

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00266

研究課題名（和文）拡張現実感を用いた簡易かつ高品質な質感提示の研究

研究課題名（英文）Study on simple and high-quality presentation of material appearance using augmented reality

研究代表者

小室 孝 (Komuro, Takashi)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：10345118

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、さまざまな物体の質感を再現し、手による6自由度（並進3+回転3）の操作を可能とする新しい質感提示システムを開発した。評価実験により、ユーザの視覚と体性感覚を一致させることでシステムの使い勝手が良くなることを示すことができた。さらに、任意の実物体の質感を提示できるように、物体の三次元形状と反射特性を簡易に計測できるシステムを開発し、前述の質感提示システム上で提示できるようにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

インターネット通販などにおいて製品のリアルな質感を伝達・提示することは、消費者の購買意欲を高める上で重要である。本研究の遂行により、物体の三次元形状と反射特性を簡易に計測し、提示できるシステムが実現されたことは、商業用途にも利用できる質感再現システムにつながる大きな成果である。また、手による直感的な操作や視覚情報と体性感覚情報の一致による質感向上効果の検証実験は、完全に期待通りの結果ではなかったものの、質感研究において重要な知見を与えるものであるといえる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a new system that can reproduce the material appearance of various objects and that enables manual manipulation in 6 degrees of freedom (3 translation + 3 rotation). The result of evaluation experiments showed that matching user's visual and somatic senses improves the usability of the system. In addition, we developed a system to measure the three-dimensional shape and reflectance of a real object, which can be presented on the above system.

研究分野：拡張現実感，ユーザインタフェース

キーワード：質感 拡張現実感 反射特性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

インターネット通販などの電子商取引において製品のリアルな質感を伝達・提示することは、製品の魅力を伝え、消費者の購買意欲を高める上できわめて重要である。それに対し、対象となる物体の三次元形状と反射特性を計測し、CGで再現する研究が行われている。対象の向きや視点位置を変えることで、反射光の強度や色が変化し、それによりユーザーは対象の質感を得ることができる。しかし、マウスやキーボードなどの標準入力デバイスを用いた操作はあまり直感的でなく、リアリティが損なわれる可能性がある。そこで、ユーザーの身体動作により直接対象や視点を動かせるようにすることで、よりリアルな質感を提示することを考える。人間の認知には、異種の感覚情報を統合する機能が備わっており、視覚情報と体性感覚情報が一致することにより、質感の認知が強化されると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、上述のシースルーモバイルARシステムをベースに、さまざまな物体の質感を再現し、手による6自由度(並進3+回転3)の操作を可能とする新しい質感提示システムを開発する。画面内外の空間の見え方を一致させることで、ユーザーが知覚する視覚情報と体性感覚情報が一致し、質感の認知が強化されることが期待できる。これを実験を通して検証することが本研究の最大の目的である。

具体的には、色・光沢感・粒状感・透明感といった多様なモノの質感(材質感)をCGによりリアルタイムで提示し、画面に映っているユーザーの手の姿勢に合わせて物体の位置や向きを変えることで、あたかもその物体を手にとって動かせるようにする。そのシステムを用いて視覚情報と体性感覚情報が一致している場合としていない場合で質感の認知に差が生じるかを被験者実験により評価する。それにより、視覚情報と体性感覚情報の統合時における質感認知の仕組みを解明するとともに、ARの質感向上に役立てるための知見を得る。

さらに、本研究の実応用を想定し、物体の三次元形状と反射特性を簡易に計測できるシステムを開発する。共同研究者の津村らが開発した簡易かつ高精度な反射特性計測手法を発展させ、三次元形状も同時に計測できるようにする。計測した物体を開発したシステムで表示することで、入力から出力までをすべて簡易な装置で実現できるようにし、商業用途にも利用できる質感再現システムを実現する。

3. 研究の方法

(1) 質感提示システムの構築

本研究で用いるシースルーモバイルARシステム[Unuma et al., 2015]は、モバイルディスプレイの前面にフェイストラッキング用のカメラが、背面に背景シーンとユーザーの手を撮影するデプスカメラが取り付けられている。デプスカメラで取得した三次元シーンをフェイストラッキングで取得した視点位置に合わせて投影し、ディスプレイに表示することで、画面を擬似的にシースルーにしている。また、仮想物体をシーン内に配置し、手との接触判定を行い動かすことで、仮想物体とのインタラクションを実現している。

現在のシステムは、仮想物体を手で押したりつかんで移動させたりすることは可能であるが、つかんで回転させたりすることはできない。そこで、手指の姿勢認識のアルゴリズムを新たに導入し、仮想物体に対し6自由度(並進3+回転3)の操作ができるようにする。また、多様な質感を提示するため、色・光沢感・粒状感・透明感といった物体の材質感(material appearance)を構成する各要素をCGでリアルタイムに再現するアルゴリズムを実装する。例として、WardのBRDFモデルに基づいて物体の鏡面反射率と物体表面の粗さを変えることで、光沢やコントラスト、映り込みの鮮明度などを制御し、アルミ、ゴム、陶器といった異なる材質の質感を再現する。

(2) 質感向上効果の検証

上記のシステムを用いた提示と、通常のディスプレイとマウス操作による提示で質感の知覚に差が生じるかどうかを被験者実験により評価する。いくつかの異なる質感を持つ実物体をあらかじめ用意し、CGで提示した物体がその中のどれであるかを被験者に答えてもらう。また、アンケートにより、どちらがより本物に近く感じられたかも答えてもらう。画面をシースルーにした場合とそうでない場合や視点移動を行った場合とそうでない場合など、条件を変えて実験を行う。得られたデータを解析し、身体動作が質感認知に与える影響や、視覚情報と体性感覚情報が一致することにより質感の認知が強化されるかどうかを明らかにする。

(3) 物体形状・反射特性計測システムの構築

従来、物体の反射特性(BRDF:双方向反射率分布関数)を測定する装置は多数の照明やカメラを必要とし、大掛かりなものが多かった。それに対し、Appearance from Motion [Dong et al., 2014]と呼ばれる、入力画像群から反射特性と照明環境を同時に推定できる手法が提案されているが、膨大な演算量を必要とし、また収束が保障されていないという問題があった。それに対し、共同研究者の津村らは、全周囲カメラを併用することで高速かつ安定した推定を可能にする手法を提案した[Domon et al., 2016]。本研究ではこの手法を発展させ、カラーカメラをRGB-Dカメラに置き換えることで、三次元形状も同時に計測できるようにする。これにより、質感再現に必要な情報をすべて、簡易な装置と方法で取得することができるようになる。

(4) システム統合と質感再現性能の評価

上述の物体形状・反射特性計測システムを開発した質感提示システムと統合することで、任意の実物体の質感を再現することができるシステムを実現する。さらにそのシステムを用いて、どのくらい物体の質感が再現されているかを評価する被験者実験を行う。質感が微妙に異なる複数の実物体を用意し、それぞれの物体の質感を提案システムで提示する。被験者にどの実物体と最も質感が近いかを答えさせることで、質感の再現性能を定量的に評価する。さらにその結果を分析することで、どのような種類の質感が再現されやすいかなどを明らかにし、本システムの適用範囲や制約などを導き出す。

4. 研究成果

(1) AR 質感提示システムの構築

これまでに開発したシースルーモバイル AR システムをベースに、多様な質感を持つ仮想物体を提示し、手で動かせるようにするシステムを構築した。マーカーを取り付けた手指の姿勢認識を行い、仮想物体に対し 6 自由度（並進 3 + 回転 3）の操作ができるようにした。また、BRDF モデルに基づいて物体の鏡面反射率と物体表面の粗さを変えることで、光沢やコントラスト、映り込みの鮮明度などを制御し、異なる材質の質感を再現することに成功した。

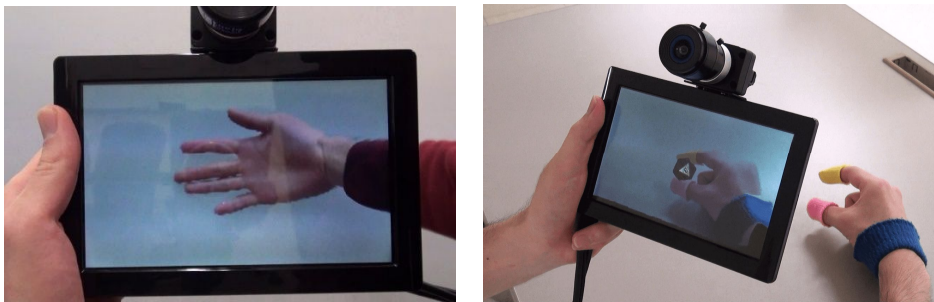


図 1 AR 質感提示システム（左：シースルーモバイル AR システム、右：質感提示システム）

(2) 物体形状・反射特性測定システムと AR による質感再現

物体の三次元形状と反射特性を簡易に計測できるシステムを開発した。さらに、計測した物体を開発したシステムで表示することで、入力から出力までをすべて簡易な装置で実現できるようにした。開発した計測システムは、物体の 3 次元形状を正確に計測するため、デプスカメラを用いて物体の多視点からのデプス画像を取得し、物体の全周形状を再構成する。また、再構成された 3D モデルの各頂点に対して撮影されたフレーム間での頂点の輝度値変化を計算し、反射モデルと輝度値変化に最小二乗法を適用することで反射モデルのパラメータを推定する。これによって実物体の反射特性を取得することが可能である。

さらに、得られた反射特性を再現した物体をモバイル AR を用いて重畳表示し、手に取って動かせるようにすることで実物体の質感を再現した。実際に数種類の実物体を計測し、再現された物体をモバイル AR を用いて手に取って操作することで、物体の光沢やつやの変化を感じ取ることができることを確認した。

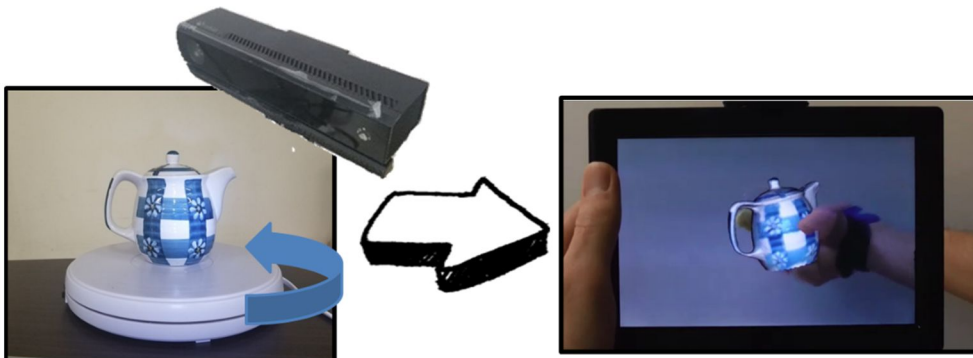


図 2 形状・反射特性測定システムと AR による質感再現

(3) 質感向上効果の検証

手による直感的な操作や視覚情報と体性感覚情報の一致により質感の認知が強化されるかどうかを明らかにするために、開発した AR 質感提示システムを用いて、マウス操作による提示と

の比較や、画面をシースルーにした場合とそうでない場合の比較を行った。実験の結果、マウス操作と比較しての優位性を示すことはできなかったが、画面内外の空間の見え方を一致させる場合に、一致させない場合よりもタスクの解答時間が有意に短くなり、ユーザの視覚と体性感覚を一致させることでシステムの使い勝手が良くなることを示すことができた。

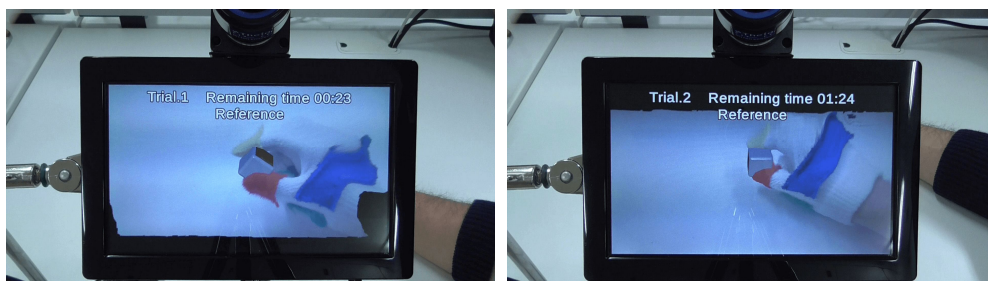


図3 実験で用いたタスク（左：シースルー表示、右：非シースルー表示）

(4) 多様な反射特性の計測

これまでに開発した物体形状・反射特性計測システムのさらなる応用範囲の拡大を目指して、より多様な反射特性を計測できる手法の検討を行った。物体表面での一般的な反射特性を表す表現方法の一つである双方向反射率分布関数(BRDF)を、ハンドヘルドカメラを物体に向けて動かすだけで計測できるシステムを提案した。従来の機械式の装置を用いたものに比べて、安価で小さな装置で実現できる利点があるが、手で動かして計測を行うため、すべてのデータが取得できる訳ではない。そこで抜けのあるサンプリングデータから密な BRDF データを圧縮センシングの技術を用いて推定する手法を提案した。また、同様のシステムを用いて異方性反射を含む反射特性を計測する手法も提案した。

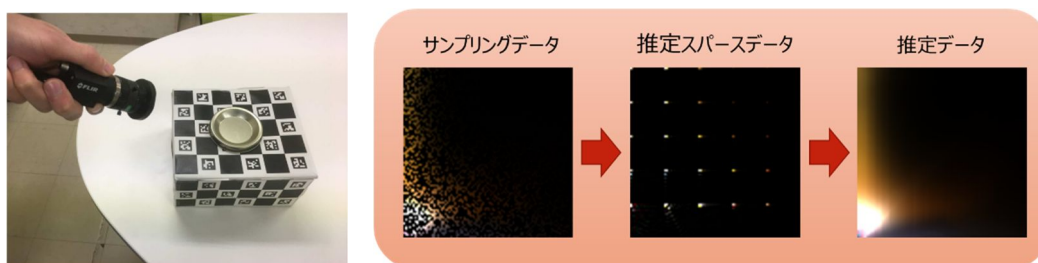


図4 ハンドヘルドカメラによる計測と圧縮センシングによる BRDF 推定

(5) スマートフォンによる質感提示

質感提示システムについても、これまではデプスカメラを使用しており、また手にマーカーをつける必要があったが、より広く利用してもらえるように、単体スマートフォンのみで物体を動かして質感を確認できるシステムを提案した。端末の回転とフリック操作を組み合わせることで、細かい反射の変化を確認しつつ、見たい面を素早くみられるようにした。評価実験の結果、提案手法は傾きのみでの質感提示よりも質感認知に効果的であることが示された。

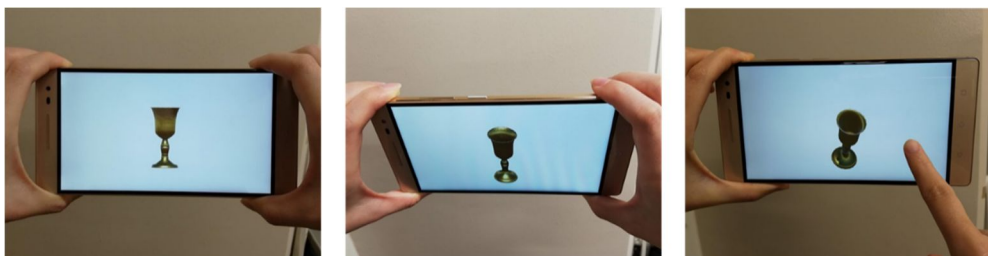


図5 スマートフォンの傾きとスワイプ操作による質感提示

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 恒崎正滋, 野村涼太, 小室孝, 山本昇志, 津村徳道	4. 巻 30(4)
2. 論文標題 モバイルARによる実物体の質感再現システム	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 画像ラボ	6. 最初と最後の頁 23-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 小田嶋駿, 小室孝
2. 発表標題 モバイルARにおける前面カメラ画像の補間を用いた映り込みの再現
3. 学会等名 第13回新画像システム・情報フォトニクス研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haru Otani, Takashi Komuro, Shoji Yamamoto, Norimichi Tsumura
2. 発表標題 Bivariate BRDF Estimation Based on Compressed Sensing
3. 学会等名 36th Computer Graphics International Conference (CGI2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zar Zar Tun, Seiji Tsunozaki, Takashi Komuro, Shoji Yamamoto, Norimichi Tsumura
2. 発表標題 Measuring Reflectance of Anisotropic Materials using Two Handheld Cameras
3. 学会等名 14th International Symposium on Visual Computing (ISVC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shun Odajima, Takashi Komuro
2. 発表標題 Reproduction of Environment Reflections using Extrapolation of Front Camera Images in Mobile AR
3. 学会等名 2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊池知世, 宮崎正史, 小室孝, 小川賀代
2. 発表標題 スマートフォンの傾きとスワイプを用いた質感提示システム
3. 学会等名 情報処理学会インタラクシオン 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Seiji Tsunozaki, Ryota Nomura, Takashi Komuro, Shoji Yamamoto, Norimichi Tsumura
2. 発表標題 Reproducing Material Appearance of Real Objects using Mobile Augmented Reality
3. 学会等名 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 恒崎正滋, 野村涼太, 小室孝, 山本昇志, 津村徳道
2. 発表標題 質感再現システムのための実物体の反射特性計測
3. 学会等名 2018年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野村涼太, 恒崎正滋, 小室孝, 山本昇志, 津村徳道
2. 発表標題 シースルーモバイルARによる仮想・実物体の質感提示
3. 学会等名 第12回新画像システム・情報フォトニクス研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zar Zar Tun, Seiji Tsunozaki, Takashi Komuro, Shoji Yamamoto, Norimichi Tsumura
2. 発表標題 Measuring the Shape and Reflectance of Real Objects for Reproducing the Material Appearance
3. 学会等名 4th International Workshop on Image Sensors and Imaging Systems (IWISS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 恒崎正滋, 野村涼太, 小室孝, 山本昇志, 津村徳道
2. 発表標題 モバイルARによる実物体の質感再現システム
3. 学会等名 第24回画像センシングシンポジウム (SSII 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野村涼太, 鶴沼由布子, 小室孝, 山本昇志, 津村徳道
2. 発表標題 モバイルARによる質感提示システム
3. 学会等名 Visual Computing / グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryota Nomura, Yuko Unuma, Takashi Komuro, Shoji Yamamoto, Norimichi Tsumura
2. 発表標題 Mobile Augmented Reality for Providing Perception of Materials
3. 学会等名 16th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	津村 徳道 (Tsumura Norimichi) (00272344)	千葉大学・大学院工学研究院・准教授 (12501)	
研究分担者	山本 昇志 (Yamamoto Shoji) (70469576)	東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・教授 (52605)	