

## 製造現場におけるカメラ映像を用いた熟練技能者と非熟練者との作業差異の抽出方法

## A Method for Extracting Differences of Performance between Skilled and Unskilled Workers Using Camera Images at a Manufacturing Site

川合 亨<sup>†</sup> 福本 剛<sup>†</sup> 中島 拓也<sup>‡</sup>

Toru Kawai Go Fukumoto Takuya Nakajima

## 1. はじめに

近年、製造現場における人手不足が深刻な問題となっている。製造ラインの教育担当者が作業教育にかけることができる時間が少なくなっているが、作業員の入れ替わりが頻繁に発生するため、教育の負荷が増大している。また、熟練技能者(以下、熟練者)のみでラインを構築することが難しく、生産や品質の安定性にも悪影響を与えている。そのため、非熟練者の教育に割く時間を減らし、効率的に熟練度を向上させるためのシステムが求められている。

まず、効率よく技能を習得するためには、非熟練者自身で時間を要している作業を認識する必要がある。そこで、我々は熟練者と非熟練者との作業差異を抽出するシステムを開発した。本システムでは、カメラで撮影した熟練者と非熟練者の作業映像に対し、姿勢推定モデルを用いて関節位置を取得し、各時系列データについて動的時間伸縮法(ダイナミックタイムワーピング、以下 DTW)[1]を用いて比較することで、差異が大きな動作を自動で抽出した。その結果、熟練者と比較して時間を要している非熟練者の動作を自動で抽出することができた。本手法を用いることで、今後非熟練者の効率的な熟練度の向上に繋がると考えている。

## 2. 提案手法

従来、非熟練者の作業解析は、ストップウォッチでの計測やビデオカメラで撮影した映像を手手で解析を行っていた。このような人手作業の効率化のため、OTRS(Operation Time Research Software)のようなソフトウェアを用いる場合もある。ただし、製造現場への張り付きや目視による映像確認を行う必要があった。本手法では、自動で熟練者と非熟練者の作業を比較し、作業差異を抽出することで人手による解析作業工数を削減する。

カメラ映像を用いて自動で動作を比較する手法として横井らの手法[2]があり、姿勢推定処理と DTW を組み合わせて用いている。また、西田らの手法[3]では、同じく姿勢推定処理と DTW を用いて自動で作業時間の差異を抽出しているが、事前に対象とする骨格点を決める必要があり、また、映像を目視で要素作業に分割する必要がある。

本手法は、熟練者と非熟練者の作業映像を入力とし、姿勢推定処理により得られる熟練者の各骨格座標の時系列データから、動きが大きな骨格点を自動で抽出する。そして、熟練者と非熟練者の抽出された骨格点の時系列データに対して DTW を適用し、コスト行列の最短パスの傾きと長さを用いて遅延動作を自動で抽出する。

本手法の処理フローを以下で説明する。

## 2.1 準備

熟練者と非熟練者の作業を、カメラを用いて動画撮影する。この時、各撮影時の画角は同一とし、作業者の上半身と手元が画角に入ることを前提とする。また、各動画は、比較したい一連の作業の始点と終点で切り取られているものとする。

## 2.2 骨格点抽出

2.1 で取得した動画に対して姿勢推定処理を実行し、各フレームに対して骨格点の画像上の位置座標を取得する。本手法では、細かい指先作業を伴う部品の組付けを対象としており、指の骨格点を検出できるモデルを使用している。

## 2.3 時系列データ作成

2.2 で取得した各フレームの手首から先の骨格点の位置座標成分を画像の縦方向と横方向に分割し、時系列データを生成する。

## 2.4 注目骨格点を抽出

2.3 で生成された熟練者の時系列データから、移動量の分散値が大きな骨格点を抽出し、ノイズとなる小さな動きを排除する。例として、図 1.2 に抽出された骨格点の時系列データを示す。

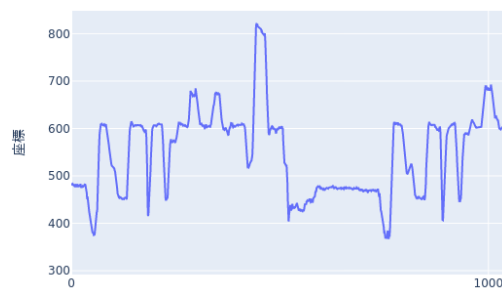


図 1: 右手人差し指の時系列データ例

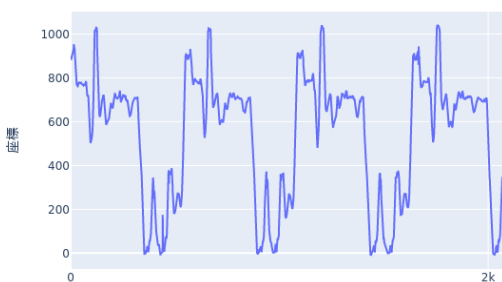


図 2: 右手首の時系列データ例

<sup>†</sup> 株式会社アイシン AISIN Corporation

<sup>‡</sup> Idein 株式会社 IDEIN Corporation

## 2.5 DTW によるコスト行列生成

2.4 で抽出した熟練者と非熟練者の骨格点の時系列データに対して、DTW を用いてコスト行列を算出する。

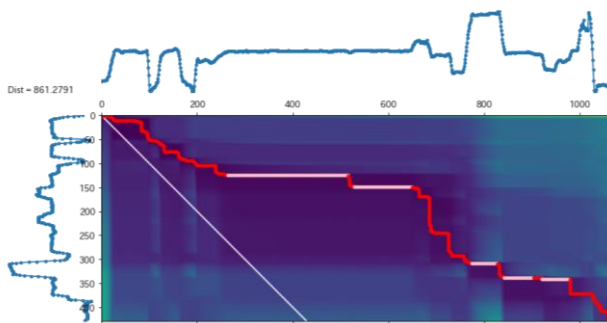


図 3: DTW コスト行列グラフ

## 2.6 遅延作業抽出

コスト行列において、最短パスが水平になるほど熟練者と非熟練者の作業時間の差異が大きくなっていることを意味する。最短パスの傾きと長さによって、遅延している動作を抽出する。

以上より、自動で熟練者と非熟練者の作業比較、また、遅延動作抽出を実現している。

## 3. 実験

本手法を用いて、遅延作業の抽出を実施した。実験内容とその結果を以下に示す。

### 3.1 実験データ

2 種類の組立工程(OP100,OP210)において実験を行った。各工程について、OP100 は計 4 名(熟練者 2 名、非熟練者 2 名)、OP210 は計 3 名(熟練者 1 名、非熟練者 2 名)を対象とし、作業者正面方向から撮影した映像を使用した(図 4)。評価セットは以下 6 パターンである。

- ① OP100 工程 熟練者 A・非熟練者 A
- ② OP100 工程 熟練者 A・非熟練者 B
- ③ OP100 工程 熟練者 B・非熟練者 A
- ④ OP100 工程 熟練者 B・非熟練者 B
- ⑤ OP210 工程 熟練者 A・非熟練者 A
- ⑥ OP210 工程 熟練者 A・非熟練者 B



(a) OP100 工程



(b) OP210 工程

図 4: 作業者画像

## 3.2 実験方法

3.1 で作成した評価セットに対して、以下の実験フローを実施する。

- (i) 撮影した動画のフレームを目視で要素作業ごとに分割、各作業時間を計測し、熟練者と非熟練者の作業時間に 1 秒以上差異がある要素作業を抽出する。
- (ii) 本手法を用いて、非熟練者の動作が遅延しているフレームを抽出する。本実験では DTW コスト行列の最短パスの傾きが水平となる状態が 0.3 秒以上継続した場合を対象とした。
- (iii) (i),(ii)を用いて、遅延している要素作業のフレームと本手法により抽出した遅延動作フレームが一致するかを確認する。

## 3.3 実験結果

全 6 パターンにおける、遅延作業の抽出精度を図 5 に示す。6 パターンの平均で、正検出率 88%、誤検出率 19% となった。未検出については、同じ作業でも作業間で動きが異なることで作業のマッチングが上手くいっていないことが挙げられる。そのため、複数のキーポイントを用いて作業抽出を行うことが解決策として考えられる。また、誤検出について、本手法で抽出したフレームが 2 つの要素作業に跨っていることが要因であるが、抽出フレーム内で正しく遅延している要素作業を捉えていることから、適用するアプリケーションへの影響は小さいと考えられる。

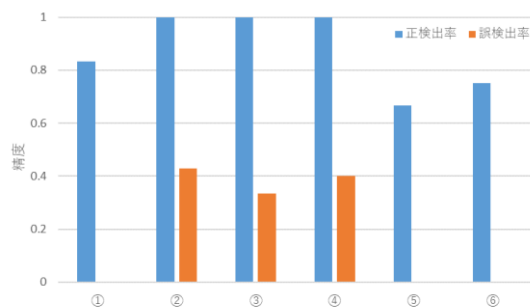


図 5: 遅延作業抽出精度

## 4. おわりに

本論文では、カメラで撮影した熟練者と非熟練者の作業映像をもとに、時間を要している動作を自動で抽出する手法を述べた。今後は非熟練者を教育する際に、教育映像を自動生成するアプリケーション化を予定している。さらに、作業者ごとの作業の癖を抽出し、分析することで各作業者に合わせた教育システムを構築することを考えている。

### 参考文献

- [1] H.Sakoe and S.Chiba, "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Proc., Vol.26, pp. 43-49 (1978)
- [2] 横井 真也, 石川 孝明, 渡辺 裕, "スポーツ映像から取得した骨格座標データに対するアライメント", 電子情報通信学会 情報・システム講演論文集 2 (2019).
- [3] 西田 一貴, 音田 浩臣, "セル生産ラインにおける作業者の標準外動作検知システムの開発", システム制御情報学会論文誌, 第 33 巻, 第 5 号 (2019).