非接触型インタフェースを用いたソフトウェアの開発

A Development of Application Software by using Non-contact Input System

米村 貴裕 Takahiro YONEMURA

広瀬 健一 Kenichi HIROSE

古川 耕平 Kohei FURUKAWA

長江 貞彦 Sadahiko NAGAE

概要

筆者らは CCD カメラを用いて、ユーザの指先や頭部の動きやジェスチャを認識するシステムを開発している。本システムを用いることで、ユーザはマウスやキーボードを用いることなくパーソナルコンピュータを操作できる。また、空間に文字を描き示すことで、文字の入力を可能にした。これにより既存の OS との互換も図った。一方、本システムに対応した 3DCG モデリングソフトウェアと教育用コンテンツを開発した。これらはユーザのジェスチャに対応して操作でき、また、物を観察するときに行なう「覗き込み」の機能を付加することで、ユーザの好奇心の持続に役立てることができた。このようなユーザに優しいインタフェースを用いるソフトウェアにより、初心者も 3DCG や図形情報処理に親しむことができると確信している。

キーワード：インタフェース／非接触／ジェスチャ／モデリング／教育

Abstract

We developed a non-contact typed human interface system which can be realized to operate a conventional personal computer by using user's fingertip and the gesture of a head inclination angles informed through one CCD camera. Furthermore, a user can perform the operation of intuitive modeling by drawing according to show a figure by the user's fingertip, as a user is moving the head. Thus the system can change the angle of a modeling object, where the system works on the OS using a mouse and a keyboard, because the input of the character and clicking are possible. By this system, a new interactive educational software can be applicable to the human interface fields. And the results of this software can be evaluated as an effective learning. Consequently, we confirmed the utility and possibility of this non-contact interface.

Keywords: Interface / Non-contact / Gesture / Modeling / Education

1. はじめに

本稿では、筆者らが開発した非接触型ヒューマンインタフェースを利用し、ユーザのジェスチャや頭部の動きで図形のモデリングやオブジェクトの操作を行うソフトウェアについて論ずる。現在、パーソナルコンピュータは低価格化とネットワーク環境の普及に伴い、一般家庭のみならず公共施設でも頻繁に利用されている。また、処理能力の向上に伴い、臨場感のある動画像を容易に扱える環境が整った。このように、ハードウェアの性能は日進月歩の進化を遂げているが、それらを操作するインタフェースは依然マウスやキーボードが主体である。そこで筆者らは、ユーザのジェスチャによる、あいまいな指示をパーソナルコンピュータ側が解釈し、それを元に図形やコンテンツの操作を行えるインタフェースを開発した。これにより、ユーザは複雑な操作手順やマニュアルを覚える必要がなくなり、また、マウスを使った微妙な操作やキー入力操作を少なくできる^{[1][2]}。したがって、身体に障害をもつユーザを含め、エンドユーザの操作回数や手順を減らすことで、負担の少ないインタフェースを提供できると筆者らは考えている。今回は、IT 教育現場で推進されているコンピュータ・グラフィックスや教育用コンテンツに絞って、ジェスチャによる操作の提案と応用例を示した。開発したシステムでは、小型のカメラを用いてユーザの動きを捉え、その動きを元にパーソナルコンピュータの操作を行う。このようなシステムは、ユーザにマークをつけ動作を識別するものや、特殊なカメラ、複数のカメラを用いるものなどが研究されている^{[3]~[7]}。また、音声を用いたインタフェースは一部で実用化^[5]されている。だがユーザは、新しい操作に慣れる、環境を整えるなどの作業を行わねばならず利便性の面から普及しているとは言い難い。そこで本システムでは、利便性の課題や実用化を踏まえて開発の重点を以下においた。

- (1) 特殊な機器や環境を用いず、ユーザにインタフェースを意識させないシステム構成。

(2) ユーザの直感的なジェスチャや頭部の動きによる
図形の描画やコンテンツ操作の実現。

(3) 既存のオペレーティングシステムとの共存。

まず、画像の入力には廉価な CCD カメラを 1 台のみ
使用し、インタフェースの存在を意識させないため、
ユーザにマークや特殊な機器の装着を必要としないシス
テムとした。また、背景の状態に左右されにくい画像処
理手法を考案した。次に、ユーザの指先や頭部のジェス
チャに着目し、それらの動きに対応するコマンドを実行
できるようにした。これらを用いて、図形のモデリング
やコンテンツを直感的に操作する環境を提案する。最後
に、(3)を実現するため、ユーザの指先と画面のポインタ
との動きを連動させた。これは、非接触型インタフェー
スで多く用いられているカーソルを移動してソフトウェ
アを操作する方式^[8]に比べ、ポインティングで示す位置
が微動する点から操作性の低下が問題であった。本シス
テムでは分散を用いた微動を抑える処理を施すことで、
微動を防ぎスムーズな操作を可能とした。一方、空間に
指先で文字を描き文字の入力を行う機能^[8]を付加し、既
存のオペレーティングシステムとの親和性を高めた。本
システムの動作を確認するため、非接触型の 3 DCG モ
デリングソフトウェア^{[9][10]}と、ユーザの「覗き込み」
を可能にする、インタラクティブ性のある教育用コンテ
ンツを試作し、図形描写とコンテンツ操作時における可
能性を検証した^[11]。以下に、詳細を述べる。

2. システムの構成

非接触入力システムのハードウェアとソフトウェアの
構成を以下に示す。

2.1. ハードウェアの構成

本システムの概観を図 1 に示す。本システムでは
USB 接続の小型 CCD カメラ (CREATIVE 社製 Web-
Cam3) 1 台と、パーソナルコンピュータ (DOS/V 機・
Pentium4 1.8GHz・Windows 2000・256 MB-RAM)、
ディスプレイとで構成される。CCD カメラはユーザの
頭部と手の動きを入力できる場所として、ディスプレイ
上部に設置した。CCD カメラからの入力画像は RGB
各 16 階調、フレームサイズは横 320×縦 240 pixel とす
る。ディスプレイ上には作業の邪魔にならないように縮
小した入力画像を表示する。

図 1 システムの概観

2.2. ソフトウェアの構成

ユーザが非接触でパーソナルコンピュータを操作する
際には、筆者らが開発した入力画像を処理する専用のソ
フトウェア (以下、非接触入力ソフトウェアとする) を
用いる。一方、ユーザのジェスチャを用いた非接触のモ
デリングやコンテンツの操作を行うには、本システムに
対応したソフトウェアを非接触入力ソフトウェアと併用
する。図 2 に、ソフトウェアの構成例を示す。

図 2 ソフトウェアの構成例

3. ユーザの頭部と指先の認識

非接触入力ソフトウェアでは、以下の処理を行う。

- (1) 差分による背景部分の除去。
- (2) ラベリング処理と各部位の結合処理。

本処理により、画像にノイズがある場合の認識精度
を向上させた。

- (3) 分散による“円形度”の算出。

ラベリング領域に対し、独自手法を用い“円形度”
を算出し、顔と手の区別を行った。

- (4) 平均化処理による微動への対応。

これにより、ポインティング精度の向上を図った。
以下に詳細を述べる。

3.1. 差分による背景の除去

非接触入力ソフトウェアを起動すると、ユーザが映っていない背景だけの画像（以下、背景画像とする）の取得が開始される。背景画像の取得後は、入力画像と背景画像との差分処理を行う。この処理により変動の小さい部分を背景とみなし、図3のように除去する。また、微細な欠落は膨張収縮処理により軽減させている。

図3 差分処理後の画像と背景画像

3.2. ラベリングと形状の認識

本ソフトウェアでは、図4のように差分処理により残された領域のラベリングを行う。このとき、重なり合う矩形や近くにある矩形を1つの領域とみなしラベリングし、複数の小さな領域を可能な限り大きな領域に結合する。これにより、入力画像に多くのノイズ（領域）が存在しても、輪郭形状を認識しやすくなる。結合後は面積の大きい順に再びラベリングを行う。次に、多数の探索点を用いた輪郭形状の認識処理を行う。これは、ラベリング結果が図5のような場合、各ラベリング領域の外周部から多数の探索点を内側へ向けて移動させる。この探索点が背景以外の部分に達したときは、その位置をメモリに格納し処理を終える。探索点が移動できなくなるまで、この処理を繰り返す。本手法の利点は、ラベリン

図4 入力画像のラベリング例

図5 形状の認識

グ領域の周囲を走査して形状を求める一般的な手法に比べて、ラベリング領域に欠落部分が存在していても大まかな形状を把握できる点にある。以後、探索点の位置により、探索点同士のつながりを判断し輪郭形状を求める。この際、明らかに連続性のない位置（欠落部分）にある探索点は排除する。

3.3. 分散による円形度の算出

ユーザの手と頭部は、独自に定義した“円形度”の値と直線部分の有無で判定する。円形度の算出には、まず、ラベリング領域の重心点を求める。次に、各探索点の位置と重心点との距離の分散を求める。一般に、頭部は丸みを帯び極端に歪な形状にはならない。そのため、重心点と探索点との距離の差は比較的近い値となり、これらの分散の値も小さくなる。一方、指を伸ばした手やそれ以外の領域の場合、形状が歪になることから分散の値は頭部に比べ大きくなる。頭部や顔の認識手法^[12]は多数研究されているが、ユーザがパーソナルコンピュータの操作をする際はディスプレイ（カメラ）を向いている点と、表情を操作に利用しない点、頭部の丸みを利用する点により複雑な画像処理を簡略化し、高速な頭部認識を可能とした。特に、頭部と手など、ラベリング領域が複数ある場合には、値を比較することで認識の目安とできる。表1にラベリング領域による“円形度”の違いを、図6に指先と頭部の画像を示す。

表1 検出結果

ラベリング領域	円形度の値	結果
1	259	指
2	49	頭部

図6 指先と頭部の比較

3.4. 直線の検出

指先の認識精度を高めるために、ラベリング領域内で直線の検出処理を行っている。直線の検出にはハフ変換^[13]など様々な手法が考案されているが、本ソフトウェアでは探索点の連続性により直線を検出した。これは、探索点同士のベクトルを求め、一定の方向に連続している点を結んでいく処理である。これにより、図7のように多数の欠落領域が存在しても、直線の検出が行える。

図7 直線の検出

3.5. 微動への対応

図8のように、認識した指先の位置は入力画像の状態に従って、たえず微動している。また、指先の状態により突発的に誤った位置を検出する場合がある。これらに対応するため、本ソフトウェアでは指先位置の分散と方向ベクトルを利用した。これは、まず数フレーム前までの指先位置を保存しておき、これらの分散を求める。次に、分散の値が閾値以下でかつ、指先の前位置と前々位置の方向ベクトルも閾値以下の場合には、指先の位置は変化していないものとする。これにより、指先位置の微動を抑える工夫を施した。

図8 微動への対応

4. 非接触入力ソフトウェアの利用方法

背景画像の取得後は、図9、図10に示すように、ユーザの指先の動きが画面のポインタの動きと連動する。クリックの操作は、図11のように指を丸めた後に伸ばすことで行う。ダブルクリックは、クリックを2回繰り返すことで行う。認識可能なジェスチャは表2にまとめた。一方、指を伸ばさない状態にし続けるとポインタとの連動は行われない。これにより、必要なときのみポイ

図9 ポインタとの連動1

図10 ポインタとの連動2

図11 クリック

ンタとの連動が行え、ユーザの腕の負担を減らすことができる。なお、上記の動作に対応したコマンドの発行は、ユーザの環境に合わせた設定に変更可能である。

次に、文字の入力は、指先で文字の形状を描き示すことで行う。例えば、指先を図12のように動かすことで、“2”などの大文字英数字を入力できる。また、指先を“J”型に動かすことで、Enter キーを押したときと同様の処理が行える。この際、文字の認識処理には、英数字の線分を8方向のチェーン符号で定義した文字テーブルと指先の動きとを比較することで行っている。本機能と前述のクリックとを併用することで、現在マウスやキーボードで行っている操作を非接触状態で実行可能にした。

図12 文字の入力

表2 ジェスチャのコマンド

指先の動作	出力されるコマンド
指を丸めた後に伸ばす	クリック
上記動作を2回行う	ダブルクリック
指を垂直方向に対して20度以上傾けて動かす	ドラック
左回転	操作の取り消し (Esc)
右回転	実行 (Enter)
左右へ素早く	アングルを左右する
上下に素早く	アングルを上下する
両手を上げる	モード切替 (認識停止)
「」状に動かす	改行 (Enter)
文字を描き示す	文字コード

5. システムの動作検証

以下の項目を検証した。

- (1) 顔と頭部の認識率
- (2) 処理速度
- (3) クリックの認識率
- (4) 数字の認識

まず、非接触入力ソフトウェア起動後、蛍光灯下の研究室内で頭部と指先の認識率を数十人に対して各10回ずつ調べた。5秒以内に指先もしくは頭部を認識できなかった場合を0%とし、その平均を求めると認識率は88%で、処理速度の平均は9fpsであった。顔と手が重なった状態や、照明と手の位置による影が生じた場合、位置を誤認識する場合が見られた。これらに対処するため、指先が瞬間的に別の位置に移動したと判定した場合はポインタを移動しないよう対処している。なお、指先の位置を正常に検出している状態で、クリックのジェスチャを行った場合の認識率は、先程と同じ条件下において、平均92%、任意の数字0～9を描き示した場合の認識率は10回の試行で平均80%であった。

6. 非接触入力ソフトウェアの評価

本システムは、文字の入力やクリックなど一般的に用いられているインタフェースとの共存を図りながら、ジェスチャによる感覚的な操作にも対応する。このため、非接触型のインタフェースとして暫定的ながらソフトウェアの操作が行えた。逆に、ジェスチャによる操作が不要な場面では、従来のマウスやキーボードでの操作も可能である。このように補助的なインタフェースとしての役割も担える点から、マウスやキーボードとの互換を保ちつつ、次世代のインタフェースとしての活用が期待できる。

7. モデリングソフトウェアへの応用

非接触入力ソフトウェアと、筆者らが開発したモデリング用ソフトウェア^[14]とを併用することで、ユーザのジェスチャに対応した3Dオブジェクトのモデリングが行える。例えば、図13のように指先で作成するオブジェクトの輪郭形状を描き示すと、曲線の特徴部分を走査し、一定の高さを加えた3Dオブジェクトを作成できる^[15]。高さは作成後にツールバーを操作することで変更できる。加えて、本モデリングソフトウェアは、ユーザ頭部の動きと連動する。これは、現実世界において形のあるモデルを作成していく人間の動作に着目したものである。一般に、モデルを作成していくとき、ユーザは頭部を動かして、たえずモデルを眺める角度を変えながら作業を行っていく。これに類する機能をモデリングソフトウェアに搭載し、作業の効率化を図った。ユーザは、図14のように画面に対し頭部を上下左右に動かすと、その動きに対応して、画面上のオブジェクトの表示アングルが変化する。この連動は、両手を上げる動作で実行、不実行の切り替えができる。また、手を左右に素早く動かすジェスチャを行うと、オブジェクトの表示アングルを大きく変えることができる。

図13 オブジェクトの作成

図14 頭部との連動

8. 教育用コンテンツでの利用

国家レベルでIT化が促進される中、教育用コンテンツの需要は日々高まっている。そこで、図15に示すような、非接触入力ソフトウェアを利用する教育用コンテンツを試作した。本コンテンツでは、遺伝子組み換え技術

を説明する動画の再生時、図16に示すような、ユーザの頭部の動きによって画像の表示アングルを変化させることができる。これは、人間が物を観察する際に行う「覗き込み」の動作に着目したものである。頭部の動きをインタフェースとして利用する研究^[16]も行われているが、画像の表示アングルと連動させた教育コンテンツは初の試みである。特に、「覗き込み」の動作はユーザの好奇心の喚起や興味の持続にも有効ではないかと考えた。そこで、本コンテンツを用いて男女計111名（内理系男子学生61名、文系女子学生50名）に対し主観調査を実施した。その結果、“「ユーザ参加型」のコンテンツは、映像を用いただけのものより分かりやすいと思いますか？”との問いに対し94%のユーザから分かりやすいという肯定的な回答を得た。回答をさらに考察すると、一方的に情報を提供するだけではなく、必要な情報をインタラクティブに引き出せる（今回は、観察対象のアングルをユーザが自由にできる）点と、マウスやキーボードなどのインタフェースを意識せず、ユーザが自然な形で観察が行えるようにした点が評価されていた。多人数での閲覧が困難な点などの課題はあるが、老若男女の使用が見込まれる教育用コンテンツへ非接触型のインタフェースを応用することは、意義があり有益であると確信している。今後有効性を調査していく予定である。

図15 非接触型の教育用ソフトウェア

図16 覗き込みの動作

9. むすび

廉価で特殊な機器や環境を用いない、非接触型のイン

タフェースを開発し、モデリングソフトウェアや教育用コンテンツへ応用できた。認識率向上などの課題はあるが、ユーザの感覚的なジェスチャや「覗き込み」の動作をインタフェースに取り入れることで、旧来のインタフェースとは異なる、ユーザ主体の操作環境を実現できたと考えている。今後は、課題の解決と共に、前後の操作の流れからジェスチャの意味を理解し、より自然な操作に結び付ける知性的なインタフェースとなるよう研究を進めていく。

謝辞

本研究の遂行に当たりご協力いただきました、有限会社イナズマの徳山和宏氏に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 岸本, 米村, 広瀬, 長江: カーソル移動方式による視線入力システムの開発, 映像学誌, 55, 6, pp.917-919 (2001)
- [2] 久保, 寫田, 藤野, 大塚: 首振り動作による障害者用PC操作支援ツールの検討, 信学技法, HCS2000-5, pp.29-36 (2000)
- [3] 齋藤, 佐藤, 小池: Perceptual Glove: 多視点画像に基づく手形状・姿勢の実時間入力とその応用, 情処学論, 43, 1, pp.185-194 (2002)
- [4] 沼崎, 森下, 梅木, 土井: ジェスチャ入力に適した画像入力装置の提案とその3次元情報検出性能の検討, 情処学論, 41, 5, May (2000)
- [5] 亀山研一, 吉田充伸: Finger-mount デバイスを用いた装着型システム, ヒューマンインタフェース, 82, 3, pp.13-15 (1999)
- [6] 内海, 大谷他: 多数カメラを用いた手形状認識法とその仮想空間インタフェースへの応用, 情処学論, 40, 2, pp.585-593 (1999).
- [7] 伊田, 森, 中村, 鹿野: 据置き型情報提供端末向き雑音処理を用いた音声入力インタフェース, 情処学論, J84-D-II, 6, pp.868-876 (2001)
- [8] 高木啓伸: 視線の移動パターンに基づくユーザの迷いの検出—効果的な作業支援を目指して, 情処学論, 41, 5, May (2000)
- [9] 米村, 広瀬, 長江: 非接触入力システムと簡易形状モデルに関する考察, 図学研究, 28, 4, pp.17-23 (1998)
- [10] T. Yonemura and S. Nagae: Design Procedure on a Newly Developed Paper Craft, Journal for Geometry and Graphics, 4, 1, pp. 99-107 (2000)
- [11] K. Furukawa, K. Watanabe, S. Nagae: Educational Audiovisual Media for Comprehension of Genetic Engineering, Proceedings of the 5th Japan-China Joint Conference on Graphics Education, 3, p190 (2001)

- [12] 海老根, 池田, 中村, 基準表情からの顔部位変化の追跡に基づく表情認識, 電気学会誌, pp.471-483 (2001)
- [13] D. Ioannou, W. Huda and A. F. Laine: Circle recognition through a 2D Hough Transform and radius histogramming, Image and Vision Computing, 17, 1, pp. 15-26 (1999)
- [14] 米村貴裕: 電子ペーパークラフト「紙龍」, 同文書院 (2000)
- [15] 吉森, 松宮, 岩佐, 竹村, 横矢: 2次元平面と3次元空間の組み合わせによるモデリング環境, 信学技報, MVE99-65, pp.13-19 (2000)
- [16] Charles, S. Wiles, M. Atsuto, N. Matsuda: Hyperpatches for 3D Model Acquisition and Tracking”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 23, 12, pp. 1391-1403 (2001)

●2002年8月9日受付

よねむら たかひろ

1998年, 近畿大学生物理工学部電子システム情報工学科卒業。2000年, 同大学院電子システム情報工学専攻修士課程修了。現在, 同大学院電子システム情報工学専攻博士後期課程在学中。ヒューマンインタフェース, 画像処理, CGの研究に従事。

ひろせ けんいち

1986年, 大阪市立大学工学部電気工学科卒業。1988年, 同大学大学院工学研究科前期博士課程電気工学専攻修了。同年, 産業技術短期大学電気工学科助手。1998年, 同学情報処理工学科講師となり, 現在に至る。ヒューマンインタフェース, 画像処理, CGの研究に従事。

ふるかわ こうへい

2000年, 近畿大学九州工学部産業デザイン学科卒業。2002年, 近畿大学大学院生物理工学研究科電子システム情報工学専攻工学修士。現在, 同大学院博士後期課程在学中。デジタルアーカイブ, 3DCG, 画像処理の研究に従事。

ながえ さだひこ

1976年3月大阪府立大学大学院博士課程終了。現在, 近畿大学生物理工学部電子システム情報工学科教授。工学博士。主として, 図学, 画像処理, マルチメディアの研究に従事。