

令和 元年 6 月 21 日現在

機関番号：55503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21580

研究課題名(和文)「水と霧に触れる」総合的インタラクション技術の基盤確立

研究課題名(英文) Establishment of comprehensive and fundamental techniques for interaction induced by touching water and fog

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、水や霧などの媒体に触れることで引き起こされる人とコンピュータシステム間のインタラクションを実現するための総合的かつ基盤的な技術の確立に取り組んだ。具体的には、インタラクティブアート等への応用を志向したプロジェクタカメラシステムを研究対象とし、水や霧などの透明な対象に人が触れることにより生じる変形を画像処理・認識技術によって検出することと、検出した変形に応じて適応的に投影を映像する技術の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題の成果により、水や霧を媒体として用いたインタラクティブなコンテンツを実現するためのシステム構築の指針と実例を示すことができた。また、本課題の研究内容がさらに発展することで、水(液体)・霧(気体)の2形態の流体を利用したインタラクションの新奇な研究を誘発する事が予想される。さらに、流体のような不定形の物体へ映像を投影するプロジェクションマッピング技法、適応的映像生成手法、VR、ARやMRとの融合による表現技術等の分野の研究に対しても大きな波及効果をもたらす事が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this project, it was conducted to establish comprehensive and fundamental techniques to realize the interaction between a viewer and a computer system caused by touching a medium such as water or fog. Specifically, a projector-camera system aiming at application to interactive art was studied to realize the following things: 1) detection of deformation of a transparent medium such as water or fog caused by viewer's touching using image processing and recognition techniques; 2) development of a technique to adaptively project images on the media according to the detected deformation.

研究分野：画像処理，インタラクティブシステム

キーワード：インタラクション フォグディスプレイ 適応的映像投影 赤外線画像処理 パターン認識 プロジェクタカメラシステム インタラクティブアート

1. 研究開始当初の背景

近年、画像認識をベースとした先進的なヒューマン-コンピュータインタラクション (HCI) の技術を用いて、インタラクティブアートの鑑賞者に極めて新奇な体験を提供する試みが急速に広まっている。これらの分野における HCI 関連技術への需要は大幅な拡大が見込まれており、技術のさらなる高度化も求められている[1]。特に、多様な環境・装置・媒体を介した映像やアートとのインタラクションを鑑賞者に体験させることが注目されており、その媒体として、風や水などの安全な流体が用いられるようになっている。

水や液体を用いる事例では、流量センサ等の間接的センシングに頼るものが多く、センシング・表現方法ともに未だ研究の余地は大きい。そのような状況下で、研究代表者はこれまでに、「水は波長が 1450nm 付近の近赤外線を極めて良く吸収する」性質を利用した近赤外画像処理により、水や物体表面の濡れを被写体や環境の温度に依存せずに精度良く可視化する画像処理手法を研究してきた。その応用として、「水盤内を泳ぐ CG の魚を手のひらで掬い取る」などの「水に触れる」新奇なインタラクティブアートの基盤システムを構築してきた。

一方で、風を利用する場合のセンシング手法に関しても、熱の移動や気流をセンサアレイで捉える間接的な手法が主流となっている。このような状況下で研究代表者は、気体を利用したインタラクションの幅をさらに広げるために「フォグディスプレイ技術」に注目し、画像処理により気体をセンシングする HCI の実現に関する着想を得た。フォグディスプレイとは、霧で構成されたスクリーンにプロジェクタで映像を投影し、立体像を表現する技術である[2]。フォグディスプレイの研究は多数行われているが、通常は、あらかじめ位置や形状が制御された霧を用いる[3]。一方で、本課題では「霧に触れることで生じる形状変化をリアルタイムに捉え、適応的な映像投影を行うインタラクションを実現する」技術の基盤構築に主眼を置いた。

上述の着想の下、本課題の実現可能性と問題点を検討するために、近赤外領域で CMOS カメラと InGaAs カメラ[4]を用いて霧の撮像実験を研究開始前に実施した。具体的には、820nm 付近、1450nm 付近、1000nm-1700nm 全域で、フォグディスプレイ構築に利用される超音波式噴霧器から噴霧される霧を撮像した。その結果、820nm 付近の領域では霧をほとんど可視化できず、背景の手やパターンが鮮明に撮像でき、1450nm 付近では霧が散乱によって白く映る一方で、吸光効果により手が黒く写ることがわかった。さらに、1000nm~1700nm の全域では、散乱が強く現れ、霧が白色の領域として明確に可視化できることがわかった。これらの結果より、複数台のカメラによる赤外領域の撮像を行うことで、画像処理を用いて様々な形態の霧の形状を推定できる可能性が示唆された。しかしながら、上述の目的を実現するためには、霧の生成から配光・撮像方法、ハンドトラッキング・ジェスチャ認識等までを含む、包括的な処理系・処理手法の確立を物理的・数理的両面から緻密に行う必要があることが明らかになった。

【参考文献】

- [1] Eyes the Future of Digital Signage and Interactive Technology, Digital Signage Expo 2013.
- [2] A. Yagi, et al., 360-Degree Fog Projection Interactive Display, Proc. SIGGRAPH Asia, 2011.
- [3] M. L. Lam, et al., Interactive Volumetric Fog Display, Proc. SIGGRAPH Asia, 2015.
- [4] 小森, 最新の USB2.0 近赤外線, 遠赤外線カメラによる機能・適用分野の紹介, 検査技術, 2012.

2. 研究の目的

本課題では、霧を媒体として用いるヒューマン-コンピュータインターフェイスを実現するために、フォグディスプレイを対象として、「鑑賞者が触れることによる霧形状の変化をリアルタイムに捉え、形状に応じて適切に補正された映像を投影するシステム」を構築する事を主たる目的とした。具体的な研究対象としてインタラクティブアートなどへの応用を想定した卓上型のフォグディスプレイ・カメラシステムを構築し、以下の事項を明らかにすることで基盤技術を確認し、実用化への目処をつけることを狙った。

【1. 霧の形状認識に適したフォグディスプレイシステムおよび近赤外撮像系の特性】

霧による Mie 散乱現象は、霧の粒径、光の波長、配光および撮像方向により大きく特性が異なる。したがって、霧の形状とそれ以外の物体を精度良く区別し、精度の高い形状認識および映像投影を実現するために、適切な粒径、適切な配光と波長、適切な撮像パラメータ等の物理的諸条件を研究の最初の段階で明らかにする。霧の粒径は、水の霧化に使用する超音波振動子の特性を変えることで制御する。光源には広帯域のハロゲン光源と干渉フィルタを併用して照射波長を制御する。撮像系では、780nm~1000nm の領域に対応する CMOS カメラと 1000nm~1700nm の領域に対応する InGaAs カメラおよび干渉フィルタを複数台用いてマルチスペクトル画像を得る。

【2. 霧の形状認識および映像投影に適した画像処理・映像投影アルゴリズム】

赤外線マルチスペクトル画像を用いて霧の形状を正確に推定するために必要な画像特徴量をまず明らかにする。その後、抽出した特徴量を用いて、複数画像の情報を統合して、変形する霧の概形を推定するアルゴリズムを開発する。また、経時的に形状が変化するフォグディスプレイへの正確な映像投影を実現するために必要な、映像補正アルゴリズムの適切な構成法と調整法を明らかにする。

【3. 媒体に触れる動作の認識に適した赤外線動画画像処理アルゴリズムの開発と評価】

本課題では、「霧に触れる」ことを特徴とするインタラクションのための基盤技術を確立するため、赤外線画像から腕の動きや手の詳細な形状を精度よく認識する動画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、各種の画像認識手法を組み合わせた赤外線マルチスペクトル動画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する。

3. 研究の方法

研究当初に、期間中に一貫して使用する卓上型のフォグディスプレイ・カメラシステムを構築した。また、具体的な「霧に触れる」インタラクションとしては、「噴出する霧を手で変形させる」などの動作に対して適応的な映像表現を違和感なく実現することを目標とした。InGaAsカメラと干渉フィルタを用いた近赤外域撮像を基にしてこのようなインタラクションを実現するためには、手などの動物体が存在する動的な撮像環境下で、明色の物体を霧と誤認識する問題を解決しなければならない。1年目は、物理的側面からこの問題の解決を図るために、霧の形状とそれ以外の物体を精度良く区別し、精度の高い形状認識および映像投影を実現するための、適切な霧の粒径、適切な配光と光源波長、マルチスペクトル画像の撮像パラメータ等の物理的諸条件を明らかにした。霧の粒径は、水の霧化に使用する超音波振動子の特性を変えることによって制御し、光源には広帯域のハロゲン光源と干渉フィルタを併用することで照射波長を制御した。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カメラおよび干渉フィルタを複数台併用して広帯域のマルチスペクトル画像を得た。近赤外領域での撮像される画像は、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。そこで、これらの画像の差分情報を主に用いて、霧と霧以外の物体や影とを精度良く区別するための適切な特徴量を検討した。さらに、本研究では赤外線の散乱を利用するが、将来的に赤外線吸光を利用した「水に触れる」システムとの融合を図るため、散乱と吸光の撮像波長の関係を整理し、スムーズな拡張を行うための検討も行った。

また、InGaAsカメラから得られる画像は画質が低く、撮像条件により画像の特性が大きく変動するため、前処理として施すノイズ除去・適応的コントラスト伸長などの処理の適切な条件を明らかにした。その後、抽出した特徴量を用いて、複数画像の情報を統合して、変形する霧の概形を推定するアルゴリズムを開発した。これと同時に、経時的に形状が変化するフォグディスプレイへの正確な映像投影を実現するために、映像補正アルゴリズムなどの開発を年度後半に実施した。この年度の実施項目に関しては、次年度以降の研究項目である動画画像処理と密接な関係があるため、これらの開発と評価を同時並行的に実施した。

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よく認識する動画画像処理アルゴリズムを開発した。リアルタイムのハンドトラッキング、ジェスチャ認識を実現するために、これまでに開発実績を有するMedian Flow, Random Forest, Deep Learningの組み合わせを基盤とした動画画像処理系を構築し、検出精度と計算速度を評価した。これらの手法を実用に耐える処理速度で実現するためには並列計算を念頭に置いた実装が必要である。この点に関しては、GPGPUによる並列計算を利用して解決を図った。

最終年度は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り、本研究を総括した。具体的には、様々な環境や照明条件の下で（特に暗所において）運用を行い、全体の性能を評価した。その後、投影画像生成部・コンテンツの充実化を行い、デモンストレーション等に向けたプロトタイプを作成を行った。

4. 研究成果

本課題での主要な研究成果は以下の通りである。

- (1) フィードフォワード型およびフィードバック型のフォグディスプレイ変形検出と適応的映像投影手法の確立

図1に示すように、フォグディスプレイにおける霧の流れを鑑賞者が触れることによって変えた際に、適応的に投影映像が変化するシステムを構築した。具体的には、霧の形状変化を鑑賞者の手の位置・形状から事前情報に基づいて間接的に推定するフィードフォワード型のアプローチと、オプティカルフローを用いて霧の形状変化を直接推定するフィードバック型のアプローチの検証を行った。また、図2に示すような芸術性を持った映像コンテンツを作成し、ユーザスタディを行うことによる評価を行い、良好な結果を得た。

(2) 水に触れるジェスチャの検出システムおよび ToF カメラの計測歪みを利用した水深推定手法の確立と適応的映像・サウンドの生成システムの開発

上述の主要な研究内容である霧を媒体とするインタラクティブコンテンツと組み合わせることで、より新奇な体験を鑑賞者にもたらしため、水を媒体としたインタラクションのための技術開発を行った。具体的には、水を手で掬う動作をパターン認識技術によりリアルタイムで検出するシステムの開発と、Time of Flight(ToF)カメラを利用して水を撮像した際に生じる計測歪みを利用して容器内の水深を多点で同時に推定するシステムの開発を行った。動作のパターン認識および水深推定実験の結果ではともに良好な精度を得た。この結果を踏まえて、インタラクティブアート等に应用可能な、水を媒体として音・映像に変化をもたらすプロジェクターカメラシステムのプロトタイピングを行い、使用感について良好な評価結果を得た。



図1 「霧の流れを手で変える」動作に対する映像の変化の例.

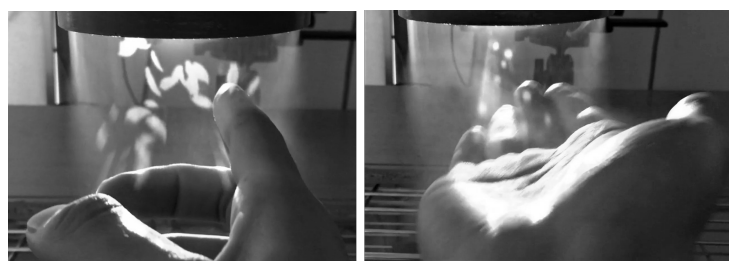


図2 提案システムの応用事例。「花吹雪」と「Snow fall」.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 10 件)

- [1] 片岡 駿之介, 古賀崇了, “ToF カメラの計測歪みを利用した水深の推定と水を媒体とするインタラクションへの応用,” 情報処理学会インタラクション, ポスター発表(番号: 3P-76), 2019.
- [2] 片岡駿之介, 古賀崇了, “室内環境における ToF カメラを用いた水深の多点同時測定に関する検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 118, no. 346, SIS2018-24, pp. 17–20, 2018.
- [3] Takanori Koga and Kazuki Otao, “An Interactive Fog Display to Express Adaptive Shape-Changing Flow,” International Display Workshop (IDW 2018), 2018. (招待講演, 査読有)
- [4] Satoshi Murashige, Noriaki Suetake, and Takanori Koga, “An Interactive Fog Display to Express Adaptive Shape-Changing Flow,” International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA 2018), pp.34–39, 2018. (査読有)
- [5] Takanori Koga, Ayaka Yasuda, Shota Furukawa, and Noriaki Suetake, “A Simplified and Fast Dehazing Processing Suitable for Embedded Systems,” Proc. of International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2018), pp.492–497, 2018. (査読有)
- [6] Kazuki Otao and Takanori Koga, “MistFlow: A Fog Display for Visualization of Adaptive Shape-Changing Flow,” ACM SIGGRAPH Asia, Poster No. 17, 2017. (査読有)
- [7] 村重哲史, 古賀崇了, “赤外線画像における CoHOG とランダムフォレストによるハン

ドジェスチャ認識の基礎的検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 117, no. 70, SIS2017-9, pp. 47-50, 2017.

[8] 村重哲史, 古賀崇了, “Random Forest と Median Flow を用いたハンドジェスチャの認識と追跡に関する検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 117, no. 349, SIS2017-56, pp. 129-134, 2017.

[9] 大峠和基, 古賀崇了, “霧の形状変化に適応した映像投影を実現するインタラクティブフォグディスプレイの基礎的検討,” 情報処理学会インタラクシオン, pp.752-757, 2017.

[10] 村重哲史, 古賀崇了, “赤外線画像における Histogram of Oriented Gradient を用いたリアルタイムハンドジェスチャ認識に関する研究,” 平成 28 年度 (第 67 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会予稿集, 2pages, 2016.

[図書] (計 1 件)

[1] 空中ディスプレイの開発と応用展開, 山本裕紹監修, シーエムシー出版, 2018.
(第Ⅲ編, 第 9 章 pp.177-185 「流れの表現に着目したインタラクティブフォグディスプレイ」を分担執筆, 著者: 古賀崇了, 大峠和基)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号 (8 桁):

(2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。