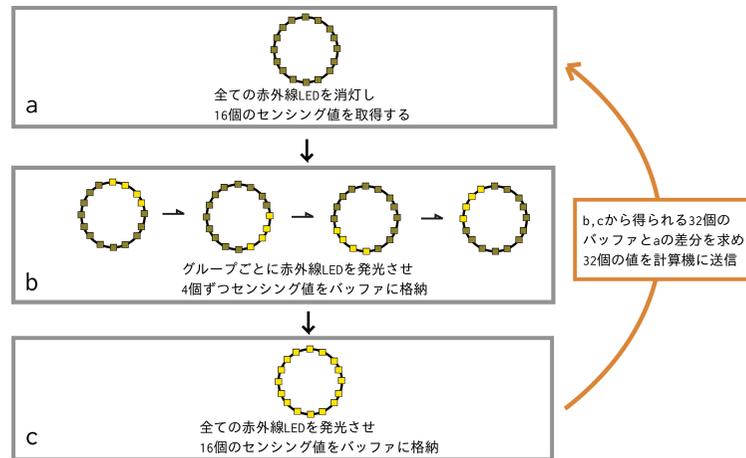


図 9 プロトタイプ 1 におけるセンシング値の取得処理
Fig. 9 Reading process of sensor values in the prototype 1

図 9a では全ての赤外線 LED を消灯しセンシング値を得ることで環境光を取得する。図 9b, 図 9c のセンシング値は環境光と赤外線 LED の影響を受ける。図 9b, 図 9c のセンシング値と図 9a のセンシング値との差分を求めることで、環境光の影響を取り除くことができる。

図 9b では対面赤外光の影響を排したセンシング値を取得する。RPR-220 は赤外線 LED の反射光を光センサで取得し距離をセンシングするので、対面赤外光が点灯している場合正しい距離をセンシングできない。したがって、4 つのグループごとに RPR-220 を駆動させることにより対面赤外光の影響を排したセンシング値を得る。

図 9c では全ての赤外線 LED を点灯させて、対面赤外光の影響を受けたセンシング値を取得する。これにより特徴的なセンシング値を取得でき、この値はジェスチャの認識に有用である。

本稿では、計算機に 1 回送信されるデータの単位を 1 フレームと定める。計算機には毎フレーム 32 個のセンシング値が送信される。

4.3 プロトタイプ 1 を用いた手姿勢及びジェスチャ認識

プロトタイプ 1 の手姿勢認識と姿勢の状態遷移を用いたジェスチャの認識について述べる。

4.3.1 手姿勢認識

手姿勢認識に用いられる SVM は SVM 学習部と SVM 認識部から成る。SVM 学習部ではそれぞれの姿勢ごとに、あらかじめ 32 次元のセンシング値を 60 秒間、各姿勢ごとに 3355 フレーム分学習させ学習モデルを作成する。60 秒間という学習時間は経験的に定めた。この時間の定め方はまず、秒数を小さい秒数に設定し学習させる。そしてその秒数を徐々に大きくし、姿勢の学習に十分である学習時間だと判断できる時間まで大きくしていく。このようにして、60 秒間が姿勢の学習に十分な時間であると判断した。なお SVM 学習は全て著者 1 名が行った。

SVM 認識部では SVM の学習モデルを用いてリアルタイムに姿勢を認識する。

4.3.2 ジェスチャ認識

認識された手姿勢の状態遷移を用いてジェスチャを認識する。プロトタイプ 1 に採用した状態遷移図を図 10 に示す。

図 10 に示される円は、輪に手を入れない、手を開いた姿勢、手を閉じた姿勢、人差し指を出した姿勢をそれぞれ表し、また矢印は状態の遷移を表す。状態間の遷移条件は、前フレームの認識姿勢と現フレームの認識姿勢から定められる。例えば前フレームの認識姿勢が人差し指を出した姿勢の場合、現フレームの姿勢として輪に手を入れない状態が認識されると遷移が行われる。また、前フレームの認識姿勢が手を開いた姿勢かつ現フレームの認識姿勢が手を閉じた姿勢の場合、システムは掴むジェスチャであると認識する。

この状態遷移は認識姿勢のフィルタとしても用いられる。例えば図 10 には、本システムが想定しない人差し指を出した姿勢と手を開いた姿勢の間や、人差し指を出した姿勢と手を

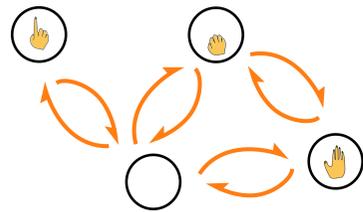


図 10 プロトタイプ 1 における姿勢の状態遷移図
Fig. 10 A state transition diagram of hand postures in the prototype 1

閉じた姿勢の間に状態の遷移がない。現フレームの認識結果が想定しない状態遷移となる場合は、その予測結果を排することで姿勢の認識結果のぶれを防ぐ。

5. プロトタイプ 1 の問題点

実装したプロトタイプ 1 を試用した結果、プロトタイプ 1 には姿勢の認識に関して問題点があることが分かった。図 11 を例に挙げてその問題点を説明する。図 11 の a, b, c は全て手を開いた姿勢であるが、全て異なる姿勢であると認識される。その認識結果はそれぞれ、図 11a が輪に手を入れない、図 11b が手を開いた姿勢、図 11c が手を閉じた姿勢となる。この様に手の挿入位置によって姿勢の認識結果が変化してしまうため、ユーザが意図した姿勢とプロトタイプ 1 が認識する姿勢にズレが生じた。

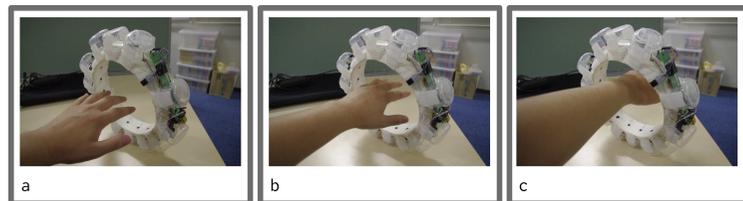


図 11 同一姿勢の手をプロトタイプ 1 に挿入している様子
Fig. 11 Same hand posture inserted into the prototype 1

この問題は我々が提案するインタラクション手法に影響を与える。例えば、ユーザが手を開いた姿勢のまま手を奥にずらしたとする。その場合システムは手を閉じた姿勢と認識し掴むジェスチャが行われたと誤認識する。この誤認識により、ユーザが意図しない変形操作が行われてしまう可能性がある。このことを避けるために我々は次節に示すわくこんのプロト

タイプ 2 を実装した。

6. 輪型入力装置のプロトタイプ 2

我々は、認識範囲を拡大することで 5 節の問題解決を図る。この認識範囲の拡大はセンサの数を 32 個に増やすことにより実現される。プロトタイプ 2 ではこの 32 個の距離センサを 16 個ずつに分け、奥行き方向にセンサの輪を 2 つ配置した。本節ではセンサの数を増やしたプロトタイプ 2 について述べる。

6.1 プロトタイプ 2 の設計

我々はセンサの輪が 1 つであるプロトタイプ 1 を観察し、手を開いた姿勢の場合図 12 のように姿勢の認識結果が変化すると考えた。図 12 はわくこんの挿入位置に対する、手姿勢の認識結果の変化を表すものである。奥行き方向への手の挿入位置に応じて、姿勢の認識結果が手前から輪に手を入れない、人差し指を出した姿勢、手を開いた姿勢、手を閉じた姿勢へと変化する。



図 12 プロトタイプ 1 において、同一の手姿勢に関する姿勢認識の変化
Fig. 12 The Variation of posture recognition with a same hand's posture in the prototype 1



図 13 プロトタイプ 2 の側面図
Fig. 13 Side view of the prototype 2

この観察から手を開いた姿勢は薬指の付け根位置で、その認識結果が手を閉じた姿勢に変化する。そのため、センサの輪を 2 つ使い、手前のセンサの輪が手を閉じた姿勢であると認識する前に、奥のセンサの輪が手を開いた姿勢であると認識するならば、手を開いた姿勢の認識範囲が拡大されると考えた。

以上から、図 13 のようにセンサの輪の間隔を薬指の長さに設定することにより、手を開

いた姿勢の認識範囲を広げることができると考えた。この薬指の長さの平均には著者1名を含む13人の利き手の薬指の長さを測りその平均値を用いた。

6.2 ハードウェア

設計に基づき以下のようにハードウェアを実装した。

- (1) ワイヤを用いて骨組みとなる輪を作成し、そのワイヤに曲がる基板を張り付ける。
- (2) 距離センサを基板に取り付ける。
- (3) マイコンと電子部品を基板に取り付ける。

プロトタイプ2に使用する距離センサやマイコンはプロトタイプ1と同様のものを用いた。実装したプロトタイプ2の概観を図14に示す。プロトタイプ2は直径20.8cm、幅9.2cm、総重量254gとなった。

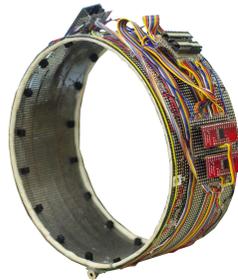


図14 実装したプロトタイプ2の概観
Fig. 14 Overview of the implemented prototype 2

6.3 ソフトウェア

2つのセンサの輪に対してプロトタイプ1と同様の処理を実装した。つまりそれぞれのセンサの輪に対して、背景差分のための環境光取得、対面の影響を排したセンシング値の取得、対面の影響を受けたセンシング値の取得の3処理を行う。計算機には2つの輪の値をまとめて、毎フレーム64個のセンシング値が送信される。

6.4 プロトタイプ2を用いた手姿勢及びジェスチャ認識

プロトタイプ2はプロトタイプ1と同様に認識された手姿勢の状態遷移を用いてジェスチャを認識する。

6.4.1 手姿勢認識

プロトタイプ2では2つのセンサの輪に対してそれぞれ別々にSVM学習モデルを作成

する。このSVM学習用データとしてプロトタイプ1と同様に各姿勢ごと60秒間すなわち、フレーム数にして1730フレーム分取得した。

SVM認識も2つのセンサの輪ごと別々に行われ、最終的な手姿勢の認識結果は2つの認識結果を統合して出力される。その統合処理は以下の通りとなる。

- (1) ユーザに対して奥のセンサの輪が手姿勢を認識している場合は、その認識結果を採用する。
- (2) それ以外は手前の認識結果を採用する。

6.4.2 ジェスチャ認識

プロトタイプ2における姿勢の状態遷移図を図15に示す。この状態遷移図は2つの円の組みと矢印から構成される。円の組みの左はユーザに対して手前側の認識結果を表しており、右はユーザに対して奥側の認識結果を表している。また矢印は状態の遷移を表す。状態間の遷移条件は、プロトタイプ1と同様に前フレームの認識姿勢と現フレームの認識姿勢から定められる。例えば前フレームの認識姿勢が図15hの場合、現フレームの姿勢として図15gまたは、図15eが認識されると状態が遷移される。掴むジェスチャは前フレームと現フレームの組みが、図15cと図15aまたは図15fと図15bの場合に認識される。

プロトタイプ1と同様に状態遷移は認識姿勢のフィルタとして用いられる。

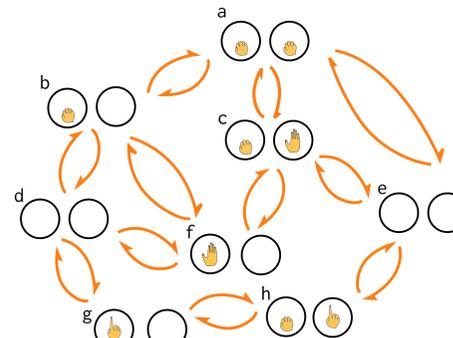


図15 プロトタイプ2における姿勢の状態遷移図
Fig. 15 A state transition diagram of hand postures in the prototype 2

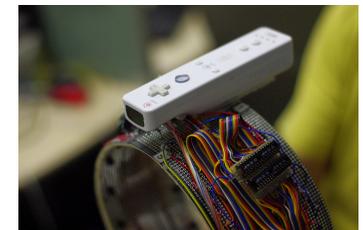


図16 Wii Remoteを取り付けられたプロトタイプ2
Fig. 16 Prototype2 attached a Wii Remote

7. 手姿勢に関する評価実験

本システムでは手姿勢を認識し、それに基づいて手のジェスチャを認識する。そのため手姿勢の認識率はユーザビリティに大きく影響を与える。我々は手姿勢に関する評価実験を行った。本節では、評価実験の条件とタスクを述べた後、その結果と考察を述べる。

7.1 実験条件

着座姿勢の被験者5名を対象にして実験を行った。実験に使用する入力装置はプロトタイプ1とプロトタイプ2である。またプロトタイプ2には赤外線カメラが実装されていなかったため、実験のため図16に示すように、Wii Remote*1を取り付けた。

実験は室内にて行った。実験機器には24インチディスプレイと、インテル(R) Core(TM)2 Quad Q9550(2.83GHz×4)及び4GBのメモリを搭載した計算機を用いた。被験者とディスプレイ間の距離は実際にわくこんを使用する距離である110cmとした。

7.2 実験タスク

実験のタスクには2つのタスクを設けた。1つはわくこんを静止し続けた場合の手姿勢の認識率を測るタスクである。もう1つはわくこんを動かした場合の手姿勢の認識率を測るタスクである。前者をタスク1、後者をタスク2とする。どちらのタスクにおいても、ディスプレイへわくこんを向けた位置に認識された手姿勢が表示され、被験者はこの表示を視覚フィードバックとして受け取りタスクを行う。それぞれのタスクにおいて測定する手姿勢は手を開いた姿勢、手を閉じた姿勢、人差し指を出した姿勢の3つである。

実験タスクの順番、使用するわくこんの順番、測定する手姿勢の順番はバランスを取るため、被験者ごとそれぞれランダムに設定した。また、被験者はタスクを開始する前にプロトタイプ1とプロトタイプ2を用いて練習を行う。タスク1、タスク2の具体的な流れを以下に説明する。

タスク1 (1) 実験者(本論文の著者1名)が被験者に手姿勢を指示する。

- (2) 被験者は非利き手にわくこんを把持し、利き手を指示された手姿勢にする。
- (3) 被験者はディスプレイに映し出された手姿勢が、指示された手姿勢であると確認した後フットスイッチを押す。
- (4) フットスイッチを押してから5秒間わくこんを静止し続け、できるだけ手姿勢を保つ。

- (5) 1~4を3つの姿勢と2つのプロトタイプ全てに対して行う。

タスク2 (1) 実験者が被験者に手姿勢を指示する。

- (2) 被験者は非利き手にわくこんを把持し、利き手を指示された手姿勢にする。
- (3) 被験者はポインタをディスプレイ端に移動させる。
- (4) 被験者はディスプレイに映し出された手姿勢が、指示された手姿勢であると確認した後フットスイッチを押す。
- (5) 手姿勢を保持したまま、出来るだけ速くわくこんを動かしディスプレイの端から端まで左右に10往復する。なお、被験者はディスプレイに表示されるポインタとディスプレイの端が衝突した際に折り返す。また、往復中被験者はフットスイッチを押し続ける。
- (6) 5を上下方向にも同様に行う。
- (7) 1~6を3つの姿勢と2つのプロトタイプ全てに対して行う。

7.3 実験結果

タスク1の実験結果を図17、タスク2の実験結果を図18にそれぞれ示す。それぞれの図は各タスクから求めた認識率の平均値と標準偏差を表す。

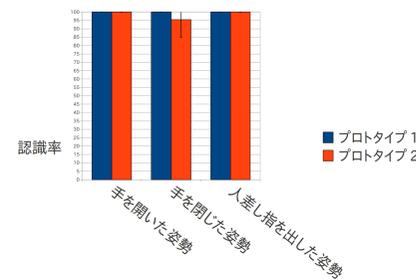


図17 タスク1の実験結果
Fig. 17 The result of experimental task 1

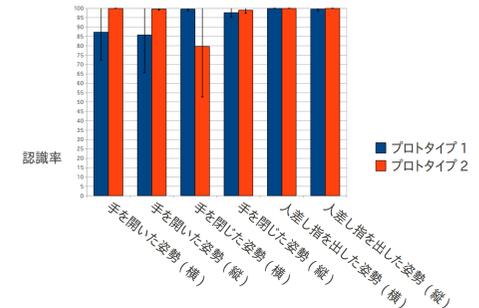


図18 タスク2の実験結果
Fig. 18 The result of experimental task 2

タスク1の認識率は、プロトタイプ2の手を閉じた姿勢以外、全て100%であった。プロトタイプ2の手を閉じた姿勢の認識率は一人の被験者が76.8%であったことを除き、他の被験者は100%であった。

タスク2の認識率に関して、人差し指を出した姿勢の認識率は全ての被験者に対して両

*1 http://www.nintendo.co.jp/wii/features/wii_remote.html

プロトタイプとも 98%以上であった。

全ての被験者の手を開いた姿勢の認識率は、プロトタイプ 2 では 98%以上であった。これに対しプロトタイプ 1 では、横方向移動に関して全ての被験者の認識率がプロトタイプ 2 を下回り、平均 87%となった。

手を閉じた姿勢の横方向移動に関して、プロトタイプ 1 では全ての被験者の認識率が 98%以上であった。これに対しプロトタイプ 2 では、全ての被験者の認識率がプロトタイプ 1 の認識率と同様か下回るものとなり、平均 80%となった。

7.4 考 察

タスク 2 の手を開いた姿勢と手を閉じた姿勢の実験結果について考察を行う。

手を開いた姿勢の横方向移動に関して、プロトタイプ 2 の認識率はプロトタイプ 1 を上回った。この結果はプロトタイプ 2 の設計を反映しているものである。センサの輪を 2 つ配置することにより手を開いた姿勢の認識範囲が広がった。そして非利き手がわくこんを動かした場合においても、プロトタイプ 2 の手を開いた姿勢はプロトタイプ 1 よりもロバストに認識される。

これに対し手を閉じた姿勢の場合、横方向の移動に関してプロトタイプ 2 の認識率が下回った。この原因としては距離センサの指向性とセンサの輪の間隔が挙げられる。今回プロトタイプ 2 には指向性が狭い RPR-220 を使用し、センサの輪の間隔は人差し指の長さを用いた。このプロトタイプ 2 に手を閉じた姿勢を挿入した場合、図 19 の様にセンサの検出範囲と手が衝突する。この時奥のセンサの輪に手の先端部分が衝突し、奥の輪は手を開いた姿勢であると誤認識する。そのためプロトタイプ 2 の最終的な認識結果は手を開いた姿勢と誤認識される。

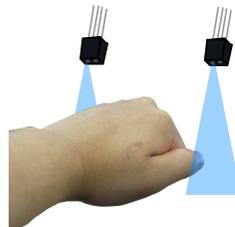


図 19 センサの検出範囲と手の衝突

Fig. 19 A collision of the sensor's measuring range and a hand

図 19 に示すようにセンサの検出範囲にオーバーラップする部分が無い場合、認識アルゴリズムをいくら工夫しても手の挿入位置によっては曖昧なセンシング値が出力されユーザの意図しない手姿勢が認識される。したがって手姿勢の認識率を向上させるためには、使用する距離センサを指向性が広いものに変更するか、またはセンサの輪の間隔を狭める必要がある。

8. おわりに

本稿では、わくこんの 2 つのプロトタイプに関してそのハードウェアやジェスチャの認識手法を述べた。そして、評価実験を通して手を開いた姿勢の横方向移動に関しては、プロトタイプ 2 の認識率がプロトタイプ 1 よりも高いことを確かめた。しかしながら、手を閉じた姿勢の横方向移動に関しては、プロトタイプ 2 の認識率が下回る結果となった。

今後は使用する距離センサの指向性を広くする、センサのレイアウトや駆動方法を工夫するなどの改良を行い、手の姿勢とジェスチャの認識率をさらに向上させたい。

参 考 文 献

- 1) Gross, M.D. and Kemp, A.J.: Gesture Modelling : Using Video to Capture Free-hand Modeling Commands, *Computer Aided Architectural Design Futures 2001: proceedings of the Ninth International Conference*, pp.271-284 (2001).
- 2) Moeller, J. and Kerne, A.: ZeroTouch: a Zero-Thickness Optical Multi-Touch Force Field, *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems*, CHI '11, pp.1165-1170 (2011).
- 3) Murakami, T. and Nakajima, N.: Direct and Intuitive Input Device for 3-D Shape Deformation, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, CHI '94, pp.465-470 (1994).
- 4) Nagashima, Y.: Untouchable Instrument "Peller-Min", *Proceedings of the 2010 conference on New Interfaces for Musical Expression*, NIME '10, pp.387-390 (2010).
- 5) Nishino, H., Utsumiya, K. and Korida, K.: 3D Object Modeling Using Spatial and Pictographic Gestures, *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '08, pp.51-58 (1998).
- 6) Smith, R.T., Thomas, B.H. and Piekarski, W.: Digital Foam Interaction Techniques for 3D Modeling, *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '08, pp.61-68 (2008).
- 7) 大江龍人, 志築文太郎, 田中二郎: わくこん: 3D モデリングのためのわく型入力装置, 情報処理学会第 73 回全国大会, Vol.4, 社団法人情報処理学会, pp.213-214 (2011).