

同一視点から色画像・温度画像を得る同軸撮像システムの構成法の研究 (162103010)

Configuration of coaxial imaging system to obtain color image and thermal image from the same viewpoint

研究代表者

高畑 智之 東京大学

Tomoyuki Takahata The University of Tokyo

研究期間 平成 28 年度～平成 30 年度

概要

本研究開発では、色画像と温度画像を同一の視点から同時に撮影することのできる同軸撮像システムの構成法を明らかにした。光学系のハードウェアの側面の研究では、ゲルマニウム-ガラスハイブリッドレンズを用いて同軸光学系を構成し、IP X5 相当の防水性能を備えた耐候性のある光学系であることを示し、レンズの変更によって画角を 12°から 23°まで調整できることを示した。得られた同軸画像のペアの画像処理の研究においては、色画像との重畳によって温度画像の解像度を毎秒 28 フレームで 7.8 倍に向上できる構成を示した。さらに、色画像に加えて温度画像を用いることで、従来の色画像のみでは困難だった逆光下での人体の検出やガラス扉の開閉の検出が可能であることを示した。

1. まえがき

近年、ロボットによる生活支援やパーソナルモビリティによる移動支援に注目が集まっており、これらの知的な機械システムが自律的に移動・行動するための要素の一つとして、外界認識技術がますます重要となっている。生活支援ロボットもパーソナルモビリティも人の生活環境で動作するものであるため、他者に危害を加えないための認識技術が実用化の鍵となる。現状では色画像と距離計測を組み合わせた方法が主流であるが、人の体の一部しか見えていない状況などに完全に対応できるとはいえない。一方で、対象物の温度を画像としてとらえる温度画像を用いることで、周囲の環境とは温度の異なる人などの対象をより正確に認識できることが考えられる。

本研究開発の目的は、色画像と温度画像を同一の視点から同時に撮影する同軸撮像システムの構成法を明らかにすることである。本システムは、可視光に対応した色画像のための光学系の光軸と、遠赤外光に対応した温度画像のための光学系の光軸をコンパクトに一致させることを特徴とする。光学系のハードウェアの側面からの研究と、得られた同軸画像のペアの画像処理というソフトウェアの側面からの研究を、相互にフィードバックすることで、システムの実用化を目指すものである。

2. 研究開発内容及び成果

2.1. 同軸撮像システムの研究開発

本研究開発以前の研究において、1 枚のシリコン-ガラスハイブリッドレンズ、ビームスプリッタと可視光・遠赤外光それぞれのイメージャからなる光学系によって、色画像と温度画像を同一の光軸で撮像できることを示していた。本研究開発においては光学系の材料および配置を再設計した。

シリコン-ガラスハイブリッドレンズを用いた従来の同軸撮像システムの課題として、温度画像のコントラストが低いという点があった。そこで、シリコンよりも遠赤外線吸収が少ないゲルマニウムを材料として、ハイブリッドレンズの特徴であるドーナツ型のレンズを外注製作した。直径 1 インチ、焦点距離 50 mm で中心に直径 6.25 mm の穴を空けたゲルマニウムレンズを製作し、その穴にガラスレンズを固定することで、ゲルマニウム-ガラスハイブリッドレンズを試作した。また、光学系の調整が不要となるように光学ジグを製作して、結像レンズ以外の、ビームス

プリッタ、カラーイメージャ (DFK23UX174、The Imaging Source 社)、サーマルイメージャ (PI640、Optris 社) が位置合わせされた一体の構造とした。これにより、結像レンズを動かすことで撮像システムの焦点距離を調整することができるようになった。ゲルマニウム-ガラスハイブリッドレンズおよび光学ジグをもちいた光学系全体の写真を図 1 (左) に示す。

一般に、撮像システムのパッケージでは、光学系の前端部にレンズまたは窓材を配置することで光を取り込みつつパッケージ内部を保護する。従来の可視・遠赤外同時計測においては、可視光と遠赤外光の両方を透過し、かつ安定である材料がなかったことから、光学系の前端をレンズや窓材で保護することができなかった。しかしながら、本研究開発で提案する撮像システムは光学系の前端が硬いハイブリッドレンズであるため、従来の課題であった窓材の問題が生じない。そのため、防水・防塵機能をもたせることが容易であるという特徴がある。そこで、まず防水性能のある筐体にイメージャ等を載せたハイブリッドレンズと 2 本の USB ケーブルを取付け、その部分を封止することでシステム全体に防水性能をもたせた (図 1 右)。この防水筐体に対して、JIS C 0920 に準拠した耐水試験を実



図 1: 試作した同軸光学系 (左) と防水筐体 (右)。



図 2: 防滴試験のようす。

施した（図 2）。水の飛沫に対応する IP X4 相当の散水試験と、噴流に対応する IP X5 相当の放水試験を行い、それぞれ水の侵入がないことを目視で確認した。両方の試験において水の侵入が見られなかったため、IP X5 相当の防水性能をもつとみなすことができる。

以上のデバイスを入力として画像を取り込むソフトを開発した。撮影した色画像と温度画像を図 3 に示す。色画像、温度画像ともに、従来のシステムよりも画質が向上した。温度画像の画質向上は、ゲルマニウムレンズを用いたことによると考えられる。特に色画像の画質向上は、防水筐体による遮光性能の向上によると考えられる。

最後に、上述の 1 枚のハイブリッドレンズのみを用いた光学系は視野角が 12° であるため、高角化を目標として、複数レンズを用いる光学系を設計した。ビームスプリッタと各イメージャの間にレンズを配置することで、視野角を 23° に拡大できることを確認した。つまり、画角を 1.9 倍に広角化することができた。

2.2. 色・温度統合画像生成法の研究開発

色画像を用いた温度画像の高解像度化のアルゴリズムを開発した。評価用パタンの色画像と温度画像を撮像し、それぞれの画像の中央部を拡大すると、処理前の温度画像は色画像よりも、細かいパタンのコントラストが低い（図 4（左））。これは、温度画像の画素数の少なさによるものと考えられる。次に、色画像を重畳させる処理を施した温度



図 3：試作した同軸光学系で撮影した色画像（左）と温度画像（右）。

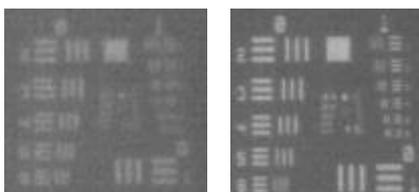


図 4：色画像を利用した温度画像の高解像度化。処理前（左）と処理後（右）。

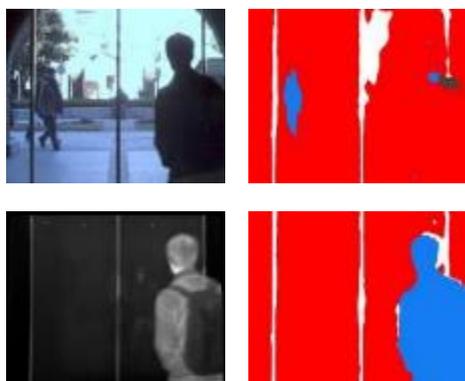


図 5：同軸画像を用いた物体認識の例。色画像（左上）、温度画像（左下）、色画像のみを用いた物体認識結果（右上）、両方の画像を用いた物体認識結果（右下）。

画像を図 4（右）に示す。この処理によって温度画像は画素数による換算で 7.8 倍になる。画像処理のフレームレートについては、画像を取り込むコンピュータの性能に依存し、最大で 28 fps であった。

色画像・温度画像同軸撮影カメラによって撮影された既存のデータセットを利用して、物体認識アルゴリズムを開発した。このデータセットは人物、ガラス、道路等を認識対象としたセマンティックセグメンテーションのタスクのためのアノテーションが与えられている。認識結果のうち顕著な例を図 5 に示す。色画像だけを入力とした認識結果（図 5 右上）では手前の人物は一部しか認識されておらず、自動ドアの奥にいる人物を誤認識している。一方で、色・温度画像の両方を入力とした認識結果（図 5 右下）では手前の人物を正しく認識し、自動ドアのガラス自体も正しく認識した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

本研究開発において実現した色・温度同軸撮像システムおよびそれを用いた物体認識は、逆光でも人物を認識でき、自動ドアのガラスも認識できた。また、同軸撮像システムは被写体までの距離によらず重ね合わされた色画像と温度画像を撮影できるため、数 m 程度の近距離での認識に効果を発揮する。よって、システムの特徴を活かすアプリケーションとして、(1) 歩道を走行する電動車椅子型のパーソナルモビリティ、(2) 狭い道路で荷物運搬などを行う自律移動ロボット、(3) 工場や商業施設内を移動して搬送、陳列、警備等を行う移動ロボット、(4) 家庭内で家事等を支援するアシスタントロボット、を想定している。人の近くを移動するロボット等の機械の安全機能として照明環境によらず人を認識できることは重要であり、人の生活環境に近いところではガラスなどの透明物体を認識できることも重要である。研究開発成果の展開に向けての課題として、環境の温度が認識精度に及ぼす影響の定量的評価、認識計算の軽量化によるリアルタイム性の確保、撮像システムの低価格化が挙げられる。

4. むすび

本研究では、色画像と温度画像を同じ視点から同じ光軸で撮影する同軸光学系を示し、同軸撮像システムを実装した。同軸画像の応用として温度画像の高解像度化と、色画像・温度画像を用いた物体認識を示した。

【誌上发表リスト】

- [1] 高畑智之、下山勲、“光変調素子を用いた可視光・遠赤外光検出システムの提案,” 第 33 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、25pm4-PS-064。（発表年月日：2016 年 10 月 25 日）
- [2] 高畑智之、下山勲、“可視光・遠赤外光同軸撮像システムの実装と評価,” 第 35 回日本ロボット学会学術講演会、3C3-01。（開催都市：埼玉県川越市）（発表年月日：2017 年 9 月 14 日）
- [3] 高畑智之、下山勲、“防滴性のある可視光・遠赤外光同軸撮影システム,” 第 36 回日本ロボット学会学術講演会、3J3-04。（発表年月日：2018 年 9 月 7 日）

【本研究開発課題を掲載したウェブページ】

<http://www.leopard.t.u-tokyo.ac.jp/~takahata/takahata3.html>