

Narrative Hand : 高速な手指認識システムの メディアアートへの応用

中西 泰人[†] 岡 兼 司^{††} 倉 持 正 之^{†††}
松 川 昌 平^{†††} 佐 藤 洋 一^{††} 小 池 英 樹[†]

本稿では、画像処理技術による手指認識を用いたメディアアート作品の制作について述べる。我々の開発してきた手指認識システムは、赤外線カメラを用いた画像処理にカルマンフィルタを用いることで高速でロバストな手指認識を実現し、ジェスチャの認識だけでなくジェスチャを行う速度の判別が可能になった。このシステムを入力として用いることで、鑑賞者が手を速く握ったか/ゆっくりと握ったかを識別し、その結果を映像の切替えに用いた作品である Narrative Hand を制作した。鑑賞者が速く手を握った場合には物を速く握りつぶす実写映像を、ゆっくりと手を握った場合には物をゆっくりと握りつぶす実写映像を提示する。本作品では、物を壊すという行為における動作の速度の違いがもたらす感情の差違を鑑賞者に感じてもらうべく、提示する映像としてはトマトやキウイなどの半液状の中身を皮膜が被っている食物もしくは豆腐や乾麺などの壊れやすい食物を手によって握りつぶす実写映像を用いた。当作品は ACM SIGGRAPH Emerging Technologies において 6 日間の展示を行い、多くの鑑賞者が作品を体験した。

Narrative Hand: Applying a Fast Finger-hand Tracking System for a Media-art Work

YASUTO NAKANISHI,[†] KENJI OKA,^{††} MASAYUKI KURAMOCHI,^{†††}
SHOHEI MATSUKAWA,^{†††} YOICHI SATO^{††} and HIDEKI KOIKE[†]

This paper describes production of a media art work which used finger recognition by image processing technology. We have developed a vision-based finger-tracking system which utilizes an infrared camera and Karman filter. It is a stable and fast finger-tracking, and is able to recognize not only gestures but also the speed of gestures. Our work, called "Narrative Hand", switches movies to show with distinguishing whether an appreciation person grasps his/her hand fast or slowly. This work aims that an appreciation person feels a difference of feeling that the speed of the action in crushing objects brings, and it shows the picture which a person smashes an object like a tomato, a kiwi or tofu. When an appreciation person grasps her hand fast, our system shows a movie that an object is smashed fast. When she grasps her hand slowly, it shows one that an object is smashed slowly. Our work was exhibited for six days at ACM SIGGRAPH Emerging Technologies, and a lot of persons experienced and enjoyed it.

1. はじめに

Augmented Reality (AR) や Perceptual User Interface (PUI), Virtual Reality (VR) などの研究分野において、画像処理技術を用いてジェスチャ認識や物体認識することによってインタラクティブなシステ

ムを構築する研究がさかんに行われている^{2),6),9),11)}。我々も、実世界指向の机型インタフェースの構築を目的として、赤外線カメラから入力された画像から手指の位置を高速に認識し、また、カラー CCD カメラから入力された画像から実物体の位置および種別を認識するシステムである EnhancedDesk を開発してきた^{1),3)}。このシステムにおいては、カルマンフィルタを用いることで手指の位置および軌跡を安定かつ高速に検出し、隠れマルコフモデルを用いることでそれらの情報から手指によるジェスチャの認識をすることが可能となっている⁴⁾。

メディアアートの分野においても画像処理技術は多

[†] 電気通信大学大学院情報システム学研究科
Graduate School of Information Systems, University of
Electro-Communications

^{††} 東京大学生産技術研究所
Institute of Industrial Science, University of Tokyo

^{†††} ゼロスタジオ
000 STUDIO

く用いられており^{5),7),10),12)},鑑賞者の行為により相互作用するシステムの入力としての画像処理技術の精度および速度は日々向上しつつある。しかし,従来の作品では鑑賞者の身体のシルエットや手および腕の位置,手などによるジェスチャの認識を用いているものが多く,またその処理速度は十分に高速であるとはいえない。ARやComputer Visionの分野における画像処理システムではリアルタイムで動作するシステムが存在するものの,そうした研究とのコラボレーションによる作品制作の機会を持つことが困難なせいか,そうした高速な画像処理システムをメディアアートの分野に応用した例は我々の知る限りでは見受けられない。

ACM SIGGRAPH2001におけるEmerging Technologies部門においてEnhancedDeskのデモンストレーションをするにあたり,デモンストレーション向けのアプリケーションを複数制作した。本稿で紹介するNarrative Handはそのうちの1つである。本作品は,EnhancedDeskにおける手指認識が30 frame/secと高速であることを活かすべく,ユーザが手を握るといったジェスチャを認識するだけでなく,手を握る際の速度を判別しその結果に応じて提示する映像を切り替えるインタラクティブなシステムとなっている。

手指に関するジェスチャ認識の研究においては,その処理速度の向上が1つの大きな目的である。しかしながら,処理速度が向上することによってシステムの応答性が高まること以外に,どのような新しいかたちのインタラクションを実現できるかということについてはあまり注意が払われてこなかったのではないかとと思われる。本作品では,実世界における人と人とのコミュニケーションの様々な場面において,身体性をもたう動作の速度が何らかの感情と結び付いているのではないかと考えた。たとえば,昔の恋人の写真を破りすてるといった場面を想像していただきたい。静かに破りすてるとと激しく破りすてるとでは,その動作を行う主体の感情は大きく異なることだろう。本作品では,リアルタイムで動作する手指認識システムをメディアアートに応用することで,そうした動作の速度の違いがもたらす感情の違いを喚起できるような作品を実現したいと考えた。

以降では2章で本作品のシステム,コンセプトおよびインタラクションについて,3章で本作品で用いた画像処理システムについて,4章でまとめについて述べる。

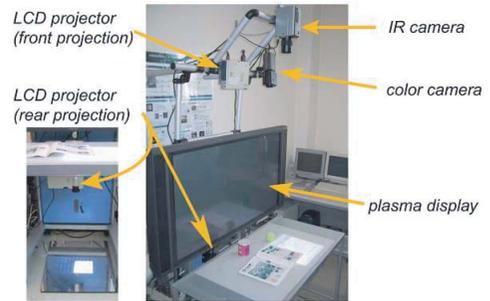


図1 拡張机型インタフェース EnhancedDesk
Fig. 1 Overview of our augmented desk interface system.

2. Narrative Hand

2.1 システム構成

我々がこれまでに研究を進めてきたEnhancedDeskは,プロジェクタ,スクリーンとしての机,赤外線カメラ,カラーCCDカメラから構成される実世界指向の拡張机型インタフェースである(図1)。

EnhancedDeskでは,ARの先駆的な研究であるDigitalDesk¹³⁾と同様に,机上に投影されたアプリケーションをユーザ自身の指先で操作することが可能であり,机上に投影された仮想物体と実物体の両方を統合的に操作することが可能な環境の実現を目的としている。

拡張机型インタフェース上では,プロジェクタによる投影の影響によりユーザの手の色や背景が動的に変化するため,従来手法では安定に手指を追跡することが困難であった。このような問題に対して,本システムでは中赤外領域光を撮影する赤外線カメラ(NikonサーマルビジョンLAIRD3A)を利用して机上の人の手の体温の近傍(30~34度)を撮影することにより,机上の手の様子をNTSCの256階調の映像として得ることができる。色を利用した手認識の場合,照明や背景の変化の影響を受けやすいが,赤外線カメラではそうした問題はほとんど生じないため,動的に光源環境が変化する場合や背景が複雑な場合にもマーカなどのデバイスを用いることなく,複数の指先を安定に追跡することができる⁸⁾。またこの追跡結果を利用することにより,机上に投影されたアプリケーションをユーザ自身の手によって直接的に操作すること,すなわち,ダイレクトマニピュレーションに基づくインタラクションが可能となっている。

本作品はEnhancedDesk上で動作し,システムは手指認識システム,サーバ,ユーザに映像を提示するクライアントから構成される(図2)。手指認識システムは画像処理ボード(日立製作所製IP5005)を搭

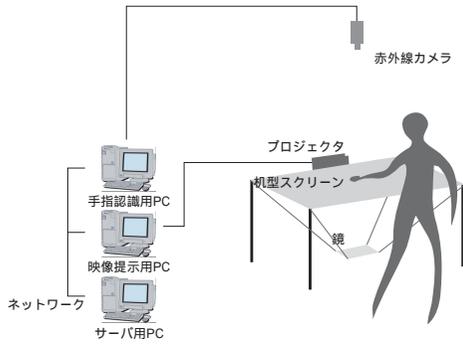


図 2 システム構成

Fig. 2 System architecture of Narrative Hand.

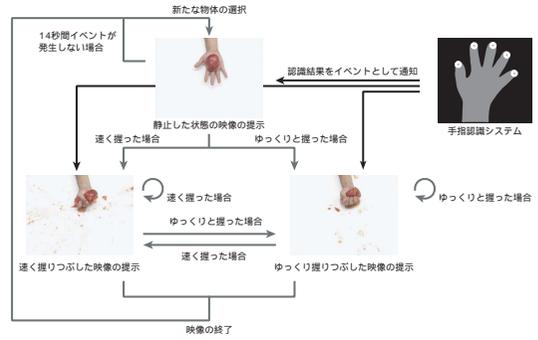


図 3 インタクションの流れ

Fig. 3 The interaction flow in Narrative Hand.

載した Linux PC (Pentium III 500 MHz) を , サーバおよび映像を提示するクライアントにはそれぞれ Macintosh PowerBook G4 (PowerPC 500 MHz) を用いた .

本作品においては , 手指認識システムによって鑑賞者の手を握るというジェスチャを認識するだけでなく , その際のジェスチャの速度も認識して , それらの認識結果をイベントとして Java によって構築されたサーバに送信する . サーバは , Macromedia Director を用いて構築したクライアントにそのイベントを転送し , クライアントはイベントの種類に応じて QuickTime ムービーの再生を制御する . ジェスチャの速度の判別は速い/ゆっくりの 2 種類とした . 提示する映像は 1 つのムービーとして制作されており , ユーザのインタラクションに応じて再生を開始するフレーム番号を切り替える .

2.2 コンセプト

以下に本作品のコンセプトを記す .

手の上にのせたモノをじっと見つめ , それを握りつぶし , 自らの意志でその存在をなきものとする . これまでの人生で , あなたにはそんな体験がいくつあるだろう ? ちぎる , ひねる , 引き裂く , たたく , 握りつぶす , 投げつける . かたちあるモノの存在意義を変えてしまうための動詞には , 様々なものがある . 行為としての動詞が異なれば , 同じ対象を選んでもその意図は異なるだろうし , それは動作が同じで対象が異なる場合も同様だろう .

そして , それらの行為を形容する副詞が異なる場合 , 異なるものは何だろうか .

「彼女は , 手の上のトマトをじっと見つめ , そっと , 握りつぶした」

「彼女は , 手の上のトマトをじっと見つめ , 激しく , 握りつぶした」

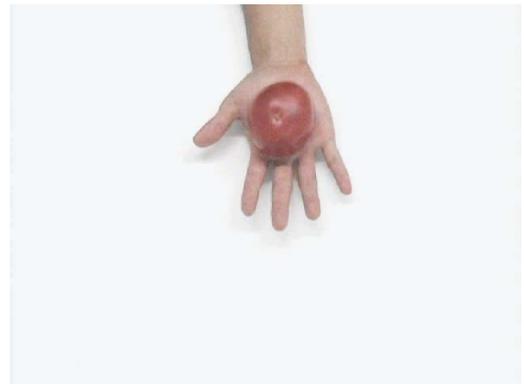


図 4 鑑賞者のインタラクションがない状態の映像 : トマト
Fig. 4 A shown image in waiting a user's input: tomato.

異なるスピードで動く彼女の指先が , トマトの皮にふれ , 果肉が飛び散った , 時間と空間 . そこには , 主体の何が存在しているだろうか .

2.3 インタクション

図 3 にインタラクションの流れを示す . 鑑賞者がインタラクションを行っていない状態では , システムは物体が手にのせられ静止した状態の映像を提示する (図 4) . 新たな物体を提示して 14 秒以内に手指認識システムからコマンドが送られてこない場合には , 提示する物体をランダムに切り替える .

手指認識システムが鑑賞者のジェスチャを認識してイベントを送信した場合には , 映像提示クライアントがそのイベントを受信すると同時に提示する映像を切り替える . 認識されたジェスチャの速度が速い場合には図 5 のような映像を , 遅い場合には図 6 のような映像を提示する . それぞれの映像は 5 秒から 10 秒程度の長さである .

現在のシステムでは , 提示する物体は , トマト , ブルーベリージャム , キウイ , 鶏卵 , オレンジ , 豆腐 , スパゲティ , タリアテッレ , パプリカ , ヨーグルト , マヨ



図5 鑑賞者が手を速く握った場合の映像：トマト

Fig. 5 A shown movie when the gesture was done fast: tomato.



図6 鑑賞者が手をゆっくりと握った場合の映像：トマト

Fig. 6 A shown movie when the gesture was done slowly: tomato.



図7 ブルーベリージャム(上)およびキウィ(下)の映像

Fig. 7 Other shown movies: blueberry jam and kiwi.

ネーズの11種類とした。物体を選択するにあたっては、半液状の中身を薄い皮膜が被っている食物もしくは壊れやすい食物を主なものとした。図7にブルーベリージャムおよびキウィについて、鑑賞者が速く手を握った場合/ゆっくりと手を握った場合の映像を示す。

作品としての芸術性を高めるべく、それぞれの物体がつぶされた映像の後にその逆回しの映像をつなげた。そのため、開いた手が物体をつぶしその物体が手の上で元どおりに戻るまでの映像が、ひとまとまりの映像となっている。提示される音については、特別な効果音をつけることなく、実写映像撮影時の音声映像とともに出力される。

それぞれの映像の再生が終了すると、新たに提示する物体をランダムに選択し、その物体が手にのせられた静止した状態の映像のフレーム番号へ映像を切り替える、という作業を繰り返す(図3)。

また、クライアントは手指認識システムがイベントを送信した時点で再生する映像のフレーム番号を切り替えるため、物体を握った映像が再生されている途中に鑑賞者が手を握った場合には、再生の途中でもイベントを受信した時点でそのジェスチャの速度に応じた映像の再生が開始される(図3)。そのため、1つの物体を何度も繰り返して握ることが可能となっている。

3. 手指認識システム

Satoらの手法では個々の入力画像フレームで独立に指先を検出していたため、各指先の軌跡を計測することができず、また、手を高速に動かした場合には指先の検出に失敗することがしばしば見られた⁸⁾。これに対し、Okaらは画像フレーム間での各指先の対応関係を考慮することにより、各指先の軌跡の計測を可能とするとともに、指先追跡の信頼性について大幅な向上を実現し⁴⁾、赤外線カメラを導入するだけでは解決できない手指認識における問題点のいくつかを解決した。本作品においてはEnhancedDesk上で手を握るという動作によってユーザのインタラクションが実現されるが、Okaらの手法では手を高速に握った場合でも各指先は頑健に追跡されるため、その動作の速度を安定に計測することが可能となっている。複数の指先軌跡の実時間計測についての詳細なアルゴリズムについては文献4)に譲るが、以下に処理の概略について説明する。

3.1 個々の画像フレームにおける指先検出

従来手法で利用されてきた肌色抽出や背景差分に基づく手領域の抽出手法には、光源環境や背景の変化に影響されやすいといった問題がある。そこで本手法ではこのような問題点を回避するために、中赤外領域光を撮影する赤外線カメラによってユーザの手の熱放射を計測する。これにより、得られる赤外線カメラ画像中の手に対応する領域では輝度が非常に高くなる。この画像に対して適当な閾値の二値化処理を適用す

ることにより、背景が複雑な場合や光源環境の変化が起こる環境下においても、ユーザの手に対応する領域を画像中で安定に抽出することが可能となる。特に本作品では、机上に実写映像の手が提示されるため、カラーカメラから得られる画像に対して肌色抽出をした場合、鑑賞者の手だけではなく映像の手が検出される可能性もある。そのため、赤外線カメラを用いて人間の手を熱源とする放射赤外光を画像処理の対象とすることの利点は大きいと考えられる。

手領域を抽出した後、複数の指先検出を高速に行うために、手のひらと指全体を含むような一定の大きさの探索領域を設定する。ユーザが机上で作業を行う場合、カメラと手の間の距離は比較的一定である。そのため、その大きさを一定とした探索領域を設定しても、安定に指先検出を行うことができる。

次に、決定された探索領域内において指先を検出する作業を行う。人間の指全体の形状は半球状のキャップを持つ円柱として近似されるため、本手法では適当な大きさの円形テンプレートをを用いた正規化相関により指先の検出を行う。

また本手法においては、手のひらの中心を手領域の境界からの距離が最大となる点として定義することにより、手の開閉などの形状変化に対しても安定に手のひらの中心位置を決定することを可能としている。このような位置は抽出された手領域に対して収縮処理を繰り返し適用し、残った領域の重心を計測することにより得られる。

なお、以上で述べたような二値化処理の閾値や探索領域の大きさ、円形テンプレートの大きさなどのパラメータはユーザによってある程度異なる。そのため、これらのパラメータは初期化時に取り込んだ赤外線カメラ画像に基づいてユーザごとに設定される。まず、取り込んだ赤外線カメラ画像の輝度に関するヒストグラムを作成し、それを分析することにより、安定に手領域を抽出することが可能な閾値を決定する。その後、この閾値による二値化処理を適用した画像から手領域および指領域を抽出し、それらの大きさや太さに応じて、探索領域の大きさと円形テンプレートの大きさを決定する。これにより、ユーザに依存しない安定したシステムの稼働が可能となる。

3.2 軌跡計測のための指先対応付け手法の概要

本計測手法では、3.1 節の手法を用いて検出された複数の指先について、それらを隣り合う画像フレーム間で対応付けることにより、手を高速に動かした場合にも複数の指先の軌跡を実時間で安定に計測することを可能とする。以下に個々の入力画像フレームで検出

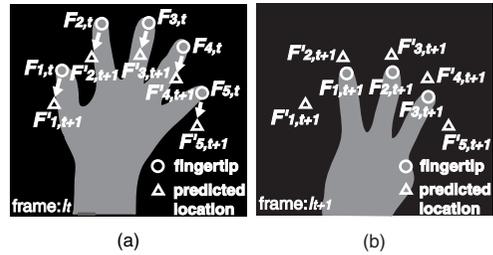


図 8 指先の予測と対応付け

Fig. 8 Prediction and correspondences of fingertips.

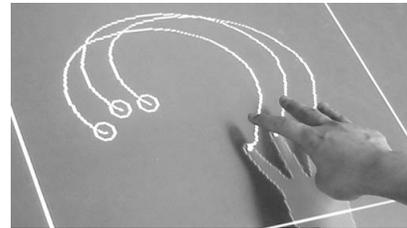


図 9 指先軌跡の計測

Fig. 9 Measurement of fingertip trajectories.

された指先どうしを画像フレーム間で対応付けるための手法について説明する。

ここでは、 t 番目の画像フレーム I_t で n_t 個の指先が検出された場合を想定し、これらの指先位置を $F_{i,t}$ ($i = 1, 2, \dots, n_t$) とする (図 8 (a))。まず、次の画像フレーム I_{t+1} での指先位置 $F'_{i,t+1}$ を予測フィルタを用いて予測する。本手法では、予測フィルタとして特徴点追跡などにしばしば利用されるカルマンフィルタを適用する。次いで、画像フレーム I_{t+1} で実際に検出された n_{t+1} 個の指先位置 $F_{j,t+1}$ ($j = 1, 2, \dots, n_{t+1}$) と予測位置 $F'_{i,t+1}$ との比較を行う (図 8 (b))。これらの検出位置と予測位置の間には複数の組合せが考えられるが、指先の順序は変わらないと仮定したうえで得られる組合せの中から距離の自乗和が最小のものを採用することによって、隣り合う画像フレーム間での指先どうしの対応付けを実現し、図 9 のように複数の指先の軌跡を実時間で計測することが可能となる。

3.3 ジェスチャおよびその速度の判別

本作品においては、3.1 節および 3.2 節の手法を用いて検出される指先の個数および指先の位置の情報を用いて、鑑賞者が手を握るというジェスチャおよびそのジェスチャが行われた速度を認識する。以下にその手法について説明する。

手指認識システムが 5 個の指先を認識した状態で、以下の処理を開始する。まず最初に、伸ばしている指先と手の中心との距離の和を d として、各フレームごとに d を計算する。その際に、握り始めを示す d の

値として D_s をあらかじめ定義しておく．そして， d の値が D_s を下回った瞬間から握り動作中を示す時間 t_s のカウントを開始する． t_s があらかじめ設定しておいたタイムアウト時間（現在のシステムでは 60 frame とした）までに， d が 0 となったとき，すなわち手を握りきった瞬間に t_s のカウントを止める．このカウントがある閾値より小さい場合は，「速く握った」とし，大きい場合は「ゆっくりと握った」と判別する．なお，この閾値は経験的に決定した．

4. ま と め

これまでに EnhancedDesk におけるアプリケーションを構築するにあたっては，手指の位置およびジェスチャの種別を認識することによるインタラクションを実現してきた^{1),3)}．EnhancedDesk のデモンストレーションの一環としてメディアアートを制作しようと考えた際に，画像処理システムが高速になることでどのような新しいかたちのインタラクションを実現できるかという視点から，ジェスチャの種別の認識だけではなくジェスチャの動作の速度の判別を用いたインタラクションによる作品を制作した．

SIGGRAPH2001 におけるデモンストレーションにおいては，コンピュータグラフィックス (CG) やヒューマンインタフェースの専門家だけでなく，子供から大人まで様々な背景を持つ人が本作品を体験した．鑑賞者の中には，同じ対象を何度も握る人と多くの対象を握ろうとする人に分かれたが，手を握る速度に応じて映像が切り替わることで仮想的な触覚を味わうことができたというコメントを述べた人が多かった．また，鑑賞者の中には手指を 3 次元モデルとして認識し，それを用いて CG とのインタラクションを行いたいという意見を述べる人もいた．しかし本作品ではあえて実写映像にこだわり CG を用いなかったが，そのことがむしろユーザの想像力をより喚起して，特殊な装置を使わなくても仮想的な触覚を感じさせたのではないかとも思われる．鑑賞者の多くは一度手を握るだけではなく何度も手を握ることが多かったことから，提示した映像が仮想的にもたらす指先の様々な感覚を楽しむと同時に，高速な画像認識システムが実現する新たなヒューマンインタフェースの可能性を感じてもらえたのではないかと考えている．また本作品は，第 5 回文化庁メディア芸術祭審査委員会推薦作品として選出され，東京都写真美術館において 10 日間の映像展示を行った．Narrative Hand はメディアアート作品として制作されたため，実用的なシステムではないが，今後 EnhancedDesk におけるアプリケーションの構

築や PUI としての画像認識システムを構築してゆくにあたって，大きな知見を得ることができたと考えている．

ジェスチャの速度の判定には，認識された指先の数が 5 から 0 へと遷移する時間を用いたため，計測された指先の軌跡などから実際に指先の速度を用いているわけではない．鑑賞者の中には手を握る際に親指を拳の中に入れず外側にする人もおり，そうした場合には画像認識システムは手を握ったと判断しないという仕様になっていたため，ジェスチャを正しく認識できなかった．より柔軟なインタラクションシステムを構築するためには，そうした場合を事例から学習する機能などが必要になると考えられる．

画像処理技術を用いたヒューマンインタフェースは，コマンドをキーボードから入力することでコンピュータとのインタラクションを実現する CUI (Character User Interface) やウィンドウシステムやマウスを用いた GUI (Graphical User Interface) とは異なった，新たなインタフェースである PUI (Perceptual User Interface) を実現する手法として注目を集めている．CUI では動詞としてのコマンドをキーボードを用いて入力し，そしてその動詞の対象となる名詞としての引数を記述する．GUI では，対象となる名詞としてのオブジェクトや動詞としてのコマンドをマウスやキーボードによって選択し，そしてその対象となる動詞や名詞としてのコマンドやオブジェクトを選択する．その一方で PUI では，人間の手や指がオブジェクトに対してインタラクションを行った状態を認識するため，システムはそのインタラクションが意図する動詞と名詞を同時に認識すると考えることができる．また PUI が実現される環境は，CUI や GUI などディスプレイの前に座るといった想定とは異なり，様々なスケールの空間の中であると考えられ，またそこでのインタラクションは身体をともなうものであると考えられる．そして PUI における認識が高速になれば，その行為を行った速度を認識することが可能となる．身体をともなうインタラクションにおいては，行為を行う速度は行為における副詞を表現し，その副詞はその行為にともなう感情を表現している場合があると考えられる．PUI を実現するにあたっては人間の意図を理解することが研究目的の 1 つとしてあげられているが，高速な画像認識システムを PUI に用いる利点として，あるインタラクションを行ったという事実だけを認識するだけではなく，どのようにそのインタラクションを行ったのかということを知ることができるのではないかと考えられる．本作品は，行為を行う速度によって異な

るインタラクションを実現するというかたちで、そうした可能性の1つを示すことができたのではないかと思われる。

参 考 文 献

- 1) Chen, X., Koike, H., Nakanishi, Y., Oka K. and Sato, Y.: Two-handed drawing on augmented desk system, *Proc. 2002 Int'l Working Conf. Advanced Visual Interfaces (AVI 2002)* (2002).
- 2) Crowley, J., Coutaz, J. and Berard, F.: Things That See, *Comm. ACM*, Vol.43, No.3, pp.54-64 (2000).
- 3) Koike, H., Sato, Y., Kobayashi, Y., Tobita, H. and Kobayashi, M.: Interactive Textbook and Interactive Venn Diagram: Natural and Intuitive Interface on Augmented Desk System, *Proc. ACM SIGCHI 2000*, pp.121-128 (2000).
- 4) Oka, K., Sato, Y. and Koike, H.: Real-time tracking of multiple fingertips and gesture recognition for augmented desk interface systems, *Proc. 2002 IEEE Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2002)*, pp.429-434 (2002).
- 5) 間瀬健二：インタラクティブ・アートにおける仮想と現実，*情報処理*，No.43, Vol.3, pp.230-234 (2002).
- 6) Ren, H. and Xu, G.: Human Action Recognition in Smart Classroom, *Proc. 2002 IEEE Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2002)*, pp.417-422 (2002).
- 7) Rozin, D.: Wooden Mirror. http://www.ntticc.or.jp/Calendar/2000/New_Media_New_Face/Works/wooden_j.html
- 8) Sato, Y., Kobayashi, Y. and Koike, H.: Fast Tracking of Hands and Fingertips in Infrared Images for Augmented Desk Interface, *Proc. 2000 IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2000)*, pp.462-467 (March 2000).
- 9) Segan, J. and Kumar, S.: Shadow gestures: 3D hand pose estimation using a single camera, *Proc. IEEE Int'l Conf. Computer Vision and Pattern Recognition '99*, pp.479-485 (1999).
- 10) Sommerer, C. and Mingnonneau, L.: Life Spaces. http://www.ntticc.or.jp/Collection/Icc/Life/index_j.html
- 11) 内海 章，大谷 淳，中津良平：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，*情報処理学会論文誌*，Vol.40, No.2, pp.585-593 (1999).
- 12) Utterback, C. and Achituv, R.: Text Rain. <http://www.ntticc.or.jp/Calendar/2000/>

[New_Media_New_Face/Works/text_j.html](http://www.ntticc.or.jp/Calendar/2000/New_Media_New_Face/Works/text_j.html)

- 13) Wellner, P.: Interacting with Paper on the DigitalDesk, *Comm. ACM*, Vol.36, No.7, pp.87-96 (1993).

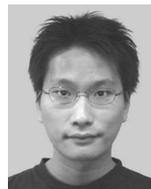
(平成 14 年 6 月 26 日受付)

(平成 14 年 12 月 3 日採録)



中西 泰人(正会員)

1998年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年より電気通信大学大学院情報システム学研究科助手。博士(工学)。感性情報処理、ヒューマンインタフェース、モバイルコミュニケーション等の研究に従事。ヒューマンインタフェース学会、人工知能学会、ACM各会員。



岡 兼司

2000年東京大学工学部電気工学科卒業。2002年同大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻修士課程修了。現在、同大学院情報理工学研究科電子情報学専攻博士課程在学中。ヒューマン・コンピュータ・インタラクション、コンピュータ・ビジョンに関する研究に従事。電子情報通信学会学生会員。



倉持 正之

1999年東京理科大学工学部建築学科卒業。000STUDIO共同主宰。建築デザイン、エキシビションデザイン、Webデザイン、映像制作等に従事。



松川 昌平

1998年東京理科大学工学部建築学科卒業。000STUDIO共同主宰。建築デザイン、エキシビションデザイン、Webデザイン、映像制作等に従事。



佐藤 洋一(正会員)

1990年東京大学工学部機械工学科卒業．同大学大学院情報工学専攻を経て，1991年からCMUロボティクス学科博士課程に在籍．1997年Ph.D. 1997年より東京大学生産技術研究所研究機関研究員，講師を経て現在同研究所助教授．コンピュータビジョン，ヒューマン・コンピュータ・インタラクション，およびコンピュータグラフィックスに関する研究に従事．平成11年山下記念研究賞受賞，Int. Conf. Shape Modeling and Application '97最優秀論文賞，MIRU2000最優秀論文賞，平成11年日本バーチャルリアリティ学会論文誌年間優秀論文賞受賞．電子情報通信学会，日本バーチャルリアリティ学会，ACM，IEEE各会員．



小池 英樹(正会員)

1991年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了．工学博士．同年電気通信大学電子情報学科学科助手．1994年同大学院情報システム学研究科助教授，現在に至る．1994～1996，1997年U.C. Berkeley客員研究員．情報視覚化の研究に従事．特に視覚化へのフラクタルの応用，情報検索システム，Perceptual User Interface，情報セキュリティに興味を持つ．1991年日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞受賞．ACM，IEEE/CS，日本ソフトウェア科学会各会員．