

Estimating Motion with an Event Camera

July 2023

Shintaro Shiba

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	芝 慎太郎
主 論 文 題 名 : Estimating Motion with an Event Camera (イベントカメラによる動き推定)					
(内容の要旨) カメラを用いた動きの推定は、コンピュータビジョンやロボティクスにおける基本的な問題の一つである。生物に着想を得た新しいセンサであるイベントカメラは、画像平面上のエッジの動きなどによって引き起こされる画素の輝度の変化に反応するため、動きの推定に適したデータを得ることができる。非同期的で時空間的なデータ取得原理によって、低遅延、高ダイナミックレンジ、データ効率性などの利点をもつため、イベントカメラは従来のフレームカメラでは困難だった環境での活躍が期待されている。しかしながら、イベントベースで動き推定をおこなう最先端の手法には、いくつかの課題がある：(i) 典型的な目的関数は、複雑な自己動き（エゴモーション）やオプティカルフロー推定において、望ましくない最適解を持ち、推定が不安定である。(ii) イベントベースのオプティカルフロー推定は、イベントの時空間的な性質を考慮してきていない。(iii) 既存のオプティカルフロー手法の多くは、生物学的に妥当であるとは言い難い。本研究では、イベントデータの性質を再考することで、自己動きやオプティカルフローといった様々な動き推定問題における不良な設定を改善し、新しいフロー推定手法を提案する。さらに、イベントベースの動き推定の応用として、新たなイメージング技術を開発する。 第1章では、イベントカメラを用いた動き推定問題の概要を提示し、本研究の貢献についてまとめる。 第2章では、イベントカメラの原理と、イベントカメラを用いた様々な自由度の動き推定に関する既存の手法を概観する。 第3章では、低自由度の自己動き推定問題に注目し、イベントのみから動きを推定するコントラスト最大化法の改良を提案する。この章の目標は、速度を犠牲にすることなくイベント崩壊（縮退）を緩和することで、より高度で複雑な自己動き推定問題を安定的に解くことである。 第4章は、高自由度のオプティカルフロー推定問題に焦点を当て、コントラスト最大化法を拡張することでオプティカルフローを推定する原理的な方法を提案する。さらに、オプティカルフローの定義をフレームベースからイベントベースの時空間オプティカルフローに拡張し、遮蔽をよりよく処理できることを示す。 第5章では、神経科学の知見に基づいた、生物学的により妥当なオプティカルフロー推定手法を新たに提案し、第4章の手法とも比較しながら、実行速度と推定精度のトレードオフについて議論する。 第6章では、動き推定の応用として、イベントカメラを使用したシュリーレンイメージング技術を開発し、空気の熱対流を推定する手法を提案する。ここでは、第4章で提案したフロー推定手法とも比較しながら、線形化イベント生成モデルを拡張し、イベントとフレームを用いてシュリーレンのような複雑な運動を推定する新しい手法を提案する。 第7章では、本研究の成果をまとめ、今後の課題について議論する。					

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. _____ *Office use only	Name	SHIBA, Shintaro
Thesis Title			
Estimating Motion with an Event Camera			
Thesis Summary			
<p>Estimating motion from image sensors is a fundamental problem in computer vision and robotics. Event cameras are novel bio-inspired sensors that provide a signal suitable for estimating motion because their pixels naturally respond to intensity changes. This working principle of visual data acquisition in the form of asynchronous per-pixel intensity differences offers advantages such as low latency, high dynamic range, and data efficiency, which contribute to overcoming challenging scenarios for conventional frame-based cameras. However, state-of-the-art methods of event-based motion estimation have several challenges: (i) typical objective functions have undesired optima for complex ego-motion and optical flow estimation scenarios, (ii) event-based optical flow has not considered the space-time nature of events, and (iii) many existing optical flow methods are not biologically plausible. This thesis rethinks the nature of event data, improves the well-posedness of various motion estimation problems, and proposes a new optical flow estimation approach. Furthermore, it demonstrates a novel application of event-based motion estimation in imaging sciences.</p> <p>Chapter 1 gives an overview of the motion estimation problems considered using an event camera, summarizing the contributions of this work.</p> <p>Chapter 2 reviews the working principle of an event camera and existing methods in motion estimation that use only events or a combination of events and frames (i.e., images).</p> <p>Chapter 3 focuses on ego-motion estimation from events alone and proposes improvements to the Contrast Maximization (CMax) framework. The goal of this chapter is to extend it to higher, more complex motion estimation problems by mitigating event collapse without trading off speed.</p> <p>Chapter 4 focuses on optical flow estimation and proposes a principled method to estimate optical flow by extending CMax. It also extends frame-based optical flow to event-based, space-time optical flow to handle occlusions better.</p> <p>Chapter 5 proposes a new optical flow estimation method, which achieves fast runtime upon sacrificing accuracy. The proposed method stems from neuroscience and is biologically plausible.</p> <p>Chapter 6 demonstrates an application to estimate the convection of heated air (motion of air density), using schlieren imaging techniques. Here, a new method using events and frames to estimate complex motion is proposed, by extending the linearized event generation model.</p> <p>Chapter 7 summarizes the results of this work and discusses future work.</p>			