

Jetson Orin Nano を利用した作業台の作業者の動作解析

1 はじめに

令和 5 年の労働災害発生状況において建設業全体の中で墜落・転落災害は 2644 件と約 35% を占め、その墜落・転落災害においてはしご等は 4808 件と約 23% を占めており、可搬式作業台において作業者が移動の際に足を踏み外すなどの事故が発生している。

また労働災害に対する安全管理では潜在する危険および危険事象を確認し経験や系統的観察、分析により危険の発生確率を推定し、リスクを評価するリスクアセスメントが用いられる。しかしながら評価者の知識の程度、経験によってかなりのばらつきが出るため、一定の尺度により数値化しリスクを見積もる方法があると良い。そのため先行研究として作業台の使い勝手に関する実験 [1] では比較的高価で大規模なモーションキャプチャ機材を使用しているが実際の現場で使用するのは困難である。

一方姿勢を推定することができる YOLO では、取得できる座標は 2 次元座標であり動作解析には不向きである。

そこで本研究では、小型コンピューター上で人の骨格推定と作業台の位置の 3 次元推定を行うことのできる、持ち運び可能で安価なデバイスを利用し動作解析を行うことのできるシステムを構築し、事故の要因となる事象について考察することを目的とする。

2 Ultralytics YOLO

本研究では人と脚立の検出に Ultralytics YOLO11 を使用する。Ultralytics YOLO11 はリアルタイム物体検出ライブラリであり、人の姿勢を 15 点のキーポイントで推定することができる [2]。しかし取得できる座標は画面上の 2 次元座標であり、動作解析には不向きである。

3 Jetson Orin Nano

本研究では小型コンピューターとして NVIDIA 社の Jetson Orin Nano を使用する。Jetson Orin Nano は幅 100 × 奥行 79 × 高さ 21mm 程の小型コンピューターである。

4 AR を用いたデータセット作成の簡易化

データセット作成を簡略化するため脚立の前に ArUco のマーカーを印刷した紙を置き、脚立を複数の角度から撮影した 10 分程度の動画を作成した。

図 1 に実測した脚立の寸法から 18 点の脚立に合わせるようなキーポイントを求めキーポイントを全て内包するバウンディングボックスを求めた結果を示す。

動画から得た画像とアノテーションファイルを学習用データ 2815 枚、評価用データ 281 枚に分け 223 エポック学習する。

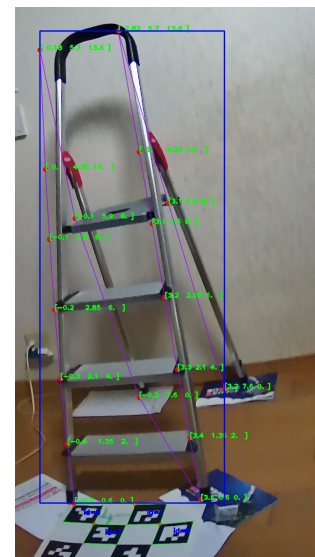


図 1 AR マーカーを使用した自動アノテーション
(赤: キーポイント, 青: バウンディングボックス)

5 作業台と作業者の 3 次元復元

Jetson Orin Nano に接続された 2 台のウェブカメラに対し 4 節で得られたモデルと Ultralytics YOLO11 のポーズ推定タスクを使用した人体と作業台の姿勢を推定した。これを図 2 に示す。次に脚立の対応点からカメラ位置を推定しそこからキーポイントへ向かうベクトル同士の最接近点を求めることで 3 次元復元を行い、各部位ごとの質量比 [3] より重心位置を求める。

5.1 実験方法

脚立の昇降動作において

- 手すりを使用
- 8.25kg のポータブル電源を右手に持ち手すりを不使用

の条件で撮影を行い重心の移動した経路を得る。

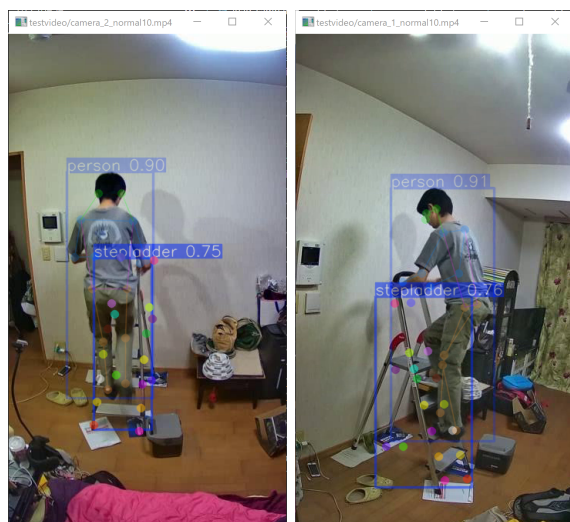


図 2 入力された 2 枚の画像

5.2 実験結果

手すりを使用したときと 重りを右手に持ち手すりを不使用の条件で撮影した重心の移動の経路を図 3, 図 4 に示す。

また Jetson Orin Nano で実行した場合,1 つの推論モデルあたりの処理時間は平均して 68.616ms であり, リアルタイムな処理では実際の動きから 2 秒ほどの遅延と 1 秒間に 11 枚程度の処理を行えるという結果が得られた。

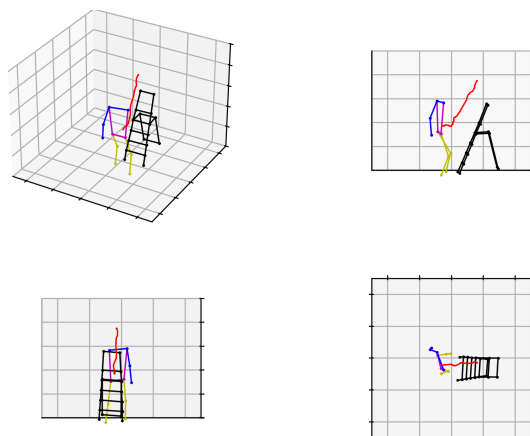


図 3 手すりを使用した降段動作の重心の移動

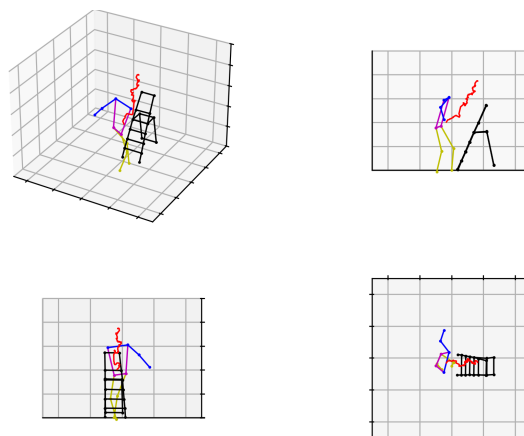


図 4 重りを持ち手すりを使用しない降段動作の重心の移動

図 3, 図 4 より重りを持ち手すりを使用しない動作の方が重心のブレが多いことが確認できた。また昇段動作よりも降段動作の方が重心のブレが大きいことも確認できた。

6 おわりに

本研究では作業台等の固定物と人のポーズ解析を小型コンピュータで行い持ち運び可能な測定, 解析装置を開発することを目的としてどれほどの精度と速度を出すことが出来るかの検証を行った。

本研究の結果として既存の産業用モーションキャプチャ程の精度は得られなかったものの, 取得した 3 次元情報から重心の軌跡のプロットなど簡易的な動作解析を行うことができること, AR マーカーを使用し固定物のキーポイントアノテーション作業を簡略化できることが示唆された。

本システムを活用することにより, 重心の移動や手足の動作を簡易に測定することが可能となり, これにより脚立や作業台の形状選定に関する検討や, 作業時のリスク評価に対する定量的な分析が可能であることが示唆された。

参考文献

- [1] 清水ら, 作業側から見た作業台の使い勝手に関する動的評価, 安全工学研究発表会講演予稿集, 56th, pp.11-14, 2023.
- [2] Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, and Ali Farhadi. "You only look once: Unified, real-time object detection," 2016.
- [3] 松井秀治, "各種姿勢の重心位置に関する研究", 体育学研究, vol2, no. 2, pp65-76, 参照, Sep. 29 2020.