

## 【助成 40-47】

### 人工知能および距離センサーを用いた次世代手術トレーニングシステムの開発

研究者 九州大学小児外科 助教 福田篤久

#### 〔研究の概要〕

本研究では artificial intelligence(AI)を用いて内視鏡手術トレーニングシミュレータにおける鉗子操作の客観的評価システム開発検証を行った。トレーニングボックス上部から iPad で撮影した動画を用いて鉗子の動きを計測した。鉗子の認識と位置計測には、DeepLabCut と呼ばれる AI を用いた姿勢推定手法を使用し key point における追従安定性を検証した。検証の結果、改善すべき点はあるものの AI を用いた鉗子軌道評価システムは、内視鏡技術を客観的に視覚化し、将来的には内視鏡外科医の研修や技術評価に有用なツールになり得ると考えた。

#### 〔研究経過および成果〕

本研究では、トレーニングキットに鉗子の動きを計測する機能を実装する方法について検証を行った。

#### 追跡手法

本研究では、トレーニングキットを上部から撮影した動画から鉗子の動きを計測した。

動画からの鉗子の認識と位置計測には、DeepLabCut (DLC) と呼ばれる AI(深層学習)を用いた姿勢推定手法を使用した。DLC は、マウスや猿など動物各パーツ(例えば指や尻尾など)がどのように移動しているか定量的に計測するために用いられており、特に生物の行動解析や医療領域の研究に幅広く活用されている。DLC は AI による追跡手法であり、学習データセットを必要とする。学習データセットの作成にはラベル付けが必要となる。ラベル付けとは、AI に追跡対象を学ばせるために必要となる手続きであり、動画から複数のフレーム(画像)を抽出し、抽出したフレームに映る対象物の特定の部分を選択することを指す。ラベル付けされたそれぞれの点は keypoint と呼ばれる。

#### 検証

図1中の tip1-tip7、stick1-4 に示す keypoint を 300 フレーム分ラベル付けした。図2は、DLC が検出した鉗子上の各パーツを丸印(●)、人によるラベル付けを十字印(+)で示したものである。動画全体のフレームのうち、学習に使用されていないフレーム 5% をランダムにピックアップして丸印(検出結果)と十字印(正解データ)の位置の比べた結果、ピクセル距離の差分の平均値は 9.2 ピクセルであった。

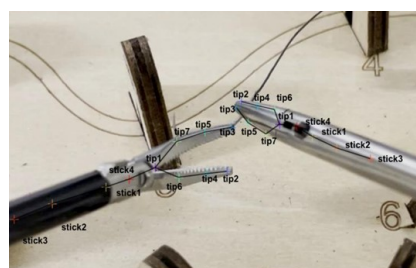


図1:ラベル付けされた鉗子の keypoints

なお、図2中のクロス印(×)は誤検知であると判断され追跡から取り除かれた点を示す。クロス印も DLC がパーツとして検知した点ではあるが、confidence score と呼ばれる検知の信頼性を示す値が低いいため、誤検知であると判断された点を示している。

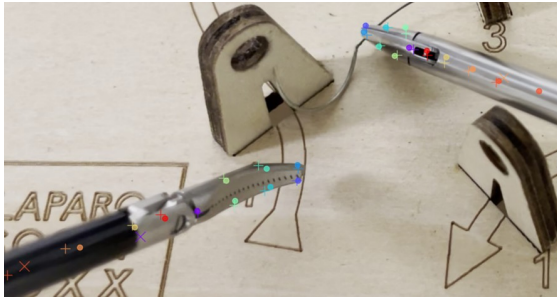


図 2:ラベル付けした keypoints と検出された keypoints の比較

## リミテーション

鉗子の検出が不安定になる要因として、大きく分けて 3 つの種類の特徴が確認された。

### 1. Keypoint が観測不可になるケース

トレーニングキット上のオブジェクト等の遮蔽により keypoint が確認できない、鉗子の回転により keypoint が確認できない、高速移動時の激しいブレにより keypoint が確認できない、などの要因により検出が不安定になることが確認された。

### 2. Keypoint の見た目上の特徴が少ないケース

図1中の tip1,2,3, stick1,4 は比較的安定した追跡が可能であることが確認された、しかし、stick2,3 には検出位置のずれが発生するケースが多く見られた。原因として、stick2,3 の見た目上の特徴が tip1,2,3, stick1,4 に比べて少なく、かつ stick2,3 のそれぞれの見た目の特徴とラベル付けの位置がお互いに近いことが原因であることが想定される。

### 3. ラベル付けをした際の背景と追跡を行う際の背景に違いがあるケース

本研究では、図3に示すような 3 種類のトレーニング内容の動画を検証に使用した。DLC の機械学習モデルの学習には、図3左の動画から収集した学習データセットを用いた。機械学習モデルは、学習をおこなったデータと実際に推論(位置計測)を行うデータが

近いほど精度が向上する特徴がある。結果として、図3左の動画を入力した場合には安定した追跡が可能であることが確認されたが、図3中心のオレンジ色の紐がある箇所、図3中心右の青色のオブジェクトがある箇所においては、検出の安定性が大きく低下することが確認された。



図 3:検証に使用したトレーニング内容と背景の見目の違い

## 対策

比較的安定して計測が可能であった tip1,2,3, stick1,4 のそれぞれの位置の関係(ジョイント)情報を用いて追跡を安定化させる対策が考えられる。例えば、鉗子は剛体であるため、tip1,2,3, stick1,4 それぞれの検出位置の関係が大きき歪むことは考えられない。そのため、検出された keypoints のうち 1 点のみが歪んだ位置に検出された場合には、その点が誤検知であると検知可能となる。また、1 点がトレーニングキット上のオブジェクトによって遮蔽された場合にも、他の keypoints の位置情報を用いて視認できない keypoint の位置を推測可能となる。トレーニングキットの背景ごとの検出精度のブレに関しては、それぞれの背景を満遍なく学習データとして使用することによって解決されることが予測され、更なる改良開発中である。

[発表論文]

1. Fukuta A, et al: Innovative endoscopic surgical skill validation system using artificial intelligence technology: The first joint IPEG/ESPES congress in Sorrento, Italy, July 5-8, 2023.