

視覚触覚間の感覚間相互作用を利用した形状伝送システムの研究開発 (132103004)

Research on Haptic Telecommunication System Using Visuo-Haptic Interaction

研究代表者

鳴海拓志 東京大学

Takuji Narumi The University of Tokyo

研究期間 平成 25 年度～平成 27 年度

概要

本研究では、視覚触覚間相互作用を利用することで、少ないデータ伝送量と簡易なデバイスのみで高精細な触覚の取得・伝送・再現を可能にするシステムを実現した。(A)視覚触覚モデリング技術、(B) Perception-based Shape Display 技術、(C)任意視点視覚生成技術を開発して統合し、複雑形状を持つ物体を多様な接触方法で扱う際の触覚を再現可能な実用性の高い形状通信システムを実現し、博物館展示への応用等を通じて、システムの効果・有用性を確認した。

1. まえがき

本研究開発課題の目的は、視覚触覚間相互作用を利用して簡易な視覚触覚刺激から複雑な触覚を提示する手法を通信に応用し、少ないデータ伝送量と簡易なデバイスのみで高精細な触覚の取得・伝送・再現を可能にするシステムを実現することである。

研究代表者はこれまで、物体に触れる手の動きをモニタ越しに見せる際に、手の動き方や位置に変化を加えることで視覚触覚間の感覚間相互作用を生起させ、物体形状に対する知覚を操作する手法の実現可能性を示してきた。本研究ではこれらの知見を組み合わせ、簡易な視覚触覚刺激から複雑な形状知覚を提示可能な“Perception-based Shape Display”を開発し、Perception-based Shape Display を中軸として物体に触れた時の形状知覚を遠隔地に伝送可能な形状伝送システムを実現する。そのために、多様な触要素を持つ物体のモデル化を可能とする(A)視覚触覚モデリング技術、視覚触覚間相互作用を利用して多様な触要素の提示を可能とする (B) Perception-based Shape Display 技術、任意の背景において、任意視点からの形状を再現提示可能にする(C)任意視点視覚生成技術の 3 つの要素技術の開発に取り組み、心理物理実験や行動計測等を通して、それぞれの効果を明らかにする。

2. 研究開発内容及び成果

(A)視覚触覚モデリング技術に関しては、大別して (A-1) 深度画像を用いてある視点における物体形状・物体特性を形状要素・物体特性要素に分解し、手の動きを空間変調するための歪みマップ生成アルゴリズムの構築、(A-2) 触覚をとまなうことで遠隔共同作業の効率を向上させる共有モデリングシステムの構築を実現した。

(A-1) 触要素分解に基づく歪みマップ生成アルゴリズムの構築としては、ある視点から見た時の物体形状を曲面(連続面)と角(不連続面)という 2 種の形状要素の組み合わせに分解し、視覚触覚間の相互作用によって元の形状に触れる際と同様の知覚を生起するように手の動きを空間変調するための二次元歪みマップ生成手法を構築した。生成した二次元歪みマップと RGB カメラによるカラー画像を伝送することで、視覚提示する手映像の動きを空間変調させる。形状要素提示デバイスに触れている指先位置と歪みマップ画像との比較を行い、歪み量を決定する(図 1)。

また、柔らかさなどの動的触要素を提示可能にするため、実際にユーザが触れる物体表面に圧力センサをはりつけ、それから得られる圧力値や物体の変形に応じて歪みマップをリアルタイムに生成し、画面上の指先位置を適切に変調する手法を構築した。図 2 では、二指で物体を掴んだ際に指先にかかる圧力、それに応じて生じる物体の変形量を

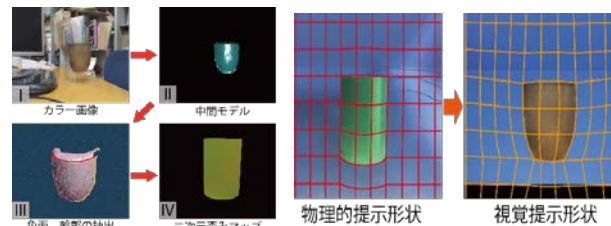


図 1 深度画像からの歪みマップ生成と空間歪み提示

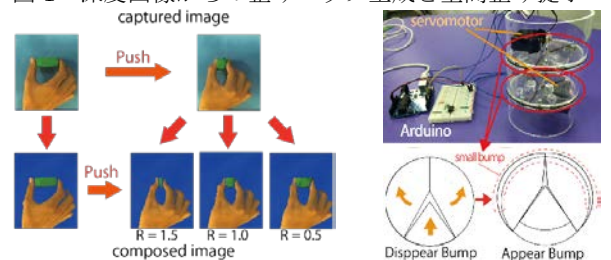


図 2 動的触要素の提示

図 3 形状要素提示デバイス

計測し、提示したいバーチャル物体の弾性に応じて変形量を操作している。その際、バーチャル物体を変形させるだけでなく、その変形に応じて新たに歪みマップを生成し、それをもとに画面上の指先位置を変調させる。

(A-2) 触覚をとまなう共有モデリングシステムの構築としては、触覚を提示しながらバーチャル物体をモデリングするためのインタフェースに加え、感覚間相互作用によって生じる擬似触力覚を利用して視点位置を誘導する触力覚利用型視点共有支援技術を開発した。これらや (B)(C)で開発した技術を統合し、異なる地点にいる複数のユーザが協調して、手で物体表面を変形させながら 3D 物体のモデリングができるシステムを構築した。

(B) Perception-based Shape Display 技術に関しては、大別して (B-1)形状要素の組み合わせから複雑形状を提示可能なデバイスの構築、(B-2)重量・硬さなどの物体動特性に関わる触覚提示手法の構築、(B-3)多様な接触方法を許容する触覚提示手法の構築を実現した。

(B-1) 形状要素の組み合わせから複雑形状を提示可能なデバイスの構築としては、一つの円筒形物体表面上に複数の微小角面を提示できる形状要素提示デバイスを構築した(図 3)。バーチャル物体表面形状における連続面の曲率や傾き、非連続形状(角面)の配置位置、角度、配置数の組み合わせを様々に変化させて、それに応じて視覚提示する手の動きを空間変調させる。その際、デバイス上の角面や輪郭とバーチャル物体上の角面、輪郭を指が通過するタイミングが同期するように手映像位置を変調させ、視覚効果を生起させる歪みマップ合成アルゴリズムとの連動を可能にするすることで、不連続面を複数含む複雑な形状の物

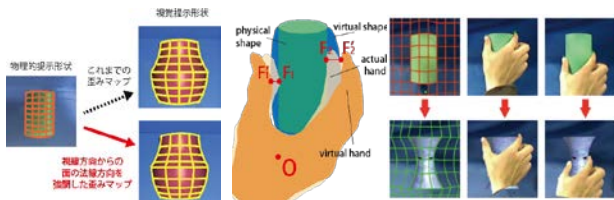


図4 法線方向の強調 図5 手形状変形による掴み対応

体に触れる知覚を合成できるようにした。

(B-2)重量・硬さなどの物体動特性に関わる触覚提示手法の構築としては、(A-1)で開発した手法を用い、実際にユーザが触る物体が変形せずとも、ユーザが物体を押す圧力や、その際生じる物体変形の量に応じて視覚提示するバーチャル物体を変形させ、それに伴って手映像の動き、形を変調することで、バーチャル物体の弾性・重さを変化させて知覚させる手法など、時間変化のある映像提示を利用することで動的な触覚要素を知覚させる知覚操作アルゴリズムを構築した。その際、知覚操作手法の組み合わせによっては触覚知覚操作率が低下する問題があったため、対応策として歪みマップのメッシュの切り方を視点からみた面の法線方向を強調するよう意図的に不均一にする(図4)ことで剪断方向に対する擬似触力覚を生起させ、システムの形状知覚操作能力を向上させる手法を開発した。

(B-3)多様な接触方法を許容する触覚提示手法の構築としては、研究の初期段階では一本指でなぞるように物体接触方法に制約を置いていたが、この制約を取り払い、多様な接触方法で物体を扱う際にも効果的に触覚知覚を変化させることが可能な手法を開発した。従来手法では手と物体の接触点が複数ある場合、変調後の接触点間の空間的整合性が崩れるため、所望の視覚触覚感相互作用の効果が得られない。そこで、複数の接触点間の空間的整合性がとれるよう、Image-based Deformation 手法を利用することで接触点位置だけでなく手形状を自然に変形する手法を実現した。変形にあたっては、制御点の位置の変化を元に画像全体を歪める画像変形アルゴリズムである rigid MLS method を用い、物体を掴む指と物体との接触点2箇所と、手領域の重心を制御点として利用して手画像を変形する。この画像処理により、実際は変形しない静的な円筒形をなぞっているにもかかわらず、あたかも様々な形状の物体をなぞっているかのように手の姿勢が変化する視覚フィードバックが生成される(図5)。

(C)任意視点視覚生成技術に関しては、大別して(C-1)手領域抽出手法の改良による任意背景・多様な接触方法へ対応可能な画像処理技術、(C-2)物体による指の遮蔽へ対応可能な画像処理技術を実現した。

(C-1)手領域抽出手法の改良による任意背景・多様な接触方法への対応としては、既存手法における利用環境や接触方法に関する制約を取り払うために、深度画像センサを併用することにより手領域を抽出し、物体表面との位置関係から接触している指先位置を推定する手法を構築した。

また、(C-2)物体による指の遮蔽への対応としては、出っ張りのあるバーチャル物体によって指が遮蔽された際に、提示映像の空間的整合性が崩れてしまい、適切な触覚知覚操作ができないという問題の解決を図った。既存手法では、タブレット端末のカメラにて取得した映像内で指先が見えている状態では、合成映像内にも指先が写ることを前提としており、バーチャル物体の凹凸曲面等で合成映像内の指先が隠れる状況には対応することができない(図c-3)。そこで、(C-1)の深度画像センサを併用するシステムに改良を加え、バーチャル物体と指との遮蔽関係を算出し、適切に遮蔽部分を消去するシステムを構築した。

上述(A)~(C)で開発した技術を統合して感覚間相互作用

用を利用した形状伝送システムを実際に利用できる形で実現し、その効果・有用性の検証をおこなうとともに、本研究で開発した要素技術や形状伝送システムを、ワークショップや展示会等において一般参加者に利用してもらう機会を多数設けた。これらの実践を通して、多数の一般参加者の使用データおよび意見を収集し、提案する感覚間相互作用を利用した形状提示・形状伝送システムの効果の検証と、実応用に向けた知見の収集をおこなうことができた。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究の成果を活用した展示が京都鉄道博物館において2016年4月より稼働している。博物館での研究成果の展開をきっかけとして、まずは公共空間での視覚触覚間相互作用を利用した触覚提示・触覚伝送、触覚を利用した追体験支援等の利用を拡げていくことを考えている。

感覚間相互作用のディスプレイ応用という新しい観点から出発し、従来の単独感覚基準のインタフェースの限界を超える手法を実現したという本研究開発課題の成果は、触覚に留まらず五感情報通信と超臨場感コミュニケーションの研究開発に大きなインパクトを与えている。研究代表者らはURCFクロスモーダル設計調査分科会を設立し、産官学を巻き込んでこうした新たなインタフェースの体系化と実応用を図る活動をおこなってきた。今後こうした活動を一層推し進め、感覚間相互作用利用手法の一般化、応用手法の体系化、ならびに評価手法の標準化等の活動を続けて波及効果を創出していくとともに、本研究において得られた成果の産業化、社会活用を目指していく。

4. むすび

本研究では、視覚触覚間相互作用を利用することで、少ないデータ伝送量と簡易なデバイスのみで高精細な触覚知覚の取得・伝送・再現を可能にするシステムを実現した。今後は継続的に開発した技術の応用・展開を目指す。

【誌上発表リスト】

- [1]国分新、伴祐樹、鳴海拓志、谷川智洋、廣瀬通孝、“背面タッチパネルを用いた擬似力覚によるモバイル端末での触覚提示”、日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.19 No.4 pp571-580 (2014年12月)
- [2]伴祐樹、鳴海拓志、谷川智洋、廣瀬通孝、“手形状変形フィードバックを利用した把持動作における硬さ知覚操作”、日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.19 No.4 pp523-532 (2014年12月)
- [3]對間祐毅、伴祐樹、鳴海拓志、谷川智洋、廣瀬通孝、“Pseudo-haptics を用いた MR 空間内での力作業支援”、日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.19 No.4 pp533-540 (2014年12月)

【受賞リスト】

- [1]對間祐毅、伴祐樹、鳴海拓志、谷川智洋、廣瀬通孝、日本バーチャルリアリティ学会第17回論文賞 “Pseudo-haptics を用いた MR 空間内での力作業支援” (2015年9月10日)
- [2]Yuki Ban, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose, IEEE VR 2015 Best Demo Award, “MagicPot360: Free Viewpoint shape Display Modifying the Perception of shape” (Mar. 27, 2014.)

【報道掲載リスト】

- [1]“超”仮想現実によるこそ！～バーチャルリアリティ開発最前線～、NHKサイエンスZERO、2016年3月27日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.cyber.t.u-tokyo.ac.jp/ja/projects/>