

# 論文の内容の要旨

## 高速ビジョンを用いた指入力システムの研究

氏名 新倉 雄大

近年、携帯機器小型化の技術進歩に伴って、携帯電話やスマートフォン、PDAなどが広く世の中に普及するようになってきている。しかし最近では、携帯機器の小型化が進んだ影響で、機器表面に広い操作領域を確保した入力インターフェースの実現は難しくなっており、操作性の低下が問題となっている。このような問題は、人間の身体的な特徴に由来する問題と考えることが出来る。人間に由来する制約は大きく変化するものではないため、この問題を解決するためには、新たな入力インターフェースを開発することが必要不可欠である。

新たなインターフェースを考えるにあたって、ナチュラルユーザーインターフェース (NUI) と呼ばれる概念は大きな意味を持つと考えられる。NUI のコンセプトは、我々人間が自然に行う動作や発話を基本としてインターフェースの入力に利用しようというコンセプトであり、そのコンセプトに基づく限り提案されたインターフェースでは人間の身体的な特徴に由来する制約問題は発生しないと考えられる。しかし、自然な動作とは言っても、新たなインターフェースの実現においてどのような入力方法を利用するかという選択は慎重に行う必要がある、ジェスチャ入力や音声入力などの入力方法は社会的受容性の観点から一般的な利用は難しい。

そこで、本研究では、自然な入力として、手を用いた入力システムを考える。従来の携帯機器においても、操作のほぼすべてが手を用いた入力であるため、社会的受容性は高いと考えられる。また、我々の身体の中でも、手は最も器用な動作が可能な場所であるため、複雑な入力を実現することも可能であると考えられる。

本論文は、以下のような構成となっている。

第二章では、携帯機器入力に関する種々の先行研究を紹介し、先行研究のメリット・デメリットをまとめる。また、求められる新たな携帯機器向けのインタフェースとはどのようなものであるか、ということについて議論する。さらに、そのような携帯機器向けのインタフェースを実現する上で考慮すべき問題についても述べる。

第三章では、小型機器において細かい操作を行うことの困難性を問題として取り上げる。この問題を扱う先行研究を紹介し、携帯機器の形状をなるべく変えること無く実現可能な新たなインタフェースに求められる要求をまとめる。そして、それらの要求を満たす新たなインタフェースとして、単眼の高速カメラを用いて指先の動きを 3 次元トラッキングし空中での操作や入力動作が可能な、空中操作インタフェースを提案する。また、高速な単眼カメラを用いて指先領域の安定した抽出、指先のトラッキング、入力動作の検出を実現する手法を具体的に提案した。システム評価の結果、提案システムがディスプレイの大きさに対して 131%の大きさの操作領域を実現したことを確認した。特に、水平方向についてはディスプレイの 2 倍以上の操作領域を実現した。また、指先位置の推定において、水平方向に平均誤差 2pixel 以内と高精度に行えることを示した。同様に、奥行き方向についても高い精度で推定が行えていることを確認した。この結果は、提案システムが従来よりも遥かに高精度な操作を実現したことを示した。また、赤外線 LED と赤外線フィルタを用いたことで、提案システムが背景に写り込んだ顔や照明に対して極めてロバストに動作することを確認した。また、暗い部屋の中でもロバストに指先トラッキングが行えることも確認した。加えて、1 フレームあたり約 7.2ms という高速な処理を実現した。入力動作検出についても、高い認識率を実現した。フレームレートに関する実験では、15fps では有意にタスク終了までの時間が増加するという結果を得た。レイテンシについてはいずれの場合においても操作時間に有意な差が生まれ、非常に小さいレイテンシの差であってもレイテンシを減少させる事が操作効率の向上に有意に影響を与えるという結果を得た。レイテンシを減少させるためにはフレームレートを高くする事も必要となるため、間接的に高フレームレートの必要性も確認できた。振動フィードバックの実験の結果、振動フィードバックを付加することによってタスクを終了するまでの時間、およびミスタイプ回数を有意に減少させることが出来る事を確認した。従って、機器を把持している手にもみ振動フィードバックを提示することによってシステムの操作効率を改善することが可能である事を示した。

第四章では、将来より小型化する携帯機器を想定し、そのような携帯機器がどのようにあるべきかを述べる。さらに、従来の携帯機器よりも遥かに高速で複雑な入力が可能なインタフェースを実現することを目標とし、関連する先行研究を紹介し、求められるシステム構成や処理について述べる。そして、そのような携帯機器のコンセプトを実現するものとして、小型カメラとコンタクトマイクを一体化して手首に取り付ける Anywhere Surface Touch (AST) を提案する。AST により、机や壁など様々な平面上での複雑な入力を実現

した。AST では画像を用いて指やジェスチャの認識、音を用いた接触状態の認識を行いそれらの情報を統合することで複雑な入力を実現している。様々な環境で利用可能であることを確認するために実験を行った結果、机やクッション、壁、脚の上など身近にある様々な面上で入力可能であることを確認した。また、環境や姿勢などによっては実行しやすい、もしくは実行しにくいジェスチャ入力があることを発見した。将来的にシステムを改良する際や、本システムを用いてアプリケーションを開発する場面において、人間の行い易い動作を把握しておくことは有益であると言える。

第五章では、空中操作における仮想物体とのインタラクションの実体感の向上を目的とし、高速ビジョンと裸眼立体視ディスプレイを用いたインタラクションシステムを提案した。提案システムをデモ発表等した結果、フレームレートを向上させたことによって、ボタンに触れた時の仮想物体の応答が早くなり、実体感が向上したという意見を得た。しかし一方で、指を前後に動かした場合など、急激な速度変化を伴う指先の動きに対しては、仮想物体の動きが指先の動きに追従せず、実体感が低いという課題も見つかった。そこで、本研究では高速ビジョンを用いて得たデータに対してカルマンフィルタを用いた指先位置予測を行うことで実際の指先位置と描画される仮想物体との位置ずれを解消し、操作の実体感を向上させることを目的とした実験を行った。実験の結果、高速な指先の動きを伴う操作において、高速ビジョンを用いた指先位置予測を行うことでより正確に仮想物体とのインタラクションが行えることを確認した。