

論文の内容の要旨

論文題目	人とコンピュータのインタラクション拡張のための画像認識を用いた実世界指向ヒューマンインタフェースの研究
学 位 申 請 者	松 原 孝 志

コンピュータは人の知的、創造的、感性的な活動を拡張するための道具として進化を続けている。人の活動を阻害することなくコンピュータのパワーを利用するために、ヒューマンインタフェースは重要な役割を担ってきた。近年では、人とコンピュータが高度に連携、融合するインタラクションの拡張により人の活動範囲が広がっており、人とコンピュータの界面となるヒューマンインタフェースがより重要度を増している。

実世界指向で直感的な操作性を実現した快適なヒューマンインタフェースは、情報機器製品としてのコンピュータの魅力を高める大きな要因となっている。このような実世界指向インタフェースは、人が常に具体的な環境の中にいるが故に、人の活動において最も基本的であり、広く一般に影響を及ぼす。実世界指向インタフェースにおいて、特に「見て、手を動かす」操作は人が自然に利用でき、尚且つ、最も利用頻度が高い操作のひとつである。そこで、本研究では、実世界指向インタフェースによるインタラクション拡張のために、「見て、動かす」直感的な操作を可能にするヒューマンインタフェースを実現することを目的とした。

「見て、動かす」直感的な操作は、近年、スマートフォンやタブレットなどのタッチ操作を中心に洗練されてきた。これは「中小型」「手元」「ディスプレイ」という限定された実環境でのみ、直感的な操作が実現されていると言い換えることができる。そこで、本研究では、インタラクションを拡張するためのアプローチとして、実環境における画面の「大きさ」「距離」「種類」という基本的な要素が限定されることのないインタラクションを検討し、人の自然な行為を取り入れたヒューマンインタフェースを実現する。そこで、次の2つの観点で研究開発を行った。

- ・ 大画面を最適視距離で操作できるヒューマンインタフェース

大画面は視認性や情報の一覧性に優れる。この長所は、大画面を見やすい距離（以下、最適視距離）に離れて見るときに担保されるため、最適視距離で行う自然な行為を操作に取り入れて、インタラクションの拡張を実現する。

- ・ 非ディスプレイ面に触れて操作できるヒューマンインタフェース

画面に近づいて手を触れて操作することは直感的であり自然な行為として行われるが、プロジェクタやウェアラブルデバイスのように物理的なディス

プレイが存在しない場合、画面に触れて操作できない。そこで、このような非ディスプレイ面に触れて操作できるようにすることで、インタラクションの拡張を実現する。

本論文は以下のように構成される。第一章は序論として、研究の背景とヒューマンインタフェースの役割を述べ、研究の目的とアプローチを明らかにする。第二章では、従来研究について論述し、その課題について議論する。第三章と第四章は、論文の主内容として研究開発したヒューマンインタフェースを整理する。

第三章は大画面を最適視聴距離で操作できるヒューマンインタフェースについて論じる。本研究では、大画面の用途を具体的に定め、その用途を対象とした操作およびシステムを統合的に開発することで、大画面を最適視聴距離で操作するための基本技術を確立する方針とした。この具体的な用途として、ジェスチャ操作を用いてフロアガイドコンテンツをインタラクティブに操作できるデジタルサイネージを選定した。グラフィック構造および操作方法の設計を行い、デジタルサイネージのシステムを実装して試作検証した。また、一般被験者でのユーザビリティ評価により、利用方法を説明することなく目的の操作を実行できる、公共用途に適した実用性を確認した。インタラクションの仕組みとして以下の3つの成果を得て、これにより大画面を最適視聴距離で操作する基本技術を確立した。

- (i) 直観的に操作できるグラフィック構造として、操作対象の情報を階層化するとともに、画面の奥行き方向を利用して階層を可視化する表現が有効である。
- (ii) 直感的かつ効率的に操作可能なジェスチャ操作として、手が近づく動きのジェスチャを認識してメニュー階層の選択操作に適用することが有効である。
- (iii) 大画面の操作は、画面を寝かせて見やすくするなど、身体への負担軽減の配慮が必要である。

第四章は非ディスプレイ面に触れて操作できるヒューマンインタフェースについて論じる。本ヒューマンインタフェースの最も有用な用途は、周囲の実空間の様々な面にプロジェクタやヘッドマウントディスプレイで画面を重畳して表示し、重畳した画面に直接タッチ操作することであると考える。しかしながら、身の回りにある机上や壁面などの様々な面上は、物が置かれる、突起物があるなどの状態が多い。そこで、面上や面の周囲の様々な状態に対応してタッチ検出する方法として、赤外カメラと2つの赤外照明を用いて指先の左右にできる影を利用して指先の接触を検出する新たな手法を提案する。提案手法を用いてタッチ検出を行うシステムを開発した。この開発を通じて、以下の3つの成果を得て、これにより非ディスプレイ面に触れて操作する基本技術を確立した。

- (i) タッチ検出に必要な精度を求める実験を行い、面から指が5mm以上離れたことが判別できれば、ほぼ全てのタッチ操作が検出できることを明らかにした。
- (ii) 赤外カメラと2つの赤外照明を用いて、非ディスプレイ面でタッチ検出できる新たな手法を提案し、高精度なタッチ検出を実現するために、影領域の抽出技術と影の変化の検出技術の2つの技術を開発した。
- (iii) 提案手法の試作検証とタッチ検出精度の評価を行い、80インチの操作対象面の全面で高精度にタッチ検出できることを確認し、提案手法の有効性を確認した。

第五章では本研究の成果を総括する。本研究では、人間とコンピュータのインタラクションの拡張に向けて、実世界指向インタフェースにおける「見て、動かす」直感的な操作を様々な実環境やデバイスで実現するヒューマンインタフェースの基本技術を確立した。ヒューマンインタフェースは、人間とコンピュータの界面としてインタラクションを支える役割を増している。ヒューマンインタフェースが人間にとっての使いやすさを超えて、高度なシステムの質や価値を維持するために効果を発揮する技術開発にさらに努めたい。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 松 原 孝 志

審査委員主査 田野 俊一

委員 広田 光一

委員 柳井 啓司

委員 橋山 智訓

委員 橋本 直己

委員

委員

本論文では、「見て、手を動かす」操作は人が自然に利用でき最も利用頻度が高い操作のひとつであるとの認識のもとに、実世界指向インタフェースによるインタラクション拡張として、「見て、動かす」直感的な操作を可能にするヒューマンインタフェースを実現した。

「見て、動かす」直感的な操作は、近年、スマートフォンやタブレットなどのタッチ操作を中心に洗練されてきた。これは「中小型」「手元」「ディスプレイ」という限定された実環境でのみ、直感的な操作が実現されていると言い換えることができる。そこで、本研究では、インタラクションを拡張するためのアプローチとして、実環境における画面の「大きさ」「距離」「種類」という基本的な要素が限定されることのないインタラクションを検討し、人の自然な行為を取り入れたヒューマンインタフェースを実現した。

具体的には、以下の2つの主内容から構成されている。

(1) 大画面を最適視距離で操作できるヒューマンインタフェース

大画面は視認性や情報の一覧性に優れる。この長所は、大画面を見やすい距離（以下、最適視距離）に離れて見るときに担保されるため、最適視距離で行う自然な行為を操作に取り入れて、インタラクションの拡張を実現した。

(2) 非ディスプレイ面に触れて操作できるヒューマンインタフェース

画面に近づいて手を触れて操作することは直感的であり自然な行為として行われるが、プロジェクタやウェアラブルデバイスのように物理的なディスプレイが存在しない場合、画面に触れて操作できない。そこで、このような非ディスプレイ面に触れて操作できるようにすることで、インタラクションの拡張を実現した。

第一章は序論として、研究の背景とヒューマンインタフェースの役割を述べ、研究の目的とアプローチを明らかにしている。

第二章では、従来研究について論述し、その課題について議論している。

第三章は、本論文の主内容(1)に対応する「大画面を最適視聴距離で操作できるヒューマンインタフェース」について論じている。具体的な用途として、ジェスチャ操作を用いてフロアガイドコンテンツをインタラクティブに操作できるデジタルサイネージを選定し、グラフィック構造および操作方法の設計を行い、デジタルサイネージのシステムを実装して試作検証した。また、一般被験者でのユーザビリティ評価により、利用方法を説明することなく目的の操作を実行できる、公共用途に適した実用性を確認した。インタラクションの仕組みとして以下の3つの成果を得た。

- (i) 直観的に操作できるグラフィック構造として、操作対象の情報を階層化するとともに、画面の奥行き方向を利用して階層を可視化する表現が有効である。
- (ii) 直感的かつ効率的に操作可能なジェスチャ操作として、手が近づく動きのジェスチャを認識してメニュー階層の選択操作に適用することが有効である。
- (iii) 大画面の操作は、画面を寝かせて見やすくするなど、身体への負担軽減の配慮が必要である。

第四章は、本論文の主内容(2)に対応する「非ディスプレイ面に触れて操作できるヒューマンインタフェース」について論じている。本ヒューマンインタフェースの最も有用な用途は、周囲の実空間の様々な面にプロジェクタやヘッドマウントディスプレイで画面を重ねて表示し、重ねた画面に直接タッチ操作することであるが、身の回りにある机上や壁面などの様々な面上は、物が置かれる、突起物があるなどの状態が多い。そこで、面上や面の周囲の様々な状態に対応してタッチ検出する方法として、赤外カメラと2つの赤外照明を用いて指先の左右にできる影を利用して指先の接触を検出する新たな手法を提案している。提案手法を用いてタッチ検出を行うシステムを開発し、以下の3つの成果を得ている。

- (i) タッチ検出に必要な精度を求める実験を行い、面から指が5mm以上離れたことが判別できれば、ほぼ全てのタッチ操作が検出できることを明らかにした。
- (ii) 赤外カメラと2つの赤外照明を用いて、非ディスプレイ面でタッチ検出できる新たな手法を提案し、高精度なタッチ検出を実現するために、影領域の抽出技術と影の変化の検出技術の2つの技術を開発した。
- (iii) 提案手法の試作検証とタッチ検出精度の評価を行い、80インチの操作対象面の全面で高精度にタッチ検出できることを確認し、提案手法の有効性を確認した。

第五章では本研究の成果を総括している。

以上のように、本研究は、(1) 大画面を最適視聴距離で操作できるヒューマンインタフェース、及び、(2) 非ディスプレイ面に触れて操作できるヒューマンインタフェースの方式提案、実証、評価を行っている。これらの研究結果は、高い有用性が認められ、博士(工学)学位論文として十分な価値を有するものと認められる。