

イベントカメラを用いたオプティカルフロー推定
～スパース・非同期推定を目指して～

2024年2月

長田 惇

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	長田 惇
主 論 文 題 名： イベントカメラを用いたオプティカルフロー推定 ～スパース・非同期推定を目指して～					
(内容の要旨) オプティカルフロー推定は、移動物体の認識において重要な技術である。また、自動運転の衝突回避のような緊急性の高いシステムでは、高レートでの推定が求められる。従来のフレームベースのカメラでは、画像間で輝度一貫性を測ることで推定を行うが、時間分解能の低さから画素同士の対応づけは本質的に困難である。近年では、深層学習など高度なモデルが提案されているが、出力レートを上げようとするとも画像の枚数が多くなり、全画素を処理することは計算負荷が大きくなる。 イベントカメラは画素ごとに非同期的に輝度の変化を出力するカメラであり、高い時間分解能を持ち、オプティカルフローの推定に適していると言える。その特性ゆえに、時空間イベントを局所的に平面フィッティングすることで簡単にフローが得られるが、エッジに並行な成分に不定性が残り、完全なオプティカルフローではない。また、イベントを密に処理してフローを推定する手法が存在するが、古いイベントに対して再計算を要し、効率的な処理とは言えない。そこで本研究では、スパースかつインクリメンタルな処理によってイベントから完全なオプティカルフローを推定する手法を提案する。 第1章に、本研究の背景と目的を述べた。 第2章では、従来の画像ベースのオプティカルフロー推定技術について述べ、その原理的課題を述べた。次に、イベントカメラを導入し、既存手法について概説した。 第3章では、イベントデータから輝度を復元することで、従来の輝度一貫性の仮定を利用する手法に着目した。高い時間分解能で輝度を復元しフローを推定可能であるが、データがスパースなため平坦な推定になってしまう。そこで、車載シーンの運動モデルを活用した正則化を提案し、精度向上を確認した。 第4章では、第3章の復元した輝度で一致度を測る仕組みは、差分のみを処理するイベントの特性を活かしきれていないと考え、イベントの時間で直接対応づけを測る損失関数を提案した。これにより、提案のロス関数を滑らかさの正則化とともに最適化することで、輝度復元を介さずにオプティカルフローを推定可能とした。 第5章では、非同期イベントデータを画像と同様に扱い、全画素で同期的に最適化を行っていた第3、4章に対して、スパース、非同期的、インクリメンタルにオプティカルフローを推定する手法を提案した。イベントデータから局所的に得られる動きの情報から、オプティカルフローの分布を細長い2次元のガウス分布で表現し、滑らかさの事前情報を合わせたファクターグラフを構成した。信念伝搬法によってイベントが来るごとに各画素の分布を非同期的に更新して周辺化することで、局所的な演算のみからオプティカルフローを推定することを可能とした。スパースな手法であるため並列化が可能で、マルチコア CPU でリアルタイム処理を達成した。本手法は計算結果を任意のタイミングで取り出すことができ、出力レートを自由に設定可能である。 第6章では、結論として本研究で得られた成果を要約した。					

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> “KOU” <input type="checkbox"/> “OTSU” No. _____ *Office use only	Name	NAGATA, Jun
Thesis Title Optical Flow Estimation with An Event Camera: Toward Sparse and Asynchronous Processing			
Thesis Summary <p>Optical flow estimation is an important technique for moving object recognition. It is required to estimate at a high rate in urgent systems such as collision avoidance in autonomous driving. In conventional frame-based computer vision, optical flow estimation is performed by measuring brightness consistency across images, however, the low temporal resolution makes pixel-to-pixel association difficult, and advanced models, such as deep learning, have been proposed. Also, as the output rate is increased, data become redundant, and the computational load increases due to processing all pixels.</p> <p>An event camera is a sensor that detects asynchronous changes in luminance at each pixel and its high temporal resolution makes it suitable for estimating optical flow. Because of this property, a flow can easily be obtained by local plane fitting of spatio-temporal events, but it is not a full optical flow due to an aperture problem. There are methods to estimate the full optical flow by processing events densely like frames, but this is not an efficient processing because it requires recalculation of past events. Therefore, we propose a method for incremental estimation of optical flow from sparse events. We propose a method that enables sparse and incremental estimation of optical flow while preserving the advantages of using events.</p> <p>Chapter 1 describes the background and objectives of this study.</p> <p>In Chapter 2, we describe conventional image-based optical flow and discuss their fundamental challenges. Next, we introduce event cameras and gave an overview of existing methods.</p> <p>In Chapter 3, we focus on a method that uses the conventional brightness consistency assumption by recovering luminance from event data. It can estimate optical flow with high temporal resolution, but the sparsity of the data results in poor estimation. Therefore, we propose a regularization method utilizing a car motion model and confirm the improvement in accuracy.</p> <p>In Chapter 4, we propose a method for estimating optical flow without luminance restoration by directly measuring association with event timestamps.</p> <p>In Chapter 5, we propose a method for sparse, asynchronous, and incremental estimation of optical flow, in contrast to the synchronous and dense optimization methods of Chapters 3 and 4. We model the probability of full flow as an elongated 2D Gaussian and formulate marginalization using belief propagation. This allows real-time estimation of full flow from only local operations.</p> <p>Chapter 6 concludes this study.</p>			