

学位論文要旨

Extending Interaction using Hand Motor Skills and Physical Objects on Capacitive Touch Surfaces

(静電容量方式タッチサーフェス上の実物体と手指動作を用いたインタラクション拡張)

お茶の水女子大学

池松 香

人の思索的・創造的行為は多くの場合「平面」と共にある。人は平面に文字を記す、絵を描くといった行為を悠久の昔から行ってきた。現代でも、我々は書類への筆記や作図、机の上での手芸や工作といった作業にはじまり、キャンバスへの描画、会議でのホワイトボードを用いた説明、まな板の上での調理、点字の読み取り、チェスやカタンといったボードゲームなど、平面に対し手指を利用し、または平面の上で物や道具を用いた行為を限りなく日常的に行っている。こうした思索的・創造的行為のための平面は、コンピュータの入出力装置としての特性が追加されることで、その利便性が強化されてきた。現在、最も一般的な指示装置として普及したタッチ入力機器（タッチサーフェス）もまた、思索・創造的行為のための人と平面の歴史の中に位置付けられうる。

タッチサーフェスは、シングルタッチ、マルチタッチ、実世界におけるメタファを元にしたタッチジェスチャなど、マウスやトラックボールといった指示装置と比較して、かつてない自由な入力操作を可能にする。しかし、人が平面に対し行ってきた多様な思索的・創造的行為をふりかえると、タッチサーフェスの二次元平面におけるインタフェースは、人の身体能力や空間認識能力のごく限られた部分を取り入れているに過ぎず、未だ改良・開拓の余地が多く残されている。本研究は、実世界で人が平面に対し行ってきた手指動作、すなわち平面に対する人の能力を操作に取り入れることで、タッチサーフェスにおけるインタラクション拡張のためのインタフェース構築を行うことを目的とする。

本研究では、手指動作をタッチサーフェス操作へ導入する二つのアプローチについて検討する。第一のアプローチは、タッチサーフェス上で実物体のオブジェクトを用いる方法である。タッチサーフェスと連携可能なオブジェクトを利用し、そのオブジェクトに対する動作をセンシングすることで、多様な手指動作を導入する。第二のアプローチは、実世界で人が行う動作をメタファとして導入し、その動作から想起される操作をタッチ入力として取り入れる方法である。これにより、操作に対するユーザの理解・認識を、単なる平面上の座標の指示ではなく、日常生活に用いるような手指動作へと変容させる。本論文では、上述のアプローチにより実施した五つのインタラクション拡張技法の構築、開発及び評価について述べる。各研究では個別に研究背景及び目的について記述し、タッチサーフェスを拡張するインタフェースを構築し、各目的に則した評価の実施により有用性を検証する。各章の概要を下記に示す。

第1章では、タッチサーフェス入力操作における問題の所在について述べ、本研究にて扱う課題を明確にする。次に本研究の目的と手段について説明する。最後に、本研究にて遂行した各インタラクション手法構築についての概要を説明し、本論文の構成を示す。

第2章では、タッチサーフェス技術動向について、主にタッチサーフェスを構成するハードウェアの観点から述べる。次いで、現在市販されている製品などで採用されている主要なタッチセンシング技術について紹介する。最後に本研究で対象とする静電容量方式タッチサーフェスについて詳解する。

第3章では、本研究と関連する研究領域として、Tangible User Interface や、実世界指向インタフェース及び身体的メディアを初めとした実世界の物体や事象に基づくアプローチについて、代表的な研究事例を引用しつつ紹介する。また、上述したアプローチによりタッチサーフェスにおけるインタラクションを拡張する具体的なインタフェースやインタラクション手法について、技術とHCI (Human-Computer Interaction) の両視点からまとめ、本研究の特徴や位置付けについて述べる。

第4章では、「なぞる、握る、潰す、曲げる、回す、かざす」といった多様な動作の検出を目的とするセンシング拡張手法、`Ohmic-Touch`について述べる。Ohmic-Touch は静電容量方式のタッチセンシング機構に着目し、タッチサーフェス内電極からの「流出電流」をアナログ的に利用し、手指動作の検出を行う。パッシブな電気抵抗部品を組み込んだ実物体の電気的性質（電気抵抗値）を利用し、「なぞる、握る、潰す、曲げる、回す、かざす」といった多様な手指動作の検出を試みる。これは、パッシブな機構のみを用い、タッチ入力発生有無のみを利用した従来の離散的なタッチ入力を連続的に拡張することで手指動作の導入を目指すものである。

第5章では、第4章のセンシング拡張手法を利用し「押す、ずらす」手指動作を利用したForce-to-Motion方式の入力機器、`Ohmic-Sticker`について述べる。本入力機器は、抵抗値変化するパッシブな感圧センサをタッチサーフェスとタッチサーフェス筐体部の間に介在させ、センサ部への押下により入力操作を行うものである。これにより、アナログ的な押下、ジョイスティックのような二次元操作、さらには3DVR空間における6DoF (Degrees of Freedom) 操作のための機構を検討する。本入力機器の作成要件を検討し、その要件に基づき実装した入力機器の性能評価を行う。

第6章では、携帯型タッチサーフェス内蔵の各種センサを利用し「引き寄せる」動作に基づいたインタラクション手法、`Copernican-Touch`について述べる。通常、タッチサーフェスへタッチ入力を行う際には、指をタッチサーフェスへ近づけ、接触させる。これに対し、本手法では「タッチサーフェス側を動かし、指の方向へ引き寄せて接触させる」ことによるタッチ入力を検討する。この動きを携帯型のタッチサーフェス内蔵の加速度・ジャイロセンサなどを用いることで通常のタッチ入力と区別し、明示的な待機時間無くモード切替の実現を目指す。

第7章では、平面から異なる平面上へ物体を「持ち上げる、置く」動作に基づいたインタラクションである`Memory Stones`について述べる。本手法は、異種・複数タッチサーフェス間におけるデータの移動を、タッチサーフェス上で「持ち上げ」、異なるタッチサーフェス上へと「置く」という身体的な動作により行う。これにより、識別機能を持つペン型デバイスやセンサを介在させることなく、複数指で物体を持ち上げて別の場所へ置くような直感的な操作によりデータ移動を行うことを目指す。

第8章では、平面上で薄く捲れやすいカーボン紙を「押さえて書く」動作に基づいたインタラクション手法について述べる。本手法は、タッチスクリーンのような入力面座標が画面座標に一一対応する絶対座標系による入力及び、タッチパッドのような指の移動量をポイン

タの移動量に対応させた相対座標系を基準とした入力の切替をシームレスに行うことを目指す。本手法では「カーボン紙」を用いて転写するメタファを、実世界における道具の使用時の観察実験を基に取り入れることで操作概念の提示を試みる。

第9章では、第4章から第8章の研究についての総合的な議論を行う。まず、第一のアプローチによるインタラクション手法の構築を通じ、静電容量方式タッチサーフェス上で利用する実物体インタフェースの設計指針を示す。次に、実世界の物理法則や事象を単に仮想世界へ持ち込み、適用するだけでは、実世界特有の困難や制約も同時に発生させてしまうという問題がある。これについて、第二のアプローチによるインタラクション手法の構築を通じ、タッチサーフェスにおけるインタフェースの観点から議論し展望を示す。これにより、平面上での操作を本来の姿へと戻しつつ、利便性の退化を避けることを目指す。

第10章では、本論文で述べた、タッチサーフェスにおける実物体と手指動作を用いたインタラクション拡張の展望について総括し結言とする。