

EnhancedDesk: 拡張机型インターフェースによる 紙情報と電子情報の統合

佐藤 洋一 小池 英樹

東京大学 生産技術研究所 電気通信大学大学院 情報システム学研究所

あらまし 本報告では、新たに提案する拡張机型インターフェースシステム: EnhancedDeskを紹介する。ユーザは、このシステムを備えた机上で作業を進めることにより、その作業を支援するための様々な電子的情報がシステムによりユーザに対して自動的に提示される。またユーザは書類などの実在の物体を操作するのと同様に、提示される電子情報を自身の手指により直接的に操作することができる。このようなフレームワークにより、紙書類などの実在のメディアとそれに関連する電子的情報との統合が実現される。特に提案システムでは、赤外線カメラを利用することにより、変化する照明や複雑な背景などの困難な状況においてもユーザの手指先の位置を安定且つ高速に検出することが可能となっている。

EnhancedDesk: Seamless Integration of Paper Documents and Associated Information with Augmented Desk Interface

Yoichi Sato

Hideki Koike

Institute of Industrial Science
University of Tokyo

Graduate School of Information Systems
University of Electro-Communications

Abstract We have been developing a novel interface system to support users to perform various kinds of tasks in a regular office environment. This system is called the Enhanced Desk. The key component of the Enhanced Desk is its capability to monitor user's activities using computer vision techniques. This paper describes a rapid and accurate finger recognition and tracking technique used in the Enhanced Desk. By using an infrared camera and an image processing hardware, the system can successfully identify user's fingertips at video-frame rate even in a complicated background. In addition, the Enhanced Desk can recognize small objects on a desktop by using an additional pan-tilt camera that is tracking a user's fingertip.

1 はじめに

実世界でのユーザの作業や操作をコンピュータが支援し、キーボードやマウスに代表される従来型のインタフェースよりも快適に利用できる次世代のインタフェースとして、実世界指向、状況認識によるインタフェースに期待が寄せられている [1]. 現在 PC に代表されるコンピュータは生活のあらゆる場面で利用されているが、オフィスなどの環境を考えてみると、机上で PC を使った作業を行うと同時に紙書類を使った作業を行うことが多い。そこで我々は机上で作業をコンピュータに支援させ、電子情報と紙書類を統合的に扱うことのできる“机”に統合された実世界指向インタフェース「Enhanced Desk」の開発を進めている。Enhanced Desk はコンピュータの画面を机上に投影し、同時に机上进行をカメラで観察する事によってユーザとコンピュータとのインタラクションを実現するものである。本論文ではこの Enhanced Desk を想定し、ユーザの手領域を認識することでより快適なインタラクションのための提案を行う。

2 Enhanced Desk

机上で作業とコンピュータでの作業の融合に注目した例として Digital Desk[2] がよく知られている。Digital Desk は机上に投影されたコンピュータ画面を指先などで操作するもので、ユーザは机上に投影されたイラストを切り取ってコピーしたり、机上に投影された電卓で計算をすることができるものであった。本研究の基礎となっている小林らの Enhanced Desk[3] では、机上で紙書類に着目し、紙書類と電子情報の統合利用を試みている。Enhanced Desk は紙書類と電子情報の対応づけのためにあらかじめ紙書類に付与したバーコードを用いているが、バーコードがある程度以上の大きさで観察されることが必要なため、従来は大型のバーコードを用いなければならなかった。またユーザの手領域を認識するために肌色抽出を行っていたが、机上に肌色に近い物体があると誤認識されたり、ユーザの手の上に映像が投影されると、手領域抽出がうまくいかないといった問題点があった。ユーザの指先位置の認識についても常に特定の手の向きを

仮定し、指先は 1 点とするなどの制約が多く、認識精度の不十分さが大きな問題であった。そして一連の処理をソフトウェアで行っているため実時間処理が困難であった。そこで本研究ではこれらの問題点を解決するため、以下の手法の提案を行う。

- 赤外線カメラを利用してユーザの皮膚領域からの放射光を測定することによりユーザの手領域を安定に抽出する。
- 正規化相関に基づくテンプレートマッチングと手領域に対する収縮処理の適用によりユーザの指先と手のひらの実時間認識を実現する。
- 机上の小さなバーコード等の認識のため、ズーム機能付パンチルトカメラを用いてユーザの指先周辺を拡大追跡する。
- 処理の高速化のため、画像処理ハードウェアの利用と分散処理の適用を行う。

本研究で試作した Enhanced Desk は図 1 に示すように机の上方にプロジェクタを設置し、コンピュータ画面を鏡を介して机上に投影するものである。机上进行をカメラは赤外線カメラ及びズーム機能付パンチルトカメラの 2 台を使用し、机上全体の撮影と一部分を拡大した撮影を可能とした。

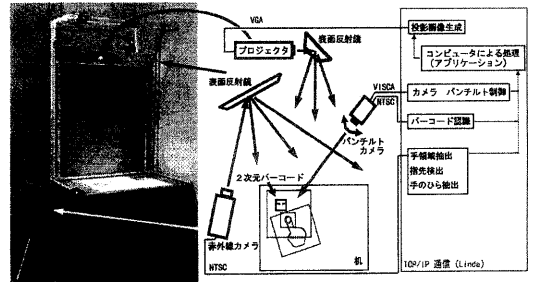


図 1: Enhanced Desk とシステム構成

3 赤外線画像からのユーザの手形状抽出

3.1 手領域の抽出

腕を含むユーザの手領域の抽出には背景差分やカラーカメラ画像による肌色抽出が一般的に用いられている。しかし、これらの手法では背景の状態によっては領域を抽出することが困難な場合が多い。特に本システムで想定される作業環境では、机上に紙書類や書籍を開くことなどが考えられ、プロジェクトにより映像を投影するため、ユーザの手領域の色が一定でないなどの問題点がある。そこで本システムでは赤外線カメラ (Nikon サーマルビジョン LAIRD3A) を使用して人の体温の近傍 (30℃~34℃) を撮影し、一定の閾値で2値化処理することで領域を抽出する。この手法により、背景や照明の変化に影響されず体温に近い領域だけを安定に抽出することが可能となった (図 2(a))。画像は 256 × 220 画素の解像度で取得し、2 値化した画像から慣性主軸を計算し、腕全体の傾きを考慮して、先端から 80 × 80 画素の範囲を今後の画像処理の対象となる手領域とした。

3.2 指先の認識

指先の認識は一般に指先形状の輪郭が円に近いことに基づき、円形テンプレート (図 2(b)) を用いて手領域周辺で正規化相関に基づくパターンマッチング [4] を行うことで検出する。指先位置の検出はユーザの手は机上にあり、カメラとユーザの手の距離はほぼ一定で見かけ上の大きさが極端に変わらないことから、15 × 15 画素の一定の大きさのテンプレートで指先位置を検出することが可能である。同様の理由から処理対象を手領域のみに限定し処理の高速化を図った。パターンマッチング処理の後、誤検出された指先位置を除去する。あまりにも近接した場所で多くの相関値の高い点が見つかった場合、最も相関値の高い点を残し、残りを指先候補点から除外する。またテンプレートの周囲 8 点 (矩形の 4 頂点及び各辺の 2 等分点) に対応するピクセルを調べ、指先がテンプレートを突き抜けていたり、周囲に指らしきピクセルが何もない場合などは指先点候補ではないとした (図 2(b))。最終的に指先候補点

を相関値の高い順に 5 つまで採用しユーザの指先点としている。

3.3 手のひらの認識

手のひらの認識は、腕全体の傾きと手領域の大きさから手首位置を仮定し、手首から先の部分に対して収縮処理を適用することで行う (図 2(c))。指が削られ一定の画素数以下になるまで収縮処理を繰り返し、残った領域の重心をとることで手のひらの中心を抽出した。また手のひらの近似円の半径は収縮処理を行った回数から得ることができる (図 2(d))。

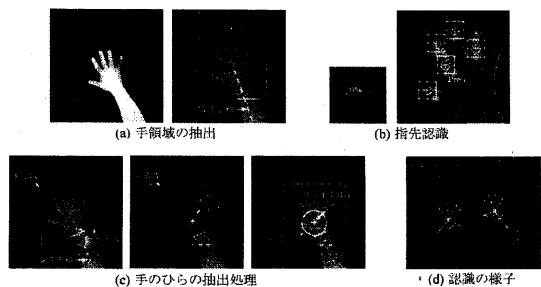


図 2: 画像処理の概略と結果

4 指先追跡とバーコード認識

本システムではユーザの指先をズーム機能付きパンチルトカメラで拡大追跡することで、机上の小さな物体の認識を行うことが可能である。

4.1 カメラ画像座標と机上平面座標の補正

パンチルトカメラで指先の拡大追跡を行うためには机上の指先の正確な位置を算出する必要がある。ここでは赤外線カメラ画像座標と机上平面座標の対応点をいくつか定義し、その関係を基に赤外線カメラ画像座標と机上平面座標の間の座標変換を射影変換を用いて行った。対応点は小型電球を埋め込んだキャリブレーション板を赤外線カメラで撮影することで計測した。

4.2 カメラ制御

追跡カメラ (Sony EVI-G20) は PC のシリアルポートから VISCA コマンドをカメラに送信することで制御を行っている。追跡カメラはパンチルト駆動平面をもっており、座標を指定することでその方向にカメラを向けることができる。射影変換を用いて机上平面座標をパンチルト駆動平面上の座標に変換し、指先の追跡を行う。図3に指先の拡大追跡を行った様子を示す。

4.3 2次元バーコード

現実物体 (紙書類, 書籍等) にはバーコードを取り付けることにより認識を行い、電子情報とのリンクを作成する。バーコードには2次元マトリクスコードを利用した [5]。従来は 50mm × 50mm 程度の大きさが必要であったが、本システムでは約 25mm × 25mm の大きさのバーコードで十分安定して認識することが可能である (図3)。

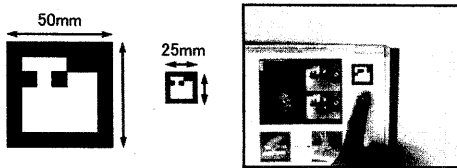


図3: 縮小された2次元バーコードと指先追跡

5 分散処理

本システムでは、高速化のため複数の計算機で分散処理を行っている。形状認識及びパンチルトカメラによる指先追跡処理は、Linux と日立画像処理ボード IP5010 を導入した PentiumII 450MHz の PC を使用した。2次元バーコード認識処理、および情報表示プロセスは SGI O2 にてソフトウェア処理によって行っている。各々の処理間の通信にはダブル空間通信システム TS System/s を用いている [6]。

6 インタクション例

これまでの手法を用いて Enhanced Desk 上にシステムを実装し、実際にインタクションを行った例を示す。

6.1 クリック&ドラッグ動作

マウスでのクリックに相当する動作は机を指先でたたく音を利用したものや、指先の一定時間の静止をクリック動作を見なす手法などが提案されてきたが、本研究では指先から手のひらの中心までの距離をもとに指先をカギ型に曲げることでクリック動作を行う手法を実装した。これにより、クリックだけでなくドラッグに相当する動作を1回の動作で行うことができた。また指を曲げるジェスチャは、物を引っかける動作のイメージに近く直感的な操作を行うことができた (図4(a))。

6.2 両手による操作

従来のマウスではオブジェクトの回転と移動は一度の動作で行うことは難しいが、両手を使うことでオブジェクトを引っ張って伸ばしながら回転し、移動するといった動作が一度の動作で行うことができるようになった (図4(b))。

6.3 バーコード認識による Web ブラウジング

書籍等に添付した縮小された2次元バーコードを机上で指差すことで、URL をキーボードで入力することなく Web ブラウザを起動し、関連したホームページを机上に投影することができる。本システムでは紙面内容に影響を与える大きなバーコードを添付する必要がなく、必要に応じて指差し動作を行うことでバーコードを認識させることが可能である (図4(c))。

7 まとめと今後の課題

机上での電子情報と現実物体を統合的に扱うことのできる机「Enhanced Desk」の実現のために必要

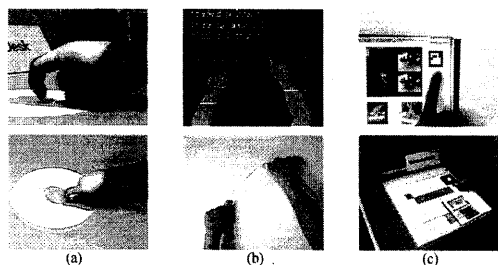


図 4: インタラクションの例

とされるインタフェースに関する技術の提案を行った。本システムでは指先及び手のひらの中心を毎秒 20 フレーム以上の実用的な速度で安定して検出することが可能となった。またカメラで指先を拡大追跡しているため、小型のバーコードの認識が可能となり、机上の物体に不自然に大きなバーコードを添付する必要がなくなった。マウスによる操作を指先のジェスチャで実現し、ユーザは机上に投影された 3D オブジェクトを指先で回転させながら移動したり、書籍に添付したバーコードを指差すことで関連するホームページを表示させるなど、従来のマウスやキーボードよりも直感的で現実と密接にリンクしたインタラクションを電子情報との間で行うことが可能となった。

今後の方針としてユーザの指先の位置情報だけでなく、指先の軌跡を利用したジェスチャ認識の導入がある。そして、カメラによる拡大撮影が可能になったことから、紙面の小さい文字も認識できると思われるため、文字認識を利用し、紙書類と電子情報の統合的な利用のための機能を付加してゆきたいと考えている。また、本システムを遠隔協同作業へ応用し、遠隔地の 2 つの机上を共有することによる机上平面を媒介としたコミュニケーション環境の構築についても検討を進めている。

謝辞

本報告では著者らのグループによる共同研究の成果を紹介した。この研究プロジェクトを積極的に押し進めた学生諸氏（小林貴訓、飛田博章）に感謝の意を表したい。

参考文献

- [1] 小池 英樹: Bit 別冊ビジュアルインタフェース—ポスト GUI を目指して—; 共立出版, 2.1 章, pp.24-44 (1996).
- [2] P.Wellner: Interacting with paper on the DIGITAL DESK; *Communication Of The ACM*, Vol.36, No.7, July, pp.87-96 (1993).
- [3] M.Kobayashi and H.Koike: Enhanced Desk, Integrating Paper Documents and Digital Documents; *Proceedings of 1998 Asia Pacific Computer Human Interaction*, pp.167-174 (1998).
- [4] D.H.Ballard and C.M.Brown: *Computer Vision*; Prentice-Hall, pp65-70 (1982).
- [5] 歴本 純一: 2次元マトリックスコードを利用した拡張現実感の構成手法; インタラクティブシステムとソフトウェア, 日本ソフトウェア科学会 WISS, 近代科学社, pp199-208 (1996).
- [6] 寺田 実: <http://www.sanpo.t.u-tokyo.ac.jp/terada/ts.html>.
- [7] H. Koike, Y. Sato, Y. Kobayashi, and H. Tobita, "Interactive textbook and interactive Venn diagram: natural and intuitive interfaces on augmented desk system," *Proc. ACM Conf. Human Factors in Computing Systems (CHI2000)*, pp. 121-128, April 2000.
- [8] Y. Sato, Y. Kobayashi, and H. Koike, "Fast tracking of hands and fingertips in infred images for augmented desk interface," *Proc. IEEE Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition (FG2000)*, pp. 462-467, March 2000.