

論文の内容の要旨

身体表面を介した入力インタフェースのための 位置情報と能動接触のセンシング

氏名：中妻 啓

本論文では、ユーザの身体表面を始めとする面をインタフェースとして用いるヒューマン・コンピュータ・インタフェース (Human Computer Interface, HCI) システムを目的とする面上の接触および位置情報計測手法について扱う。位置情報は時間と並び事物の状態を記述する重要な物理量であり、物や人の位置を正確に取得する技術はセンサネットワーク、ロボット、ユビキタスコンピューティング、ヒューマンコンピュータインタフェースなど広範な分野で重要とされている。特に本論文では日常環境で多くの物体が机や床などの面に触れている点、面が印刷物からディスプレイまで情報提示・入力デバイスとして広く利用され人間と事物との重要なインタフェースである点に注目し、面上の位置情報取得について扱っている。

本論文の前半部分では物の表面における位置情報に注目し、二次元通信環境におけるデバイス位置・方向計測手法の提案と試作機による実証を行っている。二次元通信は二次元通信シートと呼ばれる面上の導波路を介して、シート上に置かれたノード間が無配線・非接触にデータ・電力伝送を実現する技術である。本論文では二次元通信シートに位置情報を導体パターンとしてコーディングし、静電容量センサによりこれを読み取りセンサ自身の位置・方向を決定する手法を提案し、提案手法についてその性質や限界についての理論的考察を行っている。具体的には 17 m 四方のシート上で 7 cm 角のセンサが一意に位置・方向を同定できることを示している。また、試作機の実装と実証実験も行っており位置については 4 mm 以下、回転角については 3 deg 以下の高精度な位置・方向測定を達成している。

前半部分で二次元通信環境において二次元通信シートという面に接触するデバイスの位置計測法を扱ったのに対し、後半部分ではこれを物の表面から身体表面へと発展させ入力インタフェースに応用可能な位置・接触センシングについて扱っている。

近年、スマートフォンやタブレット端末に代表される高機能の携帯型情報機器の普

及がめざましい。こうした情報機器のほとんどは従来の携帯電話などと異なり情報提示を行うディスプレイ（スクリーン）とユーザが入力を行うインタフェースを一致させたタッチスクリーンを採用している。これは、高機能化・複雑化した現代の情報端末の操作に必要な多様な入力インタフェースを限られたサイズの機器上で表現するための工夫であると考えることができる。また従来のフィジカルなボタンやダイヤルといった入力インタフェースに比べ、製造の工数の減少、メンテナンス性の向上といった利点がある。さらに状況に応じてプログラマブルにボタンなどの配置を変更できる点も多様なインタフェースの設計ができる。

一方タッチスクリーンを利用したインタフェースの問題点として、操作指によるディスプレイの遮蔽や、物理的なボタン等が無いことによる触覚フィードバックの欠如が指摘されている。本論文の後半では、これらの問題点を解決するための手法としてユーザの身体表面を接触するインタフェースのための新たな計測手法を提案する。すなわち、従来タッチインタフェースで行われてきたポインティング入力、タップ入力等の操作を我々の身体上に触れることにより実現するという枠組みである。身体をインタフェースとして利用する利点は我々が持つ以下の 2 つの身体感覚を利用するという視点から整理することができる。

まず一つ目の身体感覚として体性感覚を取り上げる。現状のタッチスクリーンデバイスでは GUI (Graphical User Interface) が採用されている。一方、現在は音声インタフェースやジェスチャ入力など GUI の代替となる入力モダリティへの期待が高まっている。これは GUI 機器を操作する際に、ディスプレイに視線を集中することを要求されるために、小型機器によって様々な動作を行いながら機器の操作も同時に行うという状況では危険が生じるといった理由がある。また、現在の動作を止めることなく操作ができれば、デバイスを使用する際の快適度も上がる。

我々が提案する身体表面への接触を検出するインタフェースでは、我々が持っている体性感覚を利用して従来視覚で行ってきた役割のうち、入力位置制御の役割を代替することが可能であると考えている。ここで重要な点は、身体表面をインタフェースとして利用することで操作者と入力対象の原点を一致させることができることがある。原点を共有することで、体性感覚のみによって正確に身体上の特定の位置を指示できることは、目を閉じた状態で自身の身体上の様々な部位を触ってみることで容易に実感することができる。

二つ目の身体感覚としては皮膚感覚があげられる。既に述べたように急速に普及が進むタッチスクリーンデバイスへの要求として従来のフィジカルなボタンの操作のように、デバイスを目視しなくても簡単な操作を実現する触覚フィードバックが望まれている。これに対し、我々の提案手法では身体表面へ接触する際に生じる皮膚感覚によりこうした要求に答えるインタフェースシステムを構築可能であると考えている。従来のフィジカルなボタンを有する機器で視覚補助なしに操作ができていた理由は、指先の感

覚で操作すべきボタンが認識できたからである。これは、キーボードのタッチタイピングでも同じことが言える。タッチスクリーンはインタフェースデザインの自由度とのトレードオフとして、こうした触感によるインタフェースの認識手段を排除した。しかし、身体表面をタッチインタフェースとして利用すれば、操作を行う手や指にとっては通常のタッチスクリーンを操作するときと変わらない様な触感しか得られなくても、操作対象となる身体表面では今どこが触れているかが認識できる。すなわち、身体表面上に簡単に覚えられる程度のボタン等のコントロールを配置しておけば、皮膚感覚によりどの位置を指示するかを制御することで視覚に頼ることなく入力操作を行うことができる。

以上の枠組みを実現するため、本論文後半では以下の2つの手法を提案している。

まず本論文前半の二次元通信シート上の位置情報計測手法を衣服に拡張し、衣服を利用してユーザが自身の胴体に触れる動作をセンシングするシステムを提案する。提案手法を身体表面上でのポインティング入力として用いた際の特性、特に操作入力時に視覚フィードバックが得られない際の体性感覚・皮膚感覚の影響についてユーザ評価実験を実施し、既存入力手法との比較による検証を行っている。

さらに、衣服を利用した手法では特殊なパターンを持つ衣服を身に付けユーザが手カメラデバイスを把持する必要があるが、手の甲に直接触れる指先位置を検出するためリストバンド型センサを利用した手法を提案する。手は我々の全身の中でも極めて高い皮膚感覚を持つことが過去の調査により知られている。また、操作する側の手で最もアクセスが容易な身体部位として空いているもう片方の手をインタフェースとして利用する利点も持つ。提案されるリストバンド型センサでは指先位置の検出は手首に配置される赤外光反射センサアレイにより行われる。複数の赤外光反射センサにより得られる反射光強度分布から指先の位置を算出する。

後半で提案した2つの手法については、身体表面上でのポインティング性能を調査するための被験者実験を行った。実験からは、比較手法として用意した光学式マウスやポインティング・スティックに対し、皮膚感覚あるいは体性感覚を利用できるという特長が、特に視覚フィードバックの無い状況で顕著に表れる結果が得られた。

これらの手法を実際のインタフェースシステムとして利用する場合は、身体上（胴体上、手の甲上）のどの位置にどういった機能を割り当てるかのインタフェース設計が重要になる。そこで、身体表面をポインティング入力インタフェースとして利用する場合のインタフェース設計の指針として、上記2種類の手法でボタンコントロールを配置した際に隣り合うボタンをユーザが区別して指定できるおおよその配置間隔を調査する実験を行った。実験結果から、胴体上ではおよそ70 [mm]、手の甲上ではおよそ25 [mm]の間隔でボタンを配置すればユーザがどのボタンを指定したかを弁別可能である、という知見が得られた。