

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560009

研究課題名（和文）現物改変設計のためのビジョン・モデリング統合環境の構築

研究課題名（英文）Development of a real-object-based design environment integrating 3D-CAD and image-based modeling systems

研究代表者

福重 真一（Fukushige, Shinichi）

大阪大学・工学研究科 准教授

研究者番号：10432527

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ビデオ透過型のヘッドマウントディスプレイを通して見た現実世界の物体（実物体）を、仮想モデルと同様に变形させたり削除したりすることを可能にする没入型のデザイン支援環境である Editable Reality（編集可能現実，ER）システムを提案した。このERシステムのプロトタイプを開発し、ディスプレイを通して3D-CADモデルを実物体の形状にフィッティングさせ、このCADモデルの变形操作に合わせて実物体のカメラ映像をリアルタイムに改変することで、目の前にある実物体をあたかも直接編集しているかのような体験を実現できることを示した。

研究成果の概要（英文）：This study proposed an interactive image-based modeling system named Editable Reality (ER) for computer-aided aesthetic design based on real objects. The ER system provides a quasi-realistic design environment in which a designer manipulates the shape and location of the real objects in the real world through a video see-through type display. We developed a prototype system of the ER by integrating two sub-systems for solid modeling based on 3D-CAD and visualization based on mixed reality. The ER system allows designers to examine various design changes based on real products in an immersive 3D environment.

研究分野：デザイン学

キーワード：Editable Reality CAD Image-based modeling Design

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、インクルーシブデザインやオープンデザインといった、ユーザ参加型のデザイン活動が注目を集めている[1].このような専門家ではない人々と共に行うデザインプロセスを想定した時、工業製品や建築物を設計するための「場」は、それら人工物が実際に設置され使用される環境になるべく近づけることが望ましいと言える。なぜならば、現実の使用環境における様々なシーンをリアルに再現しながら、生活者の視点から製品の機能や意匠、操作性などを検証し、その結果を即座にデザインに反映することができるからである。

空間全体の精緻な3次元モデルを作成するには膨大な作業が必要となるため、3次元スキャナやコンピュータビジョン等の技術によって現実世界の3次元情報を取得し、これをデザインに活用する方法がいくつか提案されている[2][3].しかし、これらの計測技術によって仮想化されたモデルの多くは極めて多数の点群や三角形メッシュの集合体であり、産業界で広く用いられるCADモデルのような自由かつ対話的な編集が困難である。また、3次元データには多くの計測ノイズが含まれるため、これを取り除くためにまた膨大な作業が必要となる。点群情報からCADの解析曲面を再構築する手法[4][5]や、点群モデルを直接編集するためのモデリング手法[6]もいくつか提案されているが、デザイナーの意図する直感的な編集操作を行うことは難しい。また、多くの工業製品は金属や研磨されたプラスチックからなる光沢面を持つために、視点位置の移動に伴って周辺環境の映りこみも変化しなければならないが、実物体を仮想化したモデルの多くは対象物体の画像から取得したテクスチャを貼り付けただけであり、環境の映りこみをリアルかつリアルタイムに反映させることは困難である。

(2) 一方、製品のデザインレビューや顧客とのコミュニケーション等にMixed Reality (MR)やAugmented Reality (AR)を活用する企業が増えている[7-10].これらの技術もまた、製品の仮想モデルを現実世界の映像に重畳させて表示することで、実際の使用環境に近い空間内でのデザイン検証を支援することができる。しかし、MRやARにおいて形状の変更が可能なのは仮想オブジェクトのみであり、現実空間に存在する物体(これを実物体と呼ぶ)を編集の対象とすることはできない。工業製品の開発プロセスにおいては、既存製品のデザインに変更を加えながら新たなデザインを生み出すことも多く、実製品の仮想的な編集を可能にすることで、実物のリアリティを保ったまま様々なデザインの可能性を検討することができるようになると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)や、カメラ付きタブレットPC等のビデオ透過型ディスプレイを通して見た実物体を、仮想モデルと同様に自由に变形させたり移動したりすることを可能にする対話型のデザイン支援環境である Editable Reality (編集可能現実, ER)システムを提案する。具体的には、図1に示すように、3D-CADモデルをHMDのディスプレイを通して実物体の形状に一度フィッティングさせ、このCADモデルの变形操作に合わせて実物体のカメラ映像をリアルタイムに改変することで、HMDを装着したユーザの目の前にある実物体をあたかも直接編集しているかのような体験を可能にする実世界ベースのCADシステムを構築する。

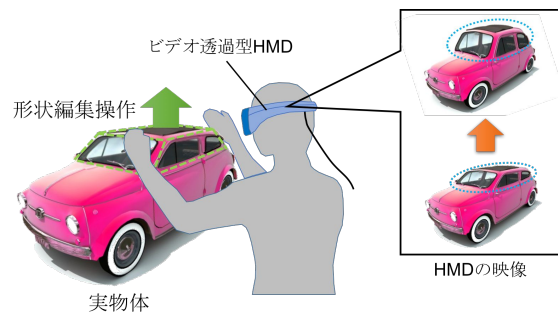


図1 ERによる実物体の仮想的な形状編集

3. 研究の方法

(1) 本研究で提案するERシステムでは、3D-CADシステムに一般に採用されているパラメトリックフィーチャベースのモデリング手法を用いて実物体の仮想的な形状編集を行う。これにより比較的自由的な变形操作を実現する。また、HMDのカメラから撮影された実物体の映像をCADモデルの变形に応じてリアルタイムに改変することで、視点移動に伴う反射光の変化を再現する。

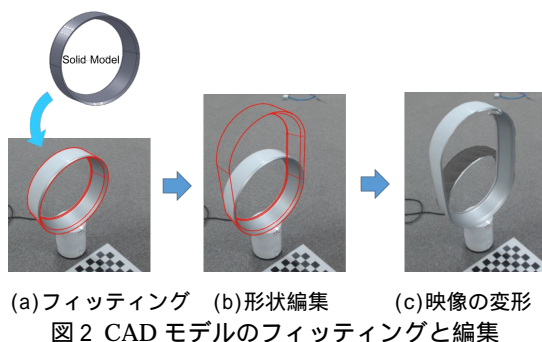
ERシステムには以下の3つの機能を実装する。

1. モデルの実物体へのフィッティング
2. モデルの対話的な編集
3. モデルと連動したカメラ映像の改変

本システムを用いて実物体の対話的な形状編集を行うには、まず前処理として対象となる実物体の形状にCADモデルをフィッティングさせるプロセスが必要となる。このとき、HMDのヘッドトラッキングによってCADモデルを実物体の座標空間に配置し、HMDのカメラ映像にモデルを重畳させる。この前処理の後、CADモデルの形状編集を行い、モデルの变形に合わせて、HMDに映し出された実物体の見かけの形状を更新する。前処理であるCADモデルのフィッティング、インタラクティブ処理であるCADモデルの編集とこれに連動した実物体映像の更新の機能について、それぞれ以下に述べる方法によりERシステムに実装する。

(2) 3D-CAD で一般に用いられるソリッドモデルは、パラメトリックに定義されたプリミティブ形状やフィーチャの集合体であり、それら形状フィーチャの持つパラメータを操作することで比較的自由的な変形が可能となる。実物体と同形状の CAD モデルを新規に作成してもよいが、既存製品の改良設計であれば、製品の設計モデルを再利用することができる。また、Web 上のリポジトリから類似製品のモデルを取得し、これを修正して用いる方法もある。本システムでは、いずれの方法で作成したモデルであっても、入力された CAD モデルをベースとしてこれを実物体の映像に合わせて対話的に修正していくことで 3 次元形状を実物体と一致させる。このとき、対象とする実物体全体のモデルは必要としない。本システムにおいては、形状を変更したい部分のモデルのみを用意すればよく、それ以外の部分は実物体の映像をそのまま利用できる点が特徴の一つである。例えば、椅子の背もたれ部分のデザインを変更したい場合は、椅子全体ではなく、背もたれ部分のみの CAD モデルを用意し実物体の映像にフィッティングさせればよい。背もたれの 3 次元モデルは実物体の座標空間に配置されるため、HMD のヘッドトラッキングによって視点 (HMD のカメラ位置) を移動しても背もたれ部分のモデルと座面や脚などの他の部位との相対的な位置関係は変化せず、椅子全体として違和感のない映像が合成される。

(3) 本システムを用いた形状編集のプロセスは次の通りである。まず、図 2 (a) に示すようにディスプレイを通して実物体と同じ画面上に CAD モデルのワイヤフレームを表示し、ユーザは視点を移動させながら実物体と形状が一致するまで CAD モデルを編集する。次に、図 2 (b) に示すように実物体とフィッティングさせた CAD モデルの各フィーチャを操作することで、図 2 (c) のように実物体の見かけの形状を仮想的に編集する。ユーザが操作するのはディスプレイ上の実物体に重ねて描画された CAD モデルのワイヤフレームであるが、その編集操作と連動して実物体の映像が変形されるのみならず、任意の位置に視点を移動させてもその 3 次元形状は維持されるため、あたかも目の前の実物体を直接変形しているかのような映像が得られる。



4. 研究成果

(1) ER システムのプロトタイプを開発し、羽の無い扇風機、オフィス用椅子、複写機、洗濯機を例題としたデザイン変更のケーススタディを実施した。ただし、本プロトタイプシステムは HMD を装着したデザイナーによるジェスチャ入力などの没入環境でのモデル編集の機能は未実装のため、HMD の前方に取り付けた Web カメラの映像をデスクトップ PC の画面に同時に映すことで、CAD モデルの実物体へのフィッティングや形状変更といった操作は PC 画面上でマウスポインタを用いて行った。

(2) 図 3 は、扇風機のヘッド部と同じ形状の CAD モデルを作成し、これを HMD 前方のカメラから入力された製品の映像にフィッティングした後、ヘッド部が縦長になるように変形した結果である。この例題では、ヘッド部のデザインのみを変更しているため、それ以外の部分のモデルは必要ではなく、扇風機本体や背景の画像は HMD のカメラ映像をそのまま用いている。図 3 (a) は HMD カメラから見た扇風機の元の映像であり、図 3 (b) は本システムを用いて扇風機のヘッド部分を見かけ上縦長に変形した映像である。ただし、HMD のカメラに映っていない隠背景については、使用する画像をユーザがあらかじめ壁や床などの周辺画像から指定しておき、これらを用いて補完を行った。モデルの変形によって実物体の裏面が現れる場合もまた、実物体モデルの隣接するポリゴンに割り当てられた画像を用いて補完した。

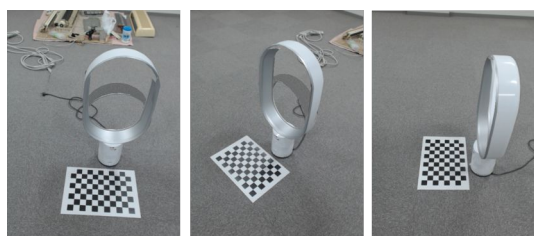
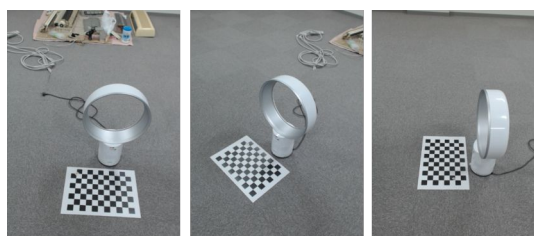


図 3 実験結果

(3) 開発した ER のプロトタイプシステムでは、入力されたカメラ映像の全てのフレームに対して画像変換処理を行うため、視点の移動や変形操作に対して変形後の映像がスムーズに追従することが出来なかった。ユーザの入力操作に対する画面の応答の遅れが

ら、例題として用いた製品の編集操作をインタラクティブに行っているという感覚が得られなかった点が課題として残った。

(4) 本研究では、実物体の仮想的な編集を可能にする没入型の形状モデリングシステム「Editable Reality」を提案し、そのプロトタイプを開発した。既存の製品を対象としたケーススタディを実施し、実製品をベースとして、そのリアルさを維持したまま様々なデザインの変更を検討できることを示した。

(5) 今後の課題としては、アルゴリズムの改良による表示の高速化、3D ポインティングデバイスやジェスチャ入力を用いたより直感的な形状編集機能の実装、本システムを前提とした新しいデザインプロセスの提案などが挙げられる。

<参考文献>

- [1] バス・ヴァン・アベル他, “オープンデザイン 参加と共創から生まれる「つくりかたの未来」,” オライリージャパン, 2013.
- [2] Paquette, S., “3D Scanning in Apparel Design and Human Engineering,” IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 16, No. 5 (1996), pp. 11-15.
- [3] Debevec, p. e., Taylor, C. J., Malik, J., “Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry- and Image-Based Approach,” Proc. of ACM SIGGRAPH '96, (1996), pp. 11-20.
- [4] 松崎幸一, 鈴木宏正, “リバーシエンジンニアリングソフト MOSAIC の開発: 基本構想と現段階までの適用報告,” 第16回設計工学・システム部門講演会講演論文集, (2006), pp. 273-276.
- [5] 増田宏, “画像インターフェースを用いた大規模点群からのソリッドモデリングシステム”日本機械学会論文集C編, Vol. 76, No. 771 (2010), pp. 2748-2752.
- [6] Pauly, M., Keiser, R., Kobbelt, L. P., Gross, M., “Shape Modeling with Point-sampled Geometry,” ACM Transactions on Graphics, Vol. 22, No. 3 (2003), pp. 641-650.
- [7] Debevec, P. E., Taylor, C. J., Malik, J., “Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry- and Image-Based Approach,” Proceedings of ACM SIGGRAPH '96, (1996), pp. 11-20.
- [8] 松崎幸一, 鈴木宏正, “リバーシエンジンニアリングソフト MOSAIC の開発: 基本構想と現段階までの適用報告,” 第16回設計工学・システム部門講演会講演論文集, (2006), pp. 273-276.
- [9] 増田宏, “画像インターフェースを用い

た大規模点群からのソリッドモデリングシステム,”日本機械学会論文集C編, Vol. 76, No. 771 (2010), pp. 2748-2752.

- [10] Pauly, M., Keiser, R., Kobbelt, L. P., Gross, M., “Shape Modeling with Point-sampled Geometry,” ACM Transactions on Graphics, Vol. 22, No. 3 (2003), pp. 641-650.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計5件)

宮田理恵子, 福重真一, 小林英樹: 地域指向デザイン評価のための仮想化現実環境の構築, 2017年度精密工学会春季大会学術講演会, 2017/3/14, 慶応大学(神奈川・横浜市)

福重真一, 宮田理恵子, 小林英樹: 編集可能現実空間における状況依存デザイン, Design シンポジウム 2016, 2016/12/14, 大阪大学(大阪・吹田市)

福重真一, 小林英樹: 実製品をベースとした改良設計支援のための Editable Reality システムの開発, 日本機械学会第26回設計工学システム部門講演会, 2016/10/9, 慶応大学(神奈川・横浜市)

Shinichi Fukushige, Kazutoshi Tsuda, Hideki Kobayashi: Design Support System for Product Renovation through Direct Digital Manufacturing, 9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2015), 2015/12/3, 東京国際フォーラム(東京)

福重真一, 中谷光伸, Sun Hongchen: 現物をベースとしたプロダクトデザイン支援のためのMR・モデリング統合環境, 電子情報通信学会 マルチメディア・仮想環境基礎研究会(MVE2014), 2014/7/2, 東京大学(東京)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福重 真一(FUKUSHIGE, Shinichi)
大阪大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 10432527