

Yubios: 指先画像を用いた任意面に対する指先力の検出

小川 修平[†] 杉田 尚基^{†††}
岩井 大輔[†] 佐藤 宏介[†]

本稿は、片手 5 本の指先に加えた力とその方向を利用したインタフェースに関する研究報告である。指先を硬物体に対して押し付けると、爪の色模様が変化する。そこで、カメラを用いて手指を撮影し、画像処理により指先の色模様変化を検出することで指先の押下判定を行う。また、押下時の指先重心位置の変化により押下方向を検出する。入力装置としてカメラを用いることで、日常空間のあらゆる面を介してディスプレイとのインタラクションを行うことが可能となり、さらに、指先の押下だけでなく押下方向も検出することで、入力自由度の高いインタフェースを実現する。

Yubios: Detection of fingertip force against an arbitrary surface with a fingertip image

SHUHEI OGAWA,[†] NAOKI SUGITA,^{†††} DAISUKE IWAI[†]
and KOSUKE SATO[†]

In this paper, we present an interface which leverages forces of each five fingers of one's hand. When a human finger is pressed onto a hard object, the coloration pattern of a fingernail changes. The change of the coloration pattern is visible to the naked eye and can be measured using computer vision techniques. There is no need to limit the contact surface of a fingertip like touch panel and touch display by using a camera as an input device. In addition, the degree of freedom of the interface increases by detecting not only press but also press direction.

1. はじめに

人間は指に加える力を微妙に制御することで、様々な道具を自在に操り文明を発展させてきた。近年では Microsoft Surface や Apple iPad など多くのタッチディスプレイに代表されるように、指を用いてディスプレイに表示された映像に対し直接的かつ直感的に操作を行うことのできるインタフェースが増加している。しかし、これらのタッチディスプレイは入力がディスプレイと指先との接触に限られており、指先に加える力を自由に制御することのできる人間の能力を十分に活用しているとは言い難い。また、接触判定可能な範囲がタッチパネル上に限定されるといった問題点がある。そこで筆者らは、片手 5 本の指それぞれの指先に加え

た力とその方向を利用した新たな入力インタフェースを提案する。提案システムのコンセプトは、日常空間のあらゆる面に対し指先を押し付けることで、ディスプレイとのインタラクションや 10 フィート UI に見られるような機器の遠隔操作を手元で行うことである。本手法ではカメラを用いて押下時の指先画像の色模様変化を検出し、指先押下判定を行う。インタフェースの入力デバイスとしてカメラを用いることで日常空間のあらゆる面をインタフェースの入力とすることが可能となり、タッチパネルやタッチディスプレイのように指先との接触面を限定する必要がなくなる。また、接触時の指先画像の指先重心位置の変化により、5 本の指の押下および押下方向を検出し、インタフェースの入力として用いることで、ディスプレイに表示されたアバターハンドの操作のような入力自由度の高い操作を行うことが可能となる (図 1)。

2. 関連研究

指先に加わる力、およびその方向の推定は、従来から研究が行われている。J.Marshall らは、人間の指が

[†] 大阪大学基礎工学部

School of Engineering Science, Osaka University

^{††} 大阪大学 大学院基礎工学研究科

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

^{†††} 大阪大学 (現ソニー株式会社)

Osaka University (now Sony Corporation)

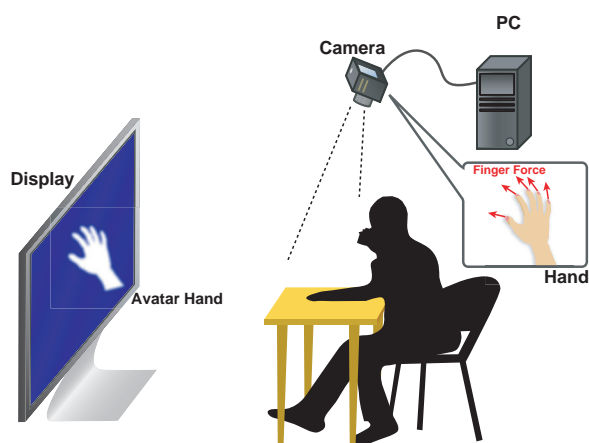


図 1 システムのコンセプト

硬物体に押し付けられたときの爪の色分布が体系的に変化することを利用して、指先に加わる力の検出を行っている¹⁾ また、Mascaro らは一定の照明条件の下で指先画像を取得できる装置を製作し、画像から指先に加わる 3 軸の力方向と指の関節角を推定することに成功した²⁾。さらに、Yu Sun らは指先の配色パターンを EigenNail と名付けた固有画像に主成分分析を用いて分解し、指先に加わる力を 6 種類 (力ゼロ, 鉛直方向, 左右横方法せん断力, 前後縦方向せん断力) に分類した³⁾。しかし、これらは特殊な装置が必要であったり、厳しい照明条件が課せられているため日常空間での使用には適さない。そこで、本研究では杉田らの研究⁴⁾に注目した。杉田らの研究では、一般に普及しているカメラを用いて、拇指、小指を除く指先の押下判定、および方向推定を行うことが可能となっている。本研究ではこれを片手 5 本の指に拡張することで、自由度の高いインタフェースを実現する。

3. 提案システム

本研究の目的は、指先を硬物体に対して押し付けた際の力とその方向を画像処理によって認識し、得られた指先の力を利用したインタフェースを実現することである。3.1 では、本システムのハードウェア構成について、3.2 では、指先押下判別のベースとなる原理について、さらに 3.3 では、指先押下・押下方向判別のアルゴリズムについて具体的に述べる。

3.1 ハードウェア

システム実装に用いるハードウェアは、PC(CPU: Intel Core i5-430M 2.26GHz) と Web カメラ (200 万画素 CMOS センサ) である。

3.2 指先押下判別手法

人間の爪領域の色模様は、通常ほぼ一様に肌色を呈するのに対し、指先を硬物体に押し付けた場合、爪領

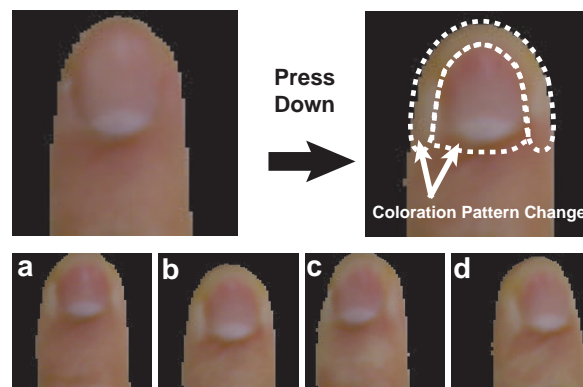


図 2 上：鉛直下方向押下時の指先色分布変化 下：押下方向変化時の指先位置移動 (a) 前 (b) 後 (c) 左 (d) 右

域が赤みを帯びた肌色を呈する領域と、白濁色を呈する領域に分割される (図 2)。従って、非押下時と比較して押下時の指先領域は非肌色の輝度値の分散が増加すると予想される。そこで、非肌色の指標として YIQ 表色系における Q 値を用い、Q 値の分散変化をカメラで撮影した指先画像から取得することにより、指先の押下を判別可能であると考えられる。また、指腹部を硬物体に接触させながら任意の水平方向に力を加えると、力を加えた方向に指爪部が移動する。これをカメラで指爪上部から撮影すると、キャプチャ画像中では指先位置が押下力方向に移動したと認識できる。この指先の性質を利用し、押下方向推定を行う。

3.3 指先押下・押下方向検出アルゴリズム

次に、指先の押下および押下方向検出のためのアルゴリズムを以下に述べる。

- (1) 肌色らしさを用いてキャプチャ画像に 2 値化を施し、肌色領域を得る。得られた肌色領域のうち面積値最大の領域を手領域とし、手領域のマスク画像を取得する。
- (2) マスク画像から指先位置を検出する。注目画素を中心とする $n \times n$ の矩形領域内の手領域と判定された画素数を求め、その画素数が矩形領域の大きさに対して規定の範囲内であれば指先であると判定する (図 3(b))
- (3) 検出された指先位置から、指先の方向とサイズを取得し、指先領域を決定する (図 3(c))
- (4) 得られた指先領域の各画素から、YIQ 表色系における Q 値を取得しその分散を調べる。得られた分散値にはノイズが含まれるため、これをカルマンフィルタを用いて除去する。
- (5) 得られた各指先領域の分散値から、押下判定を行う。また、押下時の指先重心の移動量に応じた押下方向を推定する (図 3(d))

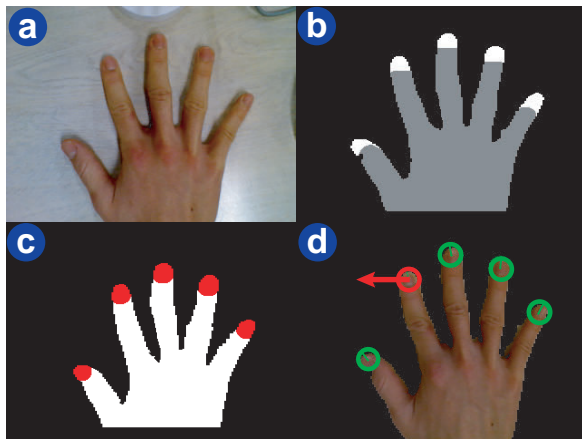


図 3 (a) キャプチャ画像 (b) 指先位置検出 (c) 指先領域検出 (d) 指先の押下および押下方向検出

4. 各指の指先力制御の容易さの検証

本研究で提案するインタフェースは拇指から小指までの 5 本の指から得られた力およびその方向を利用する。人間は道具を扱う際、各指を均等に使うわけではない。それぞれの指には役割があり上手に使いこなすことで複雑な操作を可能としている。したがって本インタフェースにおいても、複数の指を用いた操作を行う場合、各指の力を均等に利用するのではなく、指ごとの指先力制御の容易さによって指先力に重みづけし、インタフェースの入力として利用する方が合理的であると考えられる。そこで、指ごとの指先力制御の容易さの違いを検証する実験を行った。以下にその詳細を述べる。

4.1 実験方法

被験者 (20 代の男性 8 人, 女性 1 人) に, 3 章で提案したシステムを用いて以下のタスクを行わせた。
 タスク: 静止した目標点へのポイント移動
 指先に加えた力の方向によってディスプレイ中のポイント进行操作し, 静止目標点まで移動させる (図 4)。実験手順を以下に示す。

- (1) あらかじめ被験者に対し, システムの使用法を伝えたくうで, 指先に加えた力の方向によるポイント操作の練習を行わせ, 練習後タスクを開始する。
- (2) ディスプレイ中に表示されたポイント进行操作し, 静止した目標点まで移動させる。目標点の出現位置は, 被験者が操作するポイントの開始位置から, 等距離かつ方向の異なる 8 種類の点 (右, 右上, 上, 左上, 左, 左下, 下, 右下) とし, 8 種類の目標点はランダムに表示されるとする。
- (3) 8 種類すべての目標点に対して, ポイントの移

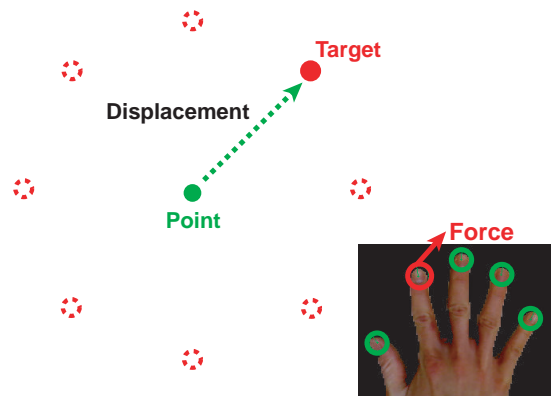


図 4 タスク: 静止目標点への移動

動操作を行う作業を 1 セットとし, 右手の拇指から小指までの各指で 1 セットずつ行う。

- (4) 被験者が操作するポイントが目標点まで到達するのに要した時間と, ポイントの軌跡を記録する。

4.2 実験結果と考察

タスクごとに全被験者が各目標点への移動に要した平均時間の箱ひげ図を図 5 に示す。結果より, 示指, 中指, 拇指, 薬指, 小指の順でタスク遂行に要した時間が短い。また, 代表的な被験者のポイント操作の移動軌跡を図 6 に示す。図 6 より, 薬指, 小指と比較して示指, 中指でのポイント操作は, 目標点に対してより直線的な軌跡を描いている。以上より, 示指, 中指は他の指と比較して, 指先に加える力を制御することが容易であるといえる。

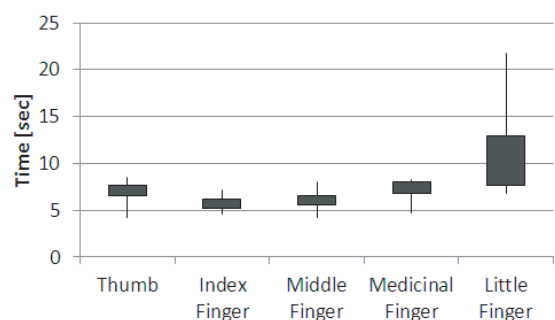


図 5 静止目標点へのポイント移動に要した時間

5. アプリケーション

本研究では, 実空間中の任意の面においた 5 本の指先から得られた力を利用し, ディスプレイ中のアバターハンドを操作するアプリケーションを作成した。本アプリケーションでは, 片手 5 本の指先に加えた力とディスプレイ中のアバターハンドの各指の曲げ角度を対応させた (図 7)

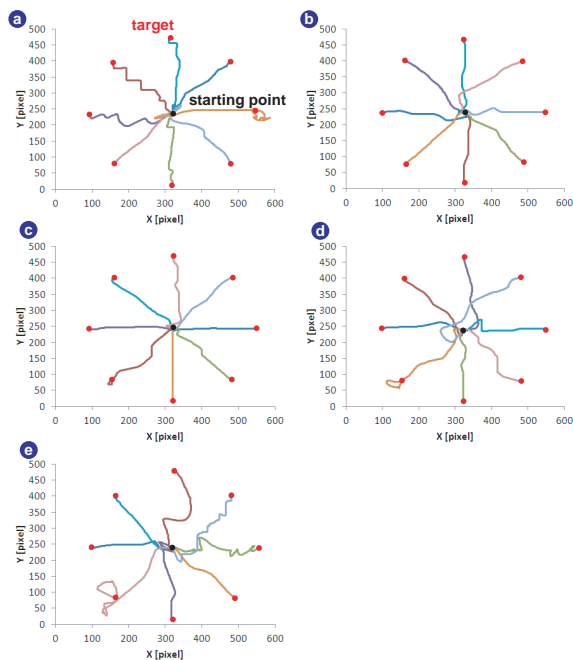


図 6 代表的な被験者のポイント移動軌跡 (a) 拇指 (b) 示指 (c) 中指 (d) 薬指 (e) 小指

6. まとめと今後の課題

本稿では、カメラを用いて、実空間中の任意の面に対して加えた片手 5 本の指先の力およびその方向を認識する手法について述べた。また、人間の各指の役割は均等ではないと仮定し、指ごとの指先力制御の容易さの違いを見るための実験を行った。実験結果より、ポインティング操作において、各指の指先力制御の容易さに違いが見られた。今後は実験結果に基づいて各指の指先力に重みづけし、設定した重みに基づいて複数の指先力を組み合わせた実験を行うことで、人間がどこまで正確に指先の力を制御することができるかを検証し、ユーザビリティの向上につなげたい。また、圧力センサ等を用いて現行システムの精度評価を行うことで、指先押下検出精度の向上を図りたい。

参 考 文 献

- 1) Joe Marshall, Tony Pridmore, Mike Pound, Steve Benford and Boriana Koleva: Pressing the Flesh: Sensing Multiple Touch and Finger Pressure on Arbitrary Surfaces. In Proc. of Pervasive, pp.38-55 (2008).
- 2) Stephen A. Mascaró, H. Harry and Asada: Measurement of Finger Posture and Three-Axis Fingertip Touch Force Using Fingernail Sensors. IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.20, Issue 1, pp.26-35 (2004).

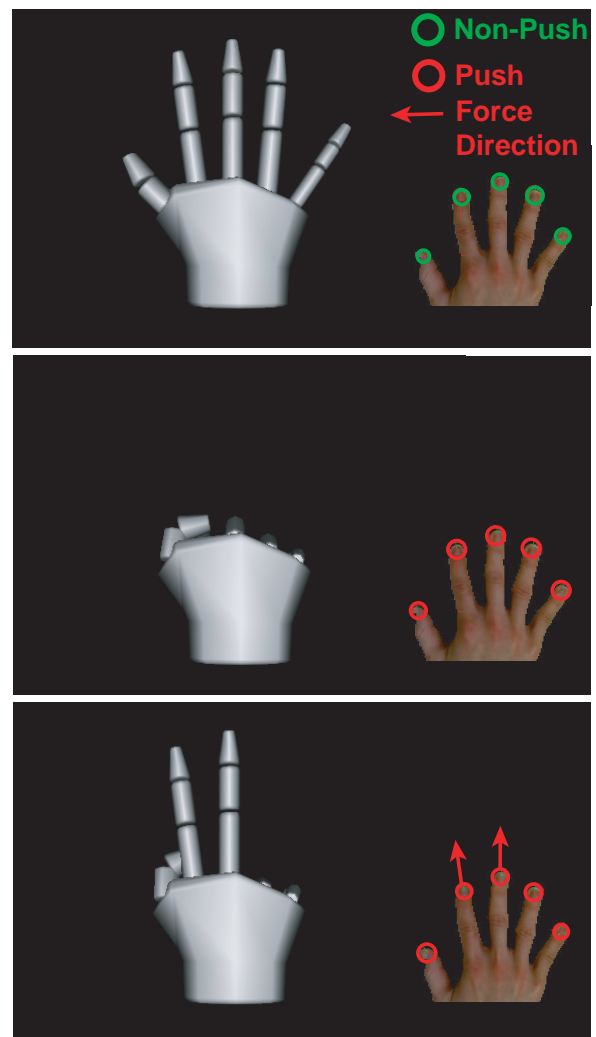


図 7 指先に加えた力によるアバターハンド操作

- 3) Yu Sun, John M.Hollerbach and Stephen A. Mascaró.: Finger Force Direction Recognition by Principal Component Analysis of Fingernail Coloration Pattern. Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp.90-95 (2007).
- 4) 杉田尚基, 佐藤宏介, 爪画像を用いた指先の押下方向推定によるインタラクティブサーフェス, 第 52 回自動制御連合講演会, E6-4, pp. 1-6, 2009.