

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：55503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870812

研究課題名(和文)水を媒体とするインタラクシオンを実現するプロジェクタ・カメラシステム

研究課題名(英文)Projector-camera system for realizing interaction using water as a medium

研究代表者

古賀 崇了(Koga, Takanori)

徳山工業高等専門学校・情報電子工学科・准教授

研究者番号：70452828

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題においては、各種のインタラクティブアートで利用可能なプロジェクタ・カメラシステムの開発を行った。具体的には、媒体となる透明な水の塊を赤外線画像処理によって実時間で検出し、映像の投影を利用して鑑賞者との適応的インタラクシオンを実現するテーブルトップ型のシステムを開発した。従来の媒体を用いるインタラクティブアートと比較して、本システムは身近で安全である透明な水を媒体とすることで鑑賞者に新奇な体験を与えられる。また、着色や熱などを利用した従来の水検出法の問題を解決し、透明な水を媒体として安定的に利用するための諸条件を明らかにし、プロトタイプ構築を通して提案手法の有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：In this project, a new projector-camera system which can be used for interactive arts was developed. Concretely, a table-top projector-camera system which realizes real-time detection of transparent water blobs by infrared image processing and adaptive interaction using the detected water blobs as a medium with the viewers through projection mapping. Compared with the interactive arts with conventional mediums, our system can entail extraordinary experiences to the viewers by using safe and close transparent water. Furthermore, the proposed method solved the various problems of the conventional methods using colored water or heat; and we clarified the concrete specifications required for the system and verified the effectiveness of the stable utilization method of transparent water as a medium through the construction of a prototype.

研究分野：知的画像処理

キーワード：プロジェクタ・カメラシステム インタラクティブアート 赤外線画像処理 ジェスチャ認識 ヒューマン・コンピュータインタラクシオン

1. 研究開始当初の背景

近年、先進的なインタラクシオンの技術をデジタルサイネージなどに組み込み、広告効果の向上を図る取り組みが拡大している。インタラクティブな広告技術は今後の急激な需要拡大が予測されており、それに伴う表現技術のさらなる発展も求められている。特に、その実装形態として、単純な電子ポスター型だけではなく、多様な環境・装置・媒体を介した映像・アートとのインタラクシオンを鑑賞者に体験させる「インスタレーション型」に注目が集まっている。

先進的なインスタレーションでは、鑑賞者と接する媒体として、風や水などの身近で安全な流体を用いる試みが多数なされている。風を利用したものについては、極めて他種多様な研究・応用事例がある。一方、水や液体を用いるものは、流量センサ等の間接的センシング法に頼るものが多く、センシング・表現方法ともに未だ研究の余地は大きい。本課題で目的とする、「リアルタイムに水の形状変化を捉え、適応的なインタラクシオンを実現する」技術は、国内外の主要会議でも未だ報告されていない。例えば、水の形態をリアルタイムで捉える可視化手法の一つとして、熱の移動を遠赤外画像で観測する手法が報告されているが、「流体の温度管理が難しい」など、実用化に際しては課題が残っている。

一方で研究代表者は、「水は波長が 1450nm 付近の近赤外線極めて良く吸収する」性質があるため、InGaAs (インジウム・ガリウム・ヒ素) カメラと干渉フィルタを用いた近赤外域撮像を行うことで、水や物体表面の濡れを精度良く、かつ被写体や環境の温度に依存せず可視化できることに着目した。そこで、本課題の実現可能性と問題点を検討するために、1000nm 以上の近赤外域撮像が可能な InGaAs カメラと干渉フィルタを用いて様々な形態の水を撮像した。

この結果、InGaAs カメラと干渉フィルタを用いて静的・定常的環境にある水を撮像し、画像処理による領域抽出を施すことで、様々な形態の水や濡れの形状を実時間で可視化できることが確認された。しかしながら、「実空間における透明な水の中を CG の魚が泳ぐ」ような、新奇なインタラクティブ表現を実現するためには様々な物体が写り込む動的環境内の水を撮影する必要があり、「水以外の暗色の物体や影を水と誤認識する」などの諸問題があることも確認された。

これらの問題を解決するためには、配光・撮像方法やハンドトラッキング・ジェスチャ認識等を含む、包括的な処理系・処理手法の確立が必要であることが明らかになった。

2. 研究の目的

水は波長が 1450nm 付近の近赤外線を極めて良く吸収する性質があるため、InGaAs カメラと干渉フィルタを用いた近赤外域撮像を行うことで、水や物体表面の濡れを精度

良く可視化できる。本課題ではこの原理を基に、1000nm 以上の近赤外線領域を含むマルチスペクトル画像を用い、撮像した水の形状変化に応じてインタラクティブな映像投影をリアルタイムで実現するプロジェクタ・カメラシステムの基盤技術を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

具体的な研究対象として卓上型のプロジェクタ・カメラシステムを構築し、このシステムを利用して以下の3項目を主要なサブテーマとして研究を遂行した。

■水の認識に適した近赤外光源の波長および配光方法、フィルタリング波長等の特性調査

本課題で構築するプロジェクタ・カメラシステムの撮像系においては、780nm～1000nm の近赤外撮像を行う CMOS カメラと 1000nm～1700nm の近赤外撮像を行う InGaAs カメラを併用した。光源にはハロゲン光源と赤外 LED を併用した。これらの装置を用いて、水と水以外の物体を精度良く区別するためのフィルタの中心波長、各光源の配置・配光方法と LED 光源の光量、カメラの露光パラメータ等の撮像条件を明らかにした。

■水の認識に適した特徴量の赤外線マルチスペクトル画像からの抽出方法

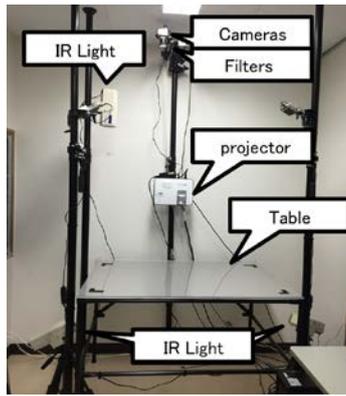
InGaAs カメラと CMOS カメラはともに近赤外領域の撮像を行うが、光源の波長、光学フィルタの特性の違いなどにより、同一の物体を撮像した場合でも水分やその他の物質の含有量(物体表面への付着量)により、得られる撮像結果が全く異なる。これらの画像の差分情報を主に用いて、水と水以外の物体や影とを精度良く区別するための適切な画像特徴量を検討した。また、赤外線画像に対する適切なノイズ除去手法についても併せて検討を行った。

■「水に触れる」動作の認識に適した動画像処理アルゴリズムの開発と評価

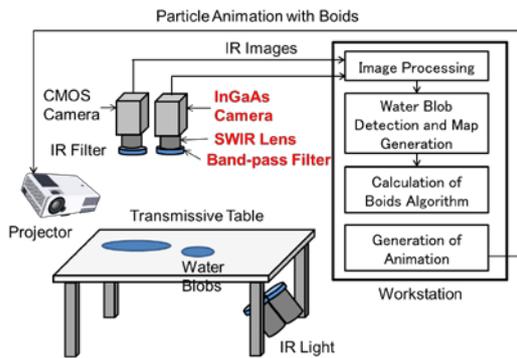
本研究では、「水に触れる」ことを特徴とするインタラクティブなインスタレーション向けの基盤技術を確立するために、赤外線画像から手の形状や動きを精度よく認識する動画像処理アルゴリズムも必要となる。実時間でのハンドトラッキング、ジェスチャ認識処理を実現するために、適切なトラッキングおよびハンドジェスチャ認識の動画像処理系を構築し、検出精度と計算速度の観点からその実用性を評価した。

4. 研究成果

研究当初に、卓上型のプロジェクタ・カメラシステム(図1)を構築した。「水に触れる」インタラクシオンの具体例として、「テ



(a)



(b)

図1 構築したプロジェクタ・カメラシステム。
(a) 外観, (b) ブロック図。

ーブル上の透明な水の塊の内側を魚の群れのCGが適応的に回遊する」システムのプロトタイプを作成した。

本システムでは、光源としてハロゲン光源とLED光源を併用した。ハロゲン光源は「大光量、出力波長が広く非選択的、スイッチング動作には向かない」という特徴を持ち、LED光源はそれと相補的な特徴を有しており、光量の調整が容易である。これらの特性を踏まえ、1000nmのロングパスフィルタを装着したハロゲン光源(2400K程度)と940nmのLED光源をそれぞれInGaAsカメラ、CMOSカメラ用の近赤外光源として利用することが適切であることが分かった。また、CMOSカメラによる撮像の際には光源の点灯のON/OFFを制御することで明度の異なる2種類の画像を得ることができるので、これらとInGaAsカメラの撮像結果の差分情報等を用い、影や暗色の物体を水と区別するための有効な特徴を得られることが分かった。InGaAsカメラとCMOSカメラは900nm~1000nm付近にどちらも感度を有するので、この領域の赤外光の利用可能性について、今後詳細に調査する予定である。また、特定波長帯における赤外線画像では、影や暗色の物体を水と誤

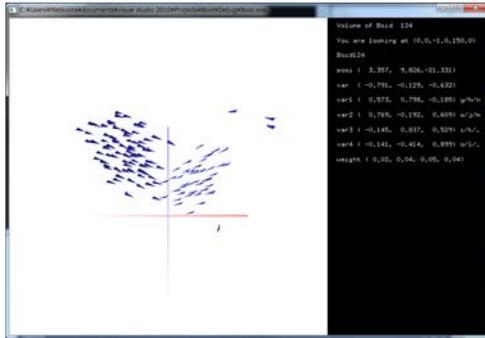
認識する問題を解決しなければならないが、これについては、CMOSカメラとInGaAsカメラの差分画像を用いることで解決を図った。さらに、安定なシステムを構築するために、撮像対象の水に様々な不純物が混入した場合の赤外線画像の特徴変化についても網羅的に調査を行い、画像・動画のデータベースを作成した。

InGaAsカメラから得られた画像はS/N比が低く、撮像条件により画像の特性が大きく変動することが分かったため、前処理として改良型メディアンフィルタによるノイズ除去・適応的コントラスト伸長などの処理を施した。その後、CMOSカメラから得られる明度の異なる2種類の画像との差分情報等を用いて、特徴量を抽出するための画像を生成した。これと同時に、水の領域・輪郭のみを正確に抽出し、局所的な映像投影を行うための画像処理手法の開発を行った。

前述の項目と同時並行的に、赤外線マルチスペクトル画像を用いて手の形状や動きを精度良く高速に認識する動画処理アルゴリズムを開発した。まず、ハンドトラッキングをリアルタイムで実現するために、動的背景差分法と楕円フィッティングに基づく識別候補領域を抽出するアルゴリズムを構築した。その後、サポートベクターマシンによる分類器を用いてハンドジェスチャの識別を行った。画像特徴量としては、画像を量子化して特徴ベクトルとしたものと、Histograms of Oriented Gradients (HOG) について検討を行った。鑑賞者が一人であり、鑑賞者が想定外の動作をしない(例えば、背景に物体を置いたり、手の上に物体を置いたりしない)状況においては、HOGを特徴量とすることで、ほぼ100%の識別率を実現することができた。また、汎用のパーソナルコンピュータを用いて、およそ60fps程度の処理速度を実現できることが確認された。

最終的に、これまでに述べた各技術要素を組み合わせてプロトタイプを構築し、全体の調整を行うとともに、実用化に向けた問題の洗い出しと解決を図った。さらに、各要素の統合を行い、様々な照明条件の下で運用を行い、全体の性能を評価した。インタラクティブアートのプロトタイプとして実際に投影する映像については、Boidアルゴリズムによる群れ行動のシミュレータを作成し(図2(a)参照)、これによって生成される群れ行動に対してパーティクル表現を付加することによって作成した(図2(b)参照)。

これらの開発・検証と評価を通じて、水を用いたインスタレーションの実現に耐えうる処理精度・速度を持つプロジェクタ・赤外線マルチカメラシステムを構築するための物理的・数理的な諸条件が明らかになり、当初の研究目的の達成が確認された。また、プロトタイプ構築と運用を通じて提案手法の有効性も確認された。



(a)



(b)

図 2 投影映像の生成とプロトタイプの実動作状況. (a) Boid アルゴリズムを利用した群れ行動のシミュレータ. (b) プロトタイプの実動作の様子 (手で水の形状を変化させている).

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 3 件)

① Takanori Koga and Takahiro Matsuo, “Table-Top Projector-Camera System with Transparent Water Detection for Interactive Art,” Lecture Notes in Engineering and Computer Science: Proceedings of International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2016), pp.365–368, March 2016.

② 浅本紗希, 古賀崇了, “8 近傍の最小全域木を利用した拡張型メディアフィルタによるインパルスノイズ除去,” 信学技報, vol. 115, no. 505, SIS2015-63, pp. 87–92, 2016 年 3 月.

③ 浅本紗希, 古賀崇了, “木構造を用いたノイズ検出器・フィルタにおける 8 近傍化の影響に関する考察,” 平成 27 年度 (第 66 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会予稿集, 2pages, 2015 年 10 月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古賀 崇了 (KOGA TAKANORI)

徳山工業高等専門学校・情報電子工学科・准教授

研究者番号 : 70452828