

# 人体形状センサ SmartSkin を利用した複数オブジェクトの同時操作手法 Massively Parallel Manipulation Techniques with SmartSkin

福地 健太郎<sup>†</sup>  
Kentaro Fukuchi

暦本 純一<sup>‡</sup>  
Jun Rekimoto

## 1. はじめに

我々は実生活において、手や腕を使って、多数の物体を同時に動かす操作を日常的に行っている。例えば卓上に散らばった小銭を両手を使って一箇所にかき集めたり、消しゴムかすを払いのける作業が挙げられる。

一方、今日一般的な GUI システムでは、ユーザーはマウスやペン等のポインティングデバイスを用いて画面上的オブジェクトを指し示して操作するが、通常ポインティングデバイスは一つであり、ユーザーは同時には一つのオブジェクトしか選択する事はできない。

こうしたシステムにおいて複数のオブジェクトを同時に操作する際には、まず操作対象となるオブジェクト群をあらかじめ選択し、その後にもとめて移動させるなどの操作を指示するという手順を踏むのが一般的であるが、この手法は二つの点で利便性が低い。一点は、オブジェクトを選択する際に一般には矩形領域を指定して選択するが、対象となるオブジェクトが一つの矩形領域には収まらない場合には複数回の選択操作を必要とする点である。もう一点は、選択したオブジェクト群はすべて同方向にしか動かせない点である。

本研究では、人体形状センサである SmartSkin[2] を用いてセンサ面上にある手や腕の形状を計測し、その二次元方向の移動・変化をオブジェクトの操作に利用する事で、冒頭に挙げたような操作を実現した。

## 2. SmartSkin

SmartSkin[2] は、静電容量計測技術を応用した、人体の形状と位置を認識するセンサ技術である。ユーザーの手の位置と形状を二次元で計測すると共に、センサ面から手までの距離を計測することができる。センサ面には格子状に電極が敷設されており、横方向の電極には交流信号が印加されている。交差する電極同士は静電結合するため縦方向の電極にも微弱な電流が流れるが、センサ面に人体が近付くと流れる電流は弱まる。センサ面と人体の距離が近いほど、電流の低下幅は大きい。この変化を計測する事で、センサ面上にある手や腕の形状を計測する。

SmartSkin の実装は 2 種類ある。一つはテーブル型のシステムで、8×9 の電極格子を敷設しており、各格子の大きさは 10×10cm となっている。二番目はタブレット型のもので、32×24 の電極格子からなり、各格子の大きさは 1×1cm となっている。

図 1 上段が、タブレット型のセンサ面上に置かれた手と、計測データの対応を表している。上段右図は、計測値をグレイスケールで表してある。取得した人体形状データの解像度は粗く、そのままでは後の処理に適さないので、3 次畳み込み内挿法 (bicubic convolution interpolation) による補間処理を施す。図 1 下段左図が、補間処理適用後のデータである。指先や掌の形状がはっきりと観測できていることがわかる。

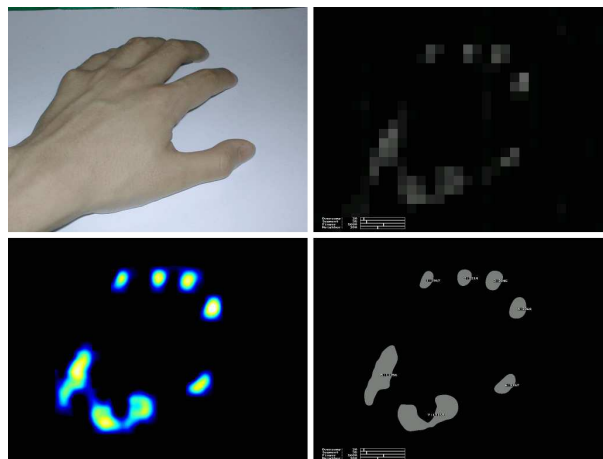


図 1: 指先認識の各段階: SmartSkin に手を乗せた状態 (左上), SmartSkin から出力値 (右上), 補間処理を施した状態 (左下), 領域分割後の状態 (右下)

我々はすでに SmartSkin を利用した多点入力システムを開発している [1]。このシステムでは、利用者は指先を用いて同時に複数箇所の座標入力ができる。動かしたいオブジェクトが 4~5 個程度であれば、指先での多点入力による同時操作が可能であるが、より多数のオブジェクトの同時操作には向かなかった。

## 3. 同時操作の手法

多数オブジェクトの同時操作を実現するための手法として、我々は以下の二つの手法を実装した。一つは取得データからポテンシャル面を生成し、勾配に沿ってオブジェクトを移動させる手法である。もう一つは、取得された形状データの動きをオプティカルフロー (Optical Flow) 法によって解析し、オブジェクトの動きに反映させる。

### 3.1 ポテンシャル面による手法

本手法では、SmartSkin から取得したデータを元に仮想的なポテンシャル面を生成する。先述した補間後データの各二次元座標上の値を、その座標のポテンシャルとして用いる。この際、図 2 左のように、手がセンサ面に近いほどポテンシャルが高くなるように対応させる。その結果、センサ面上の手を頂点とした、滑らかなポテンシャル面を得る。次に、画面上にあるオブジェクト全てに対し、このポテンシャル面の勾配から力を受けて物理運動をさせる。すると図 2 右のように、各オブジェクトは手から遠ざかるような運動をする。

我々はこの手法を二種類のアプリケーションに適用した。一つはテーブル型の SmartSkin を用いたビデオゲームアプリケーションで、画面上に沢山転がっている小さな球を、自陣に沢山集めた方が勝つ、という内容のものである [3]。本手法を適用する事で、利用者は、手や腕全体を使って、球をかき集めるように操作する事が可能になった。このアプリケーションでは、球の運動に動摩擦

<sup>†</sup>東京工業大学情報理工学研究所

<sup>‡</sup>ソニーコンピュータサイエンス研究所

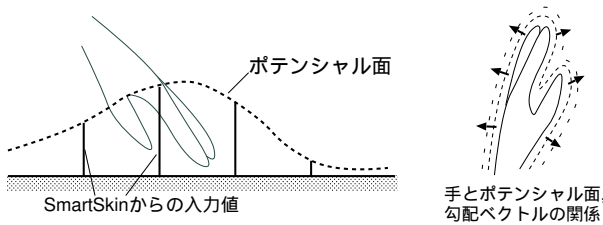


図 2: 左:手と補間曲面の関係。手がセンサ面に接近している付近でポテンシャルが高くなる。右:左図で形成されたポテンシャル面の勾配に沿って、手から遠ざかる方向に力が働く。

を設定せず、一度勾配に沿って転がりだした球は止まる事がない。

もう一つは仮想的なデスクトップシステムを模したもので、タブレット型の SmartSkin を用いて操作する。画面上に多数のアイコンが置かれており、それらがポテンシャル面からの力を受けて移動する。本アプリケーションにおいては、アイコンの運動に動摩擦を設定し、ポテンシャル面からの力を受けない場合にはすぐに停止するようになっており、アイコンを目的の場所に留め置く事ができるようにした。

本手法により、利用者は手の端などを使って、多数のアイコンを同時に動かす事ができるようになっている。また、両手を使ってかき集めるように操作する事でアイコンを一箇所にまとめたり、両手を合わせた状態でセンサ面に触れ、それぞれの手を反対方向に動かす事で余分なアイコンをどけ、目的の場所に空き地を作るといった操作が実現できた。

### 3.2 手の動きを解析する手法

本手法では、接触面の形状や位置の変化を、オプティカルフロー法を用いて解析する。まず補間後のデータを、処理速度向上のため  $64 \times 48$  に縮小し、オプティカルフローを解析する。SmartSkin が出力する値は厳密には静電容量を表すが、これを輝度情報としてオプティカルフロールーチンに与えても手の動きを追跡することができた。解析されたフローはベクトル場として得られる。画面上の移動可能なオブジェクト全てに対し、ベクトル場から受ける力を計算し、オブジェクトの移動量を求める。これにより、手の動きを利用しての多数のオブジェクトの同時操作が実現される。

本手法を、前節で挙げた模擬デスクトップシステムに適用した。図 3 はかき集め操作の例を示す。利用者は手の端を使って、センサ面上でアイコン群をかき集めるように動かすことで、一度に多数のアイコンを動かすことができる。図 3 では画面中央付近に空き領域を作るためにかき集め操作を行っている。

### 3.3 多数オブジェクトの同時操作と多点入力の統合

これまでに述べた手法は、個々のオブジェクトを個別に扱わないおおまかな操作のための手法である。一方で、実際のアプリケーションではこうした大規模操作ではなく、個々のオブジェクトを対象とした操作が必要であり、従来のようなポインティング操作が求められる。我々は、こうしたポインティング操作と大規模操作とを同一のシステムで実現するための手法を提案する。

SmartSkin を用いたポインティング入力では、得られた形状データから指先のみを識別し、その重心を計算する事で実現している。接触している部分が指先かどうかは、その接触面積の大小から決定している。一方、かき

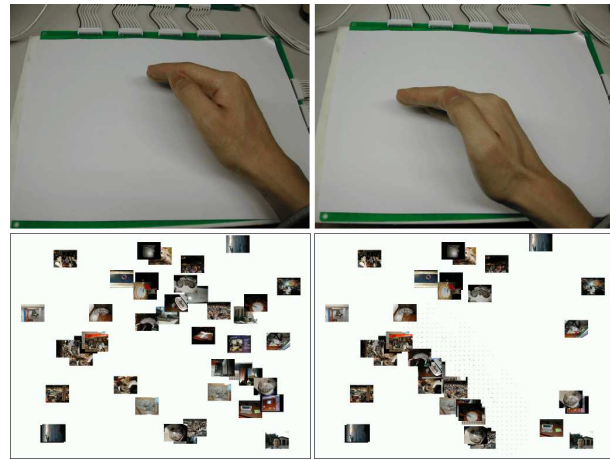


図 3: 手の縁をセンサ面にあてながら動かすと(上図)、画面上のアイコンが片側に寄せ集められる(下図)。

集め操作のような大規模操作の場合は、その接触面積は指先に比べて十分に大きい。そのため、接触面積が小さい時はポインティング入力、大きい時は大規模操作として扱うことで、同一のインタフェースで二つの入力手法の使い分けが実現できる。この手法により、利用者は手の使い方を切り換えるだけで(他の方法で操作モードを切り換えたりすること無しに)二つの操作を使い分けることができる。接触部位のそれぞれで同様の判定を行えば、二種類の操作を同時に認識する事も可能であり、複数人による混合操作にも対応可能である。

## 4. まとめと今後の課題

手や腕などの形状をオブジェクト群の同時操作に適用する手法を開発した。本手法は、個々のオブジェクトに個別の指示を与えるのではなく、オブジェクト群に対して全体操作をしたい場面向く。また、エンタテインメント分野では 3.1 節で示した応用の評価は高い。今後は、大規模可視化システム等の表示オブジェクト量が非常に多いアプリケーションの操作に本手法を適用して、有効性を検証していく。

現在の SmartSkin の実装では計測速度は毎秒 20 回程度であり、この速度では手を素早く動かしてかき集め操作をしようとした場合、いずれの手法においてもオブジェクト群を手が追い抜いてしまい、期待した動作にならない。計測速度の向上を図るとともに、手とオブジェクトの衝突判定に基いた手法を検討している。

## 参考文献

- [1] Fukuchi, K. and Rekimoto, J.: Interaction Techniques for SmartSkin, *Proceedings of UIST'02* (2002).
- [2] Rekimoto, J.: SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces, *Proceedings of CHI2002*, pp. 113-120 (2002).
- [3] 福地健太郎, 暦本純一: 人体形状センサのエンタテインメント応用とそのインタラクション技術, *エンタテインメントコンピューティング 2003 論文集*, pp. 70-74 (2003).