

氏 名（本 籍）	近 藤 大 祐（岐阜県）
学 位 の 種 類	博 士（工学）
学 位 授 与 番 号	甲第 270 号
学 位 授 与 日 付	平成 17 年 12 月 14 日
専 攻	電子情報システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	自由曲面ディスプレイの構築とその応用 (A study on the construction of the free-form display and its applications)
学位論文審査委員	(主査) 教 授 速 水 悟 (副査) 教 授 藤 田 廣 志 教 授 高 橋 優 三 助教授 木 島 竜 吾

論 文 内 容 の 要 旨

VR (Virtual Reality)・MR (Mixed Reality) 技術は工業や医療分野などへの応用が活発に行われるようになり、様々なシステムが開発されている。とりわけ、手元で、作業する対象に直接触れて行う作業の仮想化は、種々の実用的アプリケーションへの応用が期待されている。

人間の行う手元作業の基本要素は、自由な観察による立体形状の把握と自由な操作であり、これを仮想化するうえでの理想的なデバイスの要件には、バーチャル物体に対する任意の方向からの観察や直接的操作という入出力両面の機能を挙げられる。さらにより自然なインタラクションのためには、手などとバーチャル物体との隠蔽関係や、焦点調節の矛盾がないことが必要とされる。しかしながら、従来から長く研究されてきた HMD (Head Mounted Display) や IPT (没入型スクリーン投影技術) 等、没入感の喚起を主目的とした視覚ディスプレイでこの要件を満たすのは困難であった。それらに対して、オブジェクト指向ディスプレイと呼ばれる手法が提案され近年注目を集めている。これは、立体的な形状を持ったスクリーン(表示面)を使用して、形状に対応するようなバーチャル物体を重畳表示するものである。バーチャル物体が常に実物体のスクリーンとともにあるので、視・触覚の一致が確実に保たれ、スクリーンに対する操作がそのままバーチャル物体に対する操作となり、さらに任意の方向からバーチャル物体を観察できるようになる。たとえば、オブジェクト指向ディスプレイを用いることで、医学教育用の人体解剖模型を仮想化し、見て触って手に取れる、バーチャル解剖模型を構築することが可能となる。

オブジェクト指向ディスプレイは、表示面がバーチャル物体を包み込むように配置されることによって、HMD や IPT 等の従来型の映像提示手法と比較すると、実物体とバーチャル物体との隠蔽関係がより正しく表現可能なこと、焦点調節の齟齬が少ないこと、頭部姿勢の計測誤差が表示像に与える影響が少ないことなどの利点を確認されている。さらに、視・触覚の一致による自然なインタラクションが可能なことから、仮想的な手元作業を実現するのに非常に有効であると予想されるが、実際にオブジェクト指向ディスプレイの有効性が実験によって確認された例はない。

本研究の目的は、これまで明確な評価がなされていないオブジェクト指向ディスプレイについて、手元での仮想作業構成時における有効性を実機を使用した実験によって明らかにすることである。以上の目的のため、本論文では、オブジェクト指向ディスプレイの一形態として“自由曲面投影ディスプレイ”を提案し、システムの構築、アプリケーションの実装、実験に必要な計測精度および表示精度を得るためのキャリブレーションを実施した。自由曲面投影ディスプレイは、プロジェクタ、任意曲面からなるスクリーン物体、スクリーン物体と視点の位置を計測するセンサからなり、投影画像に適切な歪み補正を施すことによりスクリーン物体の内部に CG のバーチャル物体を埋め込むような表示を可能とし、スクリーン物体を手にとって、自由な角度から観察するという、自然なインタラクションを実現する新規のディスプレイデバイスである。

オブジェクト指向ディスプレイに期待される有効性のうち、(1) 奥行き把握の容易さ、(2) 操作性、および(3) 空間的位置関係理解と記憶の3項目を取り上げ、FFPD と従来のマウスとモニタによる操作とで比較実験を行った結果、各々について、本手法の有効性を示す結果が得られた。最後に、FFPD を用いて人型模型に内臓の CG を合成表示する解剖学学習用の仮想人体解剖模型システム“VAM (Virtual Anatomical Model)”を試作した。VAM と従来のメディカルイラストとで学習効果を比較する実験を行ったところ、両者に差が見られなかったが、少なくとも教材として実績のあるメディカルイラストに劣るものではなかった。この結果から、本手法で、アプリケーションの実装が可能なこと確認され、また、手法の特性を生かすコンテンツ設計の重要性が示された。

以上から、オブジェクト指向ディスプレイは、CG で表現される仮想的な物体を手元で直感的に扱うシステムのための基本的な機能において、優れた性能を有していると結論づけた。

論文審査結果の要旨

本論文では、VR (Virtual Reality)・MR (Mixed Reality) アプリケーションにおいて、CG で表現される仮想的な物体を手元で直感的に扱うシステムの構成を目標とし、実物体であるスクリーンと仮想物体とを重畳するディスプレイ手法である“オブジェクト指向ディスプレイ”について、これを実装する方法を述べている。また、本手法の評価実験を行い、その有効性を示している。

VR・MR で仮想世界を提示するデバイスとして従来からある HMD (Head Mounted Display) や IPT (没入型投影技術) 等の手法は没入感の喚起を主目的としており、手元での作業を仮想化して表示する際には、隠蔽矛盾、焦点調節の齟齬、頭部姿勢の計測誤差が表示像に与える影響が大きいなどの問題点があり、オブジェクト指向ディスプレイでこれらの問題を解決可能であることを示している。オブジェクト指向ディスプレイは立体的な形状を持った表示面 (スクリーン) を使用して、スクリーン内部に位置するバーチャル物体を表示させる手法であり、自由な方向からの観察と自由な物体操作というインタラクションを両立させるものである。

本論文の目的は、従来明確な評価がなされていないオブジェクト指向ディスプレイについて、実機を使用した実験によりバーチャル物体とのインタラクションにおける有効性を明らかにすることである。オブジェクト指向ディスプレイの概念を実現可能

な新規のデバイスである“自由曲面投影ディスプレイ (FFPD)”を提案し、システムの構築と、実験に必要な表示精度を得るためのキャリブレーション手法を設計、実施した。FFPD は、プロジェクタ、自由曲面からなるスクリーン物体、スクリーンと視点の位置を計測するセンサからなり、投影画像に適切な歪み補正を施すことによりスクリーン物体の内部に CG のバーチャル物体を埋め込むような表示を可能とし、バーチャル物体が常に実物体のスクリーンとともにあるので、視・触覚の一致が確実に保たれ、スクリーンに対する操作がそのままバーチャル物体に対する操作となり、さらに任意の方向からバーチャル物体を観察できるという、自然なインタラクションを実現する。

オブジェクト指向ディスプレイに期待される有効性のうち、(1) 奥行き把握の容易さ、(2) 操作性、および (3) 空間的位置関係理解と記憶の 3 項目を取り上げ、FFPD と従来のマウスとモニタによる操作とで比較実験を行った結果、各々について、本手法の有効性を示す結果が得られた。

最後に、FFPD を用いて人型模型に内臓の CG を合成表示する解剖学学習用の仮想人体解剖模型システム“VAM (Virtual Anatomical Model)”を試作した。VAM と従来のメディカルイラストとで学習効果を比較する実験を行ったところ、両者に差が見られなかったが、少なくとも教材として実績のあるメディカルイラストに劣るものではなかった。この結果から、本手法で、アプリケーションの実装が可能なこと確認され、また、手法の特性を生かすコンテンツ設計の重要性が示された。

以上から、オブジェクト指向ディスプレイは、CG で表現される仮想的な物体を手元で直感的に扱うシステムのための基本的な機能において、優れた性能を有していると結論づけている。

以上の内容から得られた成果は、VR のための新規のディスプレイ構成手法について、多くの知見と成果を示しており、工学的に学術上の価値が高い。よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

最終試験結果の要旨

公聴会後に、学位論文に関する口頭質問を行い、これを最終試験に代え、合格と判定した。

以上