

令和 5 年 6 月 3 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12091

研究課題名（和文）生活空間における水や霧等の光透過物体を媒体とするナチュラルユーザインターフェイス

研究課題名（英文）Research on natural user interfaces using light-transmitting objects such as water and fog in living spaces

研究代表者

古賀 崇了（KOGA, Takanori）

近畿大学・産業理工学部・准教授

研究者番号：70452828

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では、我々の生活空間内にある水や霧などを媒体として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ナチュラルユーザインターフェイスに関連する基盤的な技術の確立に取り組んだ。具体的には、水や霧を検出するための可視光と赤外光を用いたマルチバンド撮像システムの構築、深層学習技術による濡れを伴う物体の認識アルゴリズムの構築およびToFカメラを利用した水深推定手法とインタラクティブアートへの適用と評価を行い、これらの技術の応用可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題の遂行により、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作成するための基盤的なシステムや画像処理技術を構築することができた。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。さらには、空中映像技術やXR技術との融合により、映像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, I worked on establishing fundamental technologies for natural user interfaces to realize interactions between humans and computer systems using water and fog in our living space as a medium. Specifically, I constructed a visible and infrared multi-band imaging system for detecting water and fog, constructed a recognition algorithm for wet objects using deep learning technology, developed a depth estimation method using a ToF camera, and applied and evaluated them to interactive art, showing the potential applications of these technologies.

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：赤外線画像処理 マルチバンド 画像認識 プロジェクタカメラシステム インタラクション ナ  
チュラルユーザインターフェイス 深層学習 ヒューマンコンピュータインタラクション

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、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

物質が赤外線領域において異なる波長の光を吸収する「吸光特性」を利用して物質を同定する技術は広く用いられているが、その応用は、化学分析装置や、ライティングと撮像状況が厳密に調整されたマシンビジョンシステムなどの、規格化された環境下に留まっている。赤外線領域で画像を撮像する装置としては、可視光領域を中心とする  $1\mu\text{m}$  以下の波長をカバーする CMOS イメージセンサ、 $1\mu\text{m}$  以上の近赤外領域の波長をカバーする InGaAs イメージセンサがある。近年、InGaAs センサがカバーする近赤外領域を利用することで、様々な物質を対象とした画像検査性能が飛躍的に向上している。これにより、多数の波長帯を同時撮像するマルチ/ハイパースペクトル撮像も広く用いられるようになってきているが、その原理上の制約やコストの問題から、画像検査以外の分野での利用は進んでいない。

一方で申請者はこれまでに、InGaAs センサと干渉フィルタを用い、近赤外領域における単波長の撮像を行うことで、身の回りの環境にある水などの液体の検出や物体の濡れを検出する研究を行ってきた。さらに、霧が Mie 散乱によって光を散乱させる現象を利用して、フォグディスプレイのような一定の形状をもつ霧の形状変化を画像処理によって検出する研究を行ってきた。しかしながら、これらは主に単波長の赤外線撮像を利用しているため、目的とする撮像対象とそれ以外の物体の画像認識の際に識別精度の向上が難しいという問題がある。

一方で、人間の視覚系では RGB の三つの波長帯の光を用いて多くの情報処理を行っており、身の回りの生活空間における、物体表面の僅かな反射率の違いによる濡れの知覚、屈折率の違いによる透明な液体の知覚などを可能としている。可視光領域の画像のみを利用したコンピュータビジョンシステムでこのような知覚機能を実現することは極めて難しいが、近赤外領域の複数の画像や深度画像を組み合わせ、深層学習による情報統合を行うことで、前述のような対象を多様な環境下で高精度に識別する技術が実現でき、水・霧などの透明な物体を媒体とするナチュラルユーザインターフェイス技術を確立できることが見込まれる。

このような背景により、本研究では以下の目的および方法を設定し、研究を遂行した。

### 2. 研究の目的

本課題では、図 1 に示すような、可視光から赤外までの領域を用いたマルチセンサ・マルチバンド撮像を行うプロジェクタ - カメラシステムを構築し、水・霧・物体表面の濡れ・光を透過する物質などの、対象の状態認識機構を含めた物体の位置検出とカテゴリ分類が可能な画像認識システムの構築とその応用を行う。具体的には、水・霧などの透明な物体を媒体とするナチュラルユーザインターフェイス技術の確立と、我々の生活空間に溶け込んだインタラクティブアートなどへの実応用を目的とする。

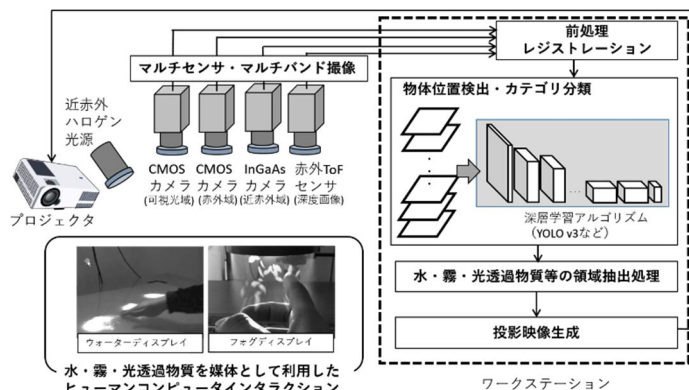


図 1 本課題で構築するシステムの概要

### 3. 研究の方法

本課題では、以下の三つの主要な研究事項を遂行する。

#### (1) マルチイメージセンサによる撮像系・投影系の構築

図 1 に示す、複数のイメージセンサによる同時撮像が可能な実験環境を初めに構築する。ここで用いるセンサは、可視光領域を撮像する CMOS センサ、赤外領域を撮像する CMOS センサ、近赤外領域を撮像する InGaAs センサ、深度画像を精度良く得るための赤外 ToF (Time of Flight) センサとする。ToF センサ以外は光学干渉フィルタを利用して特定波長を中心とした撮像を行う。具体的には、 $780\text{nm} \sim 1000\text{nm}$  の領域に対応する CMOS カメラと  $1000\text{nm} \sim 1700\text{nm}$  の領域に対応する InGaAs カメラを複数台用いてレジストレーションされたマルチスペクトル画像を得る。また、水・霧・透明物体などの光を散乱させる性質がある物体を ToF センサで撮像すると、深度画像が特異なデータを示すことが予備実験で分かっていたため、この仕組みを利用した透明な物体の認識が実用的な精度で可能であるかについても検証を行う。

#### (2) 深層学習による水・霧・濡れ等の位置検出とカテゴリ識別手法の確立と性能検証

前述のシステムを利用した撮像環境において、多様な物体と水・霧・濡れを組み合わせた様々な状況を作り出し、訓練用のデータセットを作成する。これを利用することで、深層学習による物体位置の特定とカテゴリ分類を行う。具体的にはマルチストリーム型の畳み込みニューラルネットワークモデルなどのアルゴリズムを利用し、一般物体認識と同時に物体の状態を推定す

る処理を実現する。これにより、「コップに入った水」、「様々な物体の濡れ」、「人間の手の濡れ」などの様々な対象を、その状態を含めて認識することを目指す。

(3) 各要素技術間の関連の再確認と総合的調整、実用化に向けた評価と総括

これまでに構築したシステム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、本研究を総括する。様々な環境や照明条件の下で多様な対象・状態の認識性能を検証し、全体の性能を評価する。構築したシステムの実応用として、まずはプロジェクタ・カメラシステムを利用したインタラクティブアートへの適用を行う。これにより、複数の物体と状態の同時認識と実時間での映像投影が可能であるかを検証する。

#### 4. 研究成果

主に得られた成果は以下の4点であり、学会発表と学術論文による報告を行っている。

(1) マルチイメージセンサによる撮像系・投影系の構築

図1および図2に示す構成の、可視光と赤外線画像を同時に得るためのマルチカメラシステムを構築し、適切にレジストレーションされた画像を得るためのシステムが確立された。

(2) 深層学習モデルおよびデータセットの構築と濡れを含む物体認識の基礎的な性能検証

図3に示す例のように、可視光と赤外画像を融合したデータセットを作成し、マルチストリーム型の深層学習モデルによって基本的な物体と濡れ状態を認識するための手法を確立した。

(3) ToFカメラを利用した水深の同時多点推定とインタラクティブアートへの応用

図4に示すように、卓上に置かれた複数容器内の液体の水深を推定するシステムを開発し、水深に応じてカラー映像をリアルタイムで投映表示するシステムの開発および、水の状態を変化させることによる音と映像の変化をもたらすインタラクティブアートの制作を行った。

(4) 空中映像表示装置の試作とユーザビリティ評価、本課題の成果との技術融合の検討

今後の研究の進展を見据え、本研究で確立した技術と親和性の高い空中映像技術について、基礎的な映像表示装置の試作とユーザビリティの評価を行った(図5参照)。

これらの成果によって、水を媒体とするナチュラルユーザインターフェースの基盤的技術が確立されたが、霧を利用した場合については未だ検証の余地が残っているため、今後の課題とする。将来的には、本課題で開発した技術が、水・霧・空中映像を融合した映像表現やヒューマンコンピュータインタラクションの分野で活用されることが期待される。



図2 マルチカメラシステム

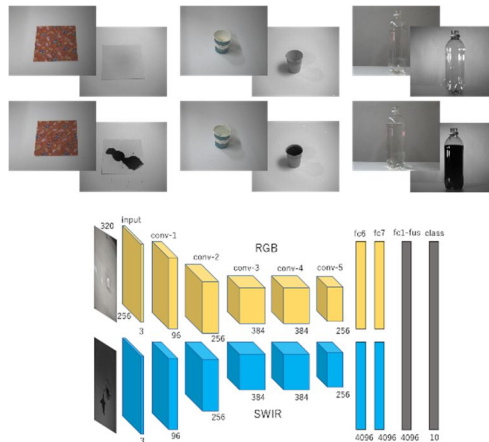


図3 構築したデータセットの一部とネットワークモデルの概要

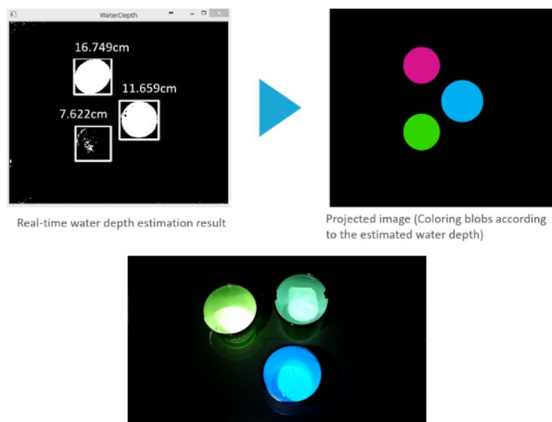


図4 ToFカメラによる水深推定とインタラクティブアートへの応用



図5 空中映像提示装置の試作とユーザビリティ評価

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Shunnosuke Kataoka, Noriaki Suetake, and Takanori Koga	4. 巻 12-7
2. 論文標題 Water Depth Estimation Using Measurement Distortion of a Time-of-Flight Camera and Its Application to Interactive Art	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Innovative Computing, Information and Control Express Letters (ICIC Express Letters), Part B: Applications	6. 最初と最後の頁 635-643
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 有
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3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Tatsunobu Tanaka and Takanori Koga
2. 発表標題 A Usability Study of a Retrofit Contactless Pushbutton Interface Using Aerial Image
3. 学会等名 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林元辰己, 古賀崇了
2. 発表標題 短波長赤外線カメラと深層学習を用いた物体の濡れを検出するビジョンシステムの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会ISSジュニア & 学生ポスターセッション
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森田千里, 古賀崇了
2. 発表標題 空中結像を用いたキッチン用レシピ提示システムのユーザビリティに関する基礎的検討
3. 学会等名 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会
4. 発表年 2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------