

審査の結果の要旨

氏名 佐藤宗彦

人と情報技術の関わりにおいて、これまでそのインタフェース技術は様々なものが研究・提案されてきた。今日、実空間中でのインタラクションや実物体を用いた操作などが実際に取り入れられ始めるなど、この研究分野は大きな転換期に差し掛かっていると言えるだろう。本論文では、物体のもつ電気的な周波数特性を利用することで、実物体に対するタッチやジェスチャインタラクションの検出・分類法を述べ、評価している。更に、提案手法を用いたアプリケーションを提案している。

第一章「Introduction」

実空間におけるコンピュータとのインタラクションでの、ユーザの手指によるタッチの重要性を述べ、アフォーダンスや Thoughtless Acts 等の心理学領域での事例を交えて、ユーザが行う身体動作を上手く操作に取り入れることの重要性を議論している。

第二章「Sensing users' motion in the physical world」

実空間中でのユーザの位置や動きの検出と利用について、バーチャルリアリティおよび、ヒューマン・コンピュータ・インタラクションの分野を中心として先行研究や事例を整理している。具体的には、居住空間などの環境へセンシング機構を埋め込む手法と、ユーザの身体へセンシング装置を取り付ける手法の二つに分け、さらに機械的リンクを用いる方法、磁気センサを用いる方法、光学センサを用いる方法、音響センサを用いる方法、圧力・静電容量センサを用いる方法に分類して、それぞれの特徴、問題点、技術的限界を比較し議論している。

第三章「Swept Frequency Capacitive Sensing (SFCS)」

実物体上でのユーザの手指や身体によるタッチジェスチャを検出し識別するセンシング方法として、SFCS 手法を提案した。これは、物体や人体組織がそれぞれユニークな電気的な周波数特性を持つ事を利用し、幅広い複数の周波数で静電容量を計測することでユーザがどのように物体に触れているかをジェスチャとして認識する手法である。

提案手法の原理的裏付けとして、従来の静電容量タッチセンサの原理を紹介した上でその機能的限界を示すと共に、物体と身体の高構成要素・体組織による電気的周波数特性の違いを述べている。

第四章「Swept Frequency Capacitive Sensor Implementation」

提案するセンシング手法の実装方法と、実装に当たって必要な周波数帯・バイアスインダクタなどの各種パラメータの決定方法を述べ、実際に実装したシステムの技術的詳細を記述している。具体的には、波形生成 IC をマイクロプロセッサで制御し生成したサイン波を増幅した後、 $220\mu\text{H}$ のバイアスインダクタを介して実物体へ

と信号を印加し、そのインピーダンスを計測する。これを、1kHz から 3.5MHz の間の 200 の異なる周波数で高速に繰り返すことで、ユーザの手指や身体の実物体へのインタラクションによるインピーダンスの周波数特性の変化を観測し、機械学習により分類することで各ジェスチャの識別が実現されることを述べている。

第五章「Touché Configurations」

本センシング手法を用いたシステム Touché を利用するケースを、物理的・電氣的構成の観点から五種類に分類し、それぞれを議論している。この五分類は、1) 既存の日用品上でのジェスチャセンシング、2) 環境中でのユーザの姿勢や行動のセンシング、3) タッチパネルでのジェスチャ入力幅の拡張、4) 通常インタフェースとして用いない液体の利用、5) 身体上でのハンドジェスチャ入力、である。

第六章「Touché Evaluation」

実装した Touché センシングシステムの前章の 5 つの分類におけるジェスチャ識別精度の評価実験を行い、いずれにおいても 95~99%の精度での認識が可能であり、ユーザインタフェースとしての十分な認識精度を確認している。更に、各分類において、認識精度の高かったジェスチャ、また逆に認識精度の低かったジェスチャについて、その原因を議論し、経路のインピーダンスの総和が大きく作用してくることと、身体と実物体の接触面積及び電気信号の経路となる身体の断面積が各ジェスチャの設計において重要なファクターであることを示している。

第七章「Further Applications」

本提案センシングシステムを用いたアプリケーションとして、二つの例を示している。複数ユーザによるタッチパネルタブレットデバイスでの協調作業においてどちらのユーザが操作しているかを識別するシステムを提案・実装し、85%のユーザの組み合わせにおいて 97%を超える識別率があったことを示している。もうひとつの例として、従来入力インタフェースとして用いられてこなかった植物を用いたインタフェースを提案し、実装したインストール作品の詳細を述べている。

第八章「Conclusion and Future Work」

本論文における結論、並びに本センシングシステムによって期待される展開として、不特定多数が事前学習なしに利用可能なシステムの実現と、システムの普及のための低コスト・小型化・省電力化について述べている。

筆者によって提案されたタッチ・ジェスチャインタラクションの為のセンシング手法は、実物体及びユーザの身体の電氣的周波数特性を利用することで、生活空間中の既存の実物体を利用した自然な動作のセンシングを可能とするものである。また、提案手法による具体的なアプリケーション例も示された。また、提案システムを利用する際の設計指針が示されており、幅広い分野に対して高い実用性が期待される。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。