

イベントカメラ用高速画像処理ライブラリとアプリケーション開発 —FastSense「Event cameraを用いた機械の眼の実現」—

1: 背景

Event cameraは人の網膜構造に基づいたNeuromorphic cameraであり、人間の目に実際に入力される情報に近いデータを処理している。（従来のRGBカメラは入力情報を脳内の高次の視覚野で処理した情報を写真として計測している。）近年のAIシステムがコンピュータの目として扱うデータは写真がほぼ全てであったが、私たちは従来のRGBカメラで撮像される写真ではなく、Event cameraで計測されるイベントデータこそが、機械にとってよりよい入力情報なのではないかと期待する。

2: 目的

Event cameraは従来のコンピュータビジョンの枠組みとは大きく異なるセンサであり、そのデータを取り扱うためのインターフェースは確立されていなかった。今後Event cameraを用いたアプリケーション実装を加速させていくにはそのような機能を持つライブラリが必要不可欠である。

また、Event cameraはそのデータの特質から従来のRGBカメラで得られるようなフレームの概念がなく、非同期的に座標と輝度変化のフラグが出力されるという、従来のコンピュータビジョンの枠組みでは扱うことができないデータ構造である。これらの非同期データのある程度の時間幅でまとめ、擬似的にフレームを創出し、既存の画像処理アルゴリズムを適用することは可能であるが、それではEvent cameraの特性である高速かつ低データ容量という利点が失われてしまう。そのため、上記ライブラリは、既存のコンピュータビジョンの枠組みとは根本的に異なるアルゴリズム・処理を想定したデータ構造を有する必要がある。

これらの理由により、デバイス操作のための入出力機能のみならず、イベントデータに特化したデータ構造、およびそういったデータを活用するアルゴリズムを内包したライブラリが必要である。本プロジェクトではまずこのライブラリを作成し、全ての基盤となるプロダクトとして位置付ける。

続いて、Event cameraを実世界で用いることを考えると、センサ自体が目新しいために、データ不足といった問題に直面する。これは例えば私たちがEvent cameraを車に備え付けて公道を走行したときにどのようなデータが来るのか、部屋の中を移動した時、はたまた空を飛んでいるときにどのようなデータが来るのかが未知であるという問題である。さらには、車同士が衝突する際どのようなデータになるのか、ドローンが障害物にぶつかる際はどのようなデータなのか、といった事例に関しては、現実世界では何回も試行ができない状況であり、これらのデータ不足問題はEvent cameraを用いたアプリケーション開発を阻害する要因となる。

これらの理由により、本プロジェクトのメインプロダクトとして、Event camera による任意の状況での計測データを模倣するようなシミュレータを作成する。このシミュレータは、従来のコンピュータビジョンでは解決することのできない問題を持った技術者・研究者が、その問題をEvent cameraを用いて解くためのツールとなる。さらに、シミュレータ上で開発したアルゴリズム・モデルを実ロボットに転移（デプロイ）するためのツールは、上記ライブラリに内包されており、問題定義からデプロイまでの全体の流れをサポートすることで、本プロジェクトのビジョンである「次世代の機械の眼であるべきEvent cameraを用いたアプリケーションを実装」することを狙う。

3: 製品・サービスの内容

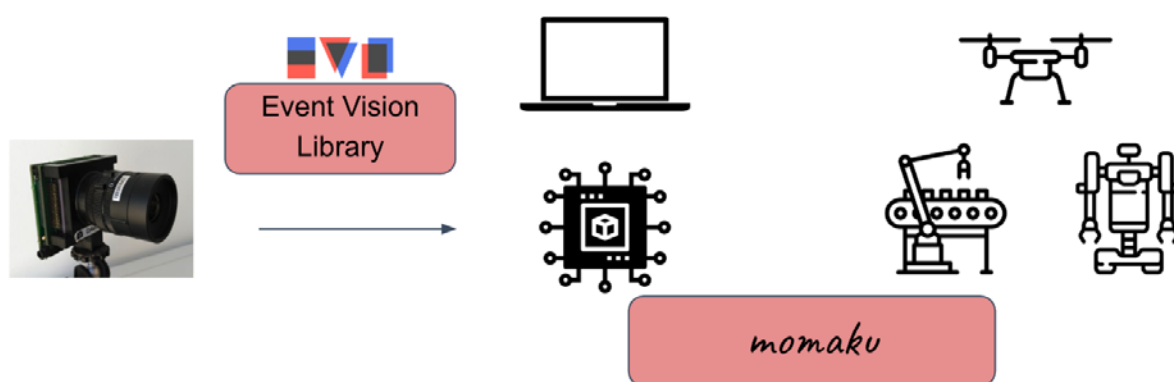


図1. プロダクト構成図

私たちの提案するプロダクトの構成要素は以下の二つである（図1）。

(a) Event cameraシミュレータMomaku

Event cameraで取得されるデータを3Dシミュレータ空間内で取得できるようにするソフトウェアである。これは例えば衝突回避にEvent cameraを利用したいと考えた際に、実際に車等で衝突を繰り返して取得されたデータを解析するというのは非現実的であるため、正確に構成されたシミュレータ空間で実験を行うためのシステムである。

また本シミュレータは強化学習のための機能・インターフェースが用意されており、簡単に与えられた問題を解くようなエージェントの学習を行うことができる。これにより、様々な環境に適用可能なEvent cameraを組み込むアルゴリズムの開発が可能になる。さらには、ここで学習されたアルゴリズムをシミュレータから実世界に転用するためのインターフェースも用意する。すなわち実際のEvent cameraを利用することになるが、ここで鍵となるのが次のライブラリである。

(b) ライブラリ Event Vision Library

Event cameraから正しく効率的にデータを取得し、扱いやすくするための機能(I/O機能)とEvent camera特有の画像処理アルゴリズムを含んだライブラリを開発した。ライブラリ開発における最終目標は、必要な基本機能を網羅し、開発者が気軽に利用できるEvent cameraにおけるOpenCVを作ることである¹。

未踏期間中に実現したプロダクトは以下の通りである。

(a) Event cameraシミュレータMomaku

指定した状況で、自律エージェントが移動し、その観測データとしてイベントデータが μ s単位で取得され、また、その観測を元にエージェントがアクションを決定し、学習していくという強化学習の仕組みを含んだシミュレータが完成した。また学習済みモデルを実世界のロボットにデプロイすることにも成功した。

(b) ライブラリ Event Vision Library

カメラを取り扱うためのドライバを内包した入出力機能の実装、取得データを効率的に扱うためのデータ構造の実装、イベントデータ特有のコンピュータビジョンアルゴリズムなどの実装を完了した。

(c) 衝突回避アプリケーション（実機デモ）

上記のシミュレータとライブラリの有用性を示すために、シミュレータを用いてイベントデータに対する機械学習モデルを訓練し、ライブラリを用いて実機で動くデモを作成した。実際の機体としてRaspberry Piで動くトイカーを用いた。シミュレータの内部では強化学習させて、正面に障害物が来た場合に停止行動をするように学習した。その強化学習モデルを実機にデプロイし、実際に障害物が急に現れた時に停止することに成功した。

このデモによって、実際の自動車に関してもEvent cameraの効力を推定することができる。実際の自動車では、Event cameraを用いると従来のカメラよりも1m早く停止できることを示すことができた。

このようなデモは、実際にEvent cameraのアプリケーションをイメージする時に非常に重要である。シミュレータの精度（現実世界にどのくらい似ているか）を示したり、シミュレータを特定産業ドメインの顧客に示したりするために自身で作っていく必要がある。

¹ 1999年にIntelが開発した画像処理のオープンソースライブラリ。 <https://opencv.org/> 内容は、wikipediaによくまとまっている。 <https://ja.wikipedia.org/wiki/OpenCV>

4: 新規性・優位性

Event cameraのライブラリは2019年現在存在しない。またEvent cameraシミュレータについても、強化学習機構を組み込んだライブラリは存在しない。私たちのプロダクトはこの二つをカバーし、実世界へのデプロイまで一貫して実現できることから新規性があると言える。

5: 事業普及（または活用）の見通し

すでに複数の機関からライブラリ等への問い合わせがきている。

6: 期待される波及効果

Event cameraは2015年に開発が始められた新しいセンサであり、今はリサーチレベルで需要がある段階である。そのため、上記のような研究機関の方々と、共同研究などの形で本プロジェクト成果を広げて行くことが第一ステップである。また、自動運転などの領域で注目を集め始めており、今後もロボットの眼としてのEvent cameraの需要は増していくと考えられる。その時に、本プロジェクトで作成した、シミュレーションからデプロイまで一貫して実現できる私たちのプロダクトは、大きなビジネスチャンスに繋がれると考える。

7: イノベータ名（所属）

荒川 陸（東京大学）

芝 慎太郎（Toyota Research Institute Advanced Development）