

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03464

研究課題名（和文）制御光学系とイベントカメラを用いた新しい画像情報取得・処理システムの研究

研究課題名（英文）A Study on Image Capturing and Processing System using Optical Control Device and Event Camera

研究代表者

藤井 俊彰 (FUJII, Toshiaki)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：30273262

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、各画素の「輝度値の時間変化」を検出・出力するカメラであるイベントカメラと視覚フィードバックを組み合わせた「目を能動的に動かして情報を得る」新しいカメラシステムを提案する。センサ上に像を形成する光学系を高速に制御してイベント情報を取得し、その解析結果を元に光学系にフィードバックを行ってシーンの情報を取得するシステムである。本研究では、高速制御が可能な空間光変調器の検討、イベント信号の詳細な解析と情報処理法の検討、及びプロトタイプの作製と評価を行い、新しい画像取得・処理システムとしての原理検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、視覚フィードバックに基づいたイベント情報の蓄積からシーンの情報を把握していく新しい画像取得システムである。イベントカメラが生物の網膜を模したものとすれば、本研究はそれに眼球運動を加え、かつ視覚フィードバックを付加したもの、ということができる。このような視覚フィードバックを伴うイベント情報の処理により画像情報を取得・処理する手法を検討し、画像を「画素値の集合」ではなく「イベント情報の集合」として表す方法論の確立を目指した。この研究により、従来フレームベースカメラで行われてきた手法をイベントカメラの出力に対して適用する枠組みを超え、新たな「イベント情報処理」への道を開いた。

研究成果の概要（英文）：This research proposes a new camera system that “obtains information by actively moving the eyes” by combining an event camera, which is a camera that detects and outputs “temporal changes in luminance values” of each pixel, and visual feedback. The system acquires event information by controlling the optical system that forms an image on the sensor at high speed, and then provides feedback to the optical system based on the analysis results to acquire information on the scene. In this study, we investigated a spatial light modulator that can be controlled at high speed, analyzed event signals in detail, investigated information processing methods, and fabricated and evaluated a prototype to verify the principle of this new image acquisition and processing system.

研究分野：情報処理

キーワード：イベントカメラ 光線空間補間 走査光学系

1. 研究開始当初の背景

イベントカメラ (Event Camera) は生物の網膜から発想を得たカメラである。現在主流である CCD や CMOS イメージセンサなどの半導体素子を利用したフレームベースのカメラとは異なり、画素ごとに「輝度値の変化」を検知し、変化のあった画素のデータのみを非同期で出力するカメラである。イベントカメラは、従来のカメラと比べて(1) 高時間分解能、(2) 高いダイナミックレンジ、(3) 低消費電力、(4) 動きブレが少ない、といった特長を持つ。これらの特長を活かして、ロボットの視覚や監視カメラとしての応用や、コンピュータビジョンのタスクをイベントカメラで行うイベントベースビジョン (Event-Based Vision) など、ロボット工学やコンピュータビジョンの分野への応用に大きな期待がされている。

一方で、これまで報告されている研究は、フレームベースカメラで行われてきた手法をイベントカメラの出力に対して適用する枠組みから出ていない。これまでの研究はイベントカメラの持つ高時間分解能、高ダイナミックレンジという長所を最大限に活かしつつも、各画素の非同期的なイベント情報しか得られないという「欠点」をいかに克服するかに焦点が当てられてきたと言ってよい。従来のカメラで不足している高時間分解能や高ダイナミックレンジといった特長を活かして様々な応用で成功を収めているかのように見えるイベントカメラであるが、極めて受動的にしか得られない「輝度値の変化」という情報を元に、深層学習などの助けも借りながら本質的には解けない問題を解こうとしている、もしくは近似解を出している、というのが研究開始当初の背景であった。

2. 研究の目的

本研究ではイベントカメラと制御光学系の組み合わせによる「目を能動的に動かして情報を得る」新しいカメラシステムを構築することを目的とする。具体的には、「センサ上に像を形成する光学系を高速に制御してイベント情報を取得し、その解析結果を元に光学系にフィードバックを行いつつシーンの情報を取得していくシステム」を構築する (図 1)。これにより「輝度値の変化」を能動的に生じさせることが可能になり、ある時点でのイベント情報のみでは解が不安定になる領域について光学系を能動的に制御して輝度値の変化を生じさせ、解を安定に求めることができるようになる。本研究では、高速制御可能な空間光変調器などの光学系とイベントカメラを組み合わせたシステムを構築し、本提案の原理検証、プロトタイプ作製、評価を行い、光学系の制御方法、イベント情報の処理方法に関する知見を蓄積し、新しい画像取得・処理システムとして確立し、体系化することを目的とする。

本研究は、視覚フィードバックに基づいたイベント情報の蓄積からシーンの情報を把握していく新しい画像取得システムである。イベントカメラが生物の網膜を模したものとすれば、本研究はそれに眼球運動を加え、かつ視覚フィードバックを付加したものとすることができる。このような視覚フィードバックを伴うイベント情報の処理により画像情報を取得・処理する手法を検討し、画像を「画素値の集合」ではなく、能動的に制御できる光学系と、そこから得られる「イベント情報の集合」の組み合わせとして取得・処理する方法論を確立することを目的とする。

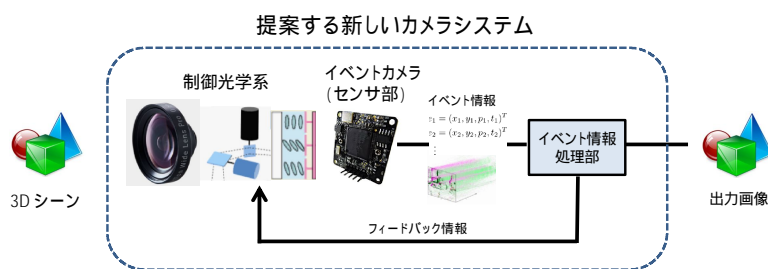


図 1. 制御光学系とイベントカメラを用いたリアルタイムカメラシステム

3. 研究の方法

1. 高速制御が可能な空間光変調器の検討

現状で利用可能な空間光変調器について検討を行う。基本的なデバイスである液晶ディスプレイ (LCD; Liquid Crystal Display) を始め、当研究グループがこれまで符号化開口の研究に使用していた反射型の LCoS (Liquid Crystal on Silicon)、PDLC (Polymer Dispersed Liquid Crystal; 高分子分散型液晶)、さらに機械的制御を伴うものとして、DMD (Digital Micromirror Device) 等の MEMS 技術を利用した光制御やガルバノメーターミラーの利用も検討する。受動的

な光学素子である一般的なレンズ,ミラーに加え,幾何学的位相レンズアレイやホログラフィック光学素子,電子ビーム描画装置による液晶の配向なども検討する.さらに,ライトフィールドカメラ(Light Field Camera; LFC)ではイメージャの前面にマイクロレンズアレイが配置されているが,このような光学素子とセンサを組み合わせた取得系も検討する.これらの光制御機構の後段にイベントカメラ配置して実験を行い,上記の様々な光変調によってどのような性質のイベント信号が出力されるかを解析し,データを蓄積する.動作速度,取得される画像の品質等を総合的に勘案し,適切なデバイスを選択していく.

2. イベント信号の詳細な解析と情報処理法の検討

イベント信号の情報処理技術の開発に取り組む.まず,低レベルな信号の問題としてイベント信号のノイズの問題と時刻同一性の問題がある.これまで画像処理の分野で研究されてきたノイズ除去手法の適用の可能性と限界の把握を行うとともに,イベント情報に特化した新たなノイズ除去手法の開発を行う.また時刻同一性の問題とは,時刻に対するイベントヒストグラムが裾野を引いたような頻度分布になる,という問題である.近年,イベントベースビジョンで試みられている深層学習の手法も参考にしつつ,目的関数の最適化などの解析的な手法と深層学習に基づく手法について検討を進めていく.最後に,得られた処理結果を元に光学系に対してフィードバックしていく系を検討し,実験的に検証を行う.

3. プロトタイプの作製と評価

イベントカメラからのイベント情報処理結果を光学系にリアルタイムでフィードバックするシステムを設計し,プロトタイプを作製するとともに性能評価を行う.GPUの台数や搭載するメモリ量の検討,さらには高速化が必要な信号処理部にはFPGAへの実装を行うなど,全体のシステムとして最も性能が出る構成を検討し,実際のシステム構築を行う.このシステムを用いて3次元実シーンを対象に撮像実験を行う.様々なシーンを対象に取得実験を行い,イベントカメラの信号レート,光学系の応答速度,フィードバック制御系の応答性能などのパラメータと,得られる画像の精度の関係を解析し,データを蓄積する.以上の上記各段階での成果をまとめ,新しい原理に基づくカメラの基礎資料として整備する.

4. 研究成果

最初に高速制御が可能な光学系について検討した.レンズアレイや液晶レンズ,ガルバノメータミラーなどを候補として基礎的な実験を行ったところ,得られる画像が十分な解像度を有することや,光学系を通すことによる像のボケ等の画質劣化を防ぐという観点から,ボイスコイル式2軸スキャンミラーを用いた反射型の光学系を採用した.機械的制御を伴うものではあるが,応答速度は20 Hzあるので,基本的な原理検証のための速度としては十分であると判断した.

次に,イベント信号の詳細な解析と情報処理法の検討を行った.HDディスプレイに校正信号となるパターンを時系列で表示させて撮影することや,LEDをさまざまな周波数で点滅させる方法等によって基準信号を生成し,それらをイベントカメラで撮影し,イベント情報を解析した.さまざまな論文で言及されている通り,イベント信号はかなりノイズを含むものであり,また時刻同一性の問題についてもカメラのマニュアルに記載されている値よりも大きな値で時間遅れが生じる,などの課題があることが分かった.後段の処理においてこれらを補正可能なもの,補正不可能なものに分けて処理のフローを構築し,機械学習のデータとして入力するという形で誤った信号列が学習に使われるなどの工夫を行った.

最後に,プロトタイプの作製を行った(図2).光学系の制御系としてハードウェアを中心とする信号処理装置の構築が必要であるとの判断に至った.高速な演算・処理を可能とするため,GPUによる計算処理パワーと低レベルのI/Oの両方を有したものとしてJetson nanoを利用した.また,単純な信号処理を極めて高速に行う必要がある部分についてはFPGA(Field Programmable Gate Array)の利用が適切であるとの判断に達し,Linuxなどの高レベルOSと高速信号処理が可能なFPGAとの間のインターフェースをシームレスに行うことのできるザイリンクス社のSoCボードを導入した.これらの工夫によってリアルタイムのフィードバックを有する視覚システムの基本システムを構築することができた.今後はこのシステムと最先端の機械学習手法を併用して,このシステムの持つポテンシャルを探求していく予定である.

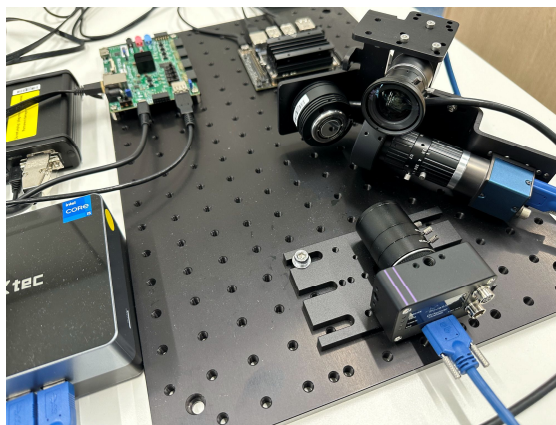


図2. 作製したカメラシステムのプロトタイプ

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 1件）

1. 著者名 Keigo Tomita, Chihiro Tsutake, Keita Takahashi, Toshiaki Fujii	4. 巻 105, 116710
2. 論文標題 Denoising Multi-View Images by Soft Thresholding: A Short-Time DFT Approach	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Signal Processing: Image Communication	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.image.2022.116710	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 富田 佳吾, 都竹 千尋, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 動的視線空間の雑音除去における短時間フーリエ変換の最適化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥野 広之, 都竹 千尋, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 イベント情報と座標ベースのニューラル表現を用いた動画の高フレームレート化
3. 学会等名 画像符号化シンポジウム・映像メディア処理シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥野 広之, 都竹 千尋, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 イベント情報を手がかりにした動画の適応的撮影の一検討
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富田 佳吾, 都竹 千尋, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 短時間フーリエ変換を用いた動的光線空間の雑音除去
3. 学会等名 映像情報メディア学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥野 広之, 都竹 千尋, 高橋 桂太, 藤井 俊彰
2. 発表標題 イベントカメラを用いた光線空間の高密度復元
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 2022
4. 発表年 2022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
研究分担者	都竹 千尋 (TSUTAKE Chihiro) (20884240)	名古屋大学・工学研究科・助教 (13901)	

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
---------	---------