

危険検知を目的としたハンダ付け技能の動体解析システムの開発

豊島 恭平・小田 哲也*・湯川 千尋・長井 祐樹

岡山理科大学大学院工学研究科修士課程情報工学専攻

*岡山理科大学工学部情報工学科

(2022年10月31日受付、2022年12月5日受理)

1. はじめに

ハンダ付け技能は、電子機器製造工場が必要とされる産業技能の一つであり、製品の品質を左右する非常に重要な技能である。また、世界的な取り組みとして、障がいのある人が共に働くことが当たり前の社会を実現するために、障がい者雇用対策が進められている。日本では、障がい者雇用対策の一環として、「障がい者雇用促進法」が制定されている。また、企業規模に応じて一定の割合で障がい者を雇用することが義務づけられている。また、障がい者に対しては、職業訓練、職業紹介、職場適応支援等の職業リハビリテーションが行われており、それぞれの障害特性に応じたきめ細かな支援が行われるよう配慮されている。特に知的障がい者は、並行作業や柔軟な対応が必要な作業等の複雑な作業を苦手とする人が多い。一方で、工場作業のような単純作業が得意とする人が多い。日本の生産現場には、障がい者に電気部品のハンダ付けを指導している工場もある。しかし、障がい者がハンダ付けの技能を習得するためには、同じ作業を覚えて繰り返し行う必要があり、技能を習得するまでに長時間を要する。また、安全に起因する労働災害は、人的被害、物的被害、生産被害等があり、業種を問わず、生産現場における安全性が強く求められている。加えて、ハンダ付け作業は、集中力の欠如や単純作業による手抜き等でヒューマンエラーが起りやすいとされている。そして、ハンダ付けの初学者は、経験不足によるヒューマンエラーが起りやすいため、部品の接触不良や火傷などの事故につながる可能性がある。そこで、指導者は障がい者のハンダ付け作業を監視する必要があり、生産現場における障がい者および初学者のハンダ付け作業の安全確保と指導者の負担軽減が求められている。本稿では、これらの問題を解決するために、物体検出[1, 2]、姿勢推定[3, 4]、スマートスピーカに基づくハンダ付け技能の動体解析システムを提案する。また、画像認識に基づきハンダゴテを持つ際の危険な状況やハンダ付け時の危険な姿勢を検出した実験結果を示す。

2. 提案システム

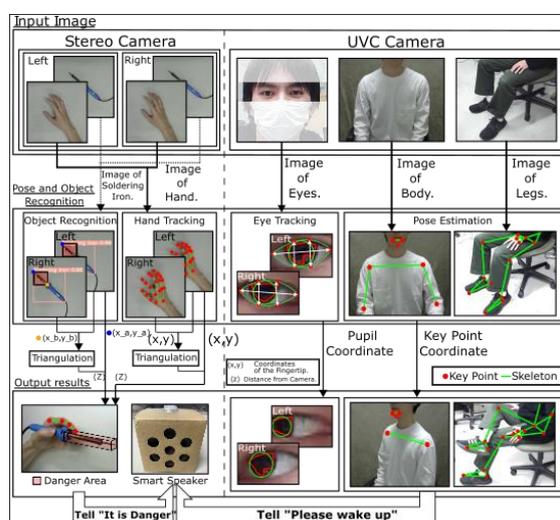


図1 提案システムの概要

提案システムの構成を図1に示す。提案システムでリアルタイムに認識可能な身体部位は以下の通りである。

- ハンダゴテ
- ハンダゴテの先端(コテ先)
- 手
- 上半身
- 下半身
- 目

これらの認識を用いて、ハンダゴテを使用する際の危険な操作を判定する。さらに、危険検知の判定時にスマートスピーカからハンダゴテの利用者に危険性を通知する。ステレオカメラによる方法では、コテ先の危険箇所へ指が近づくと危険と判断する。ハンダゴテとハンダゴテのコテ先は、YOLOv5[5]を用いた物体検出を行い、ハンダゴテの利用者の手は、MediaPipe[6]を用いたハンドトラッキングの対象とする。物体認識から得られたハンダゴテのコテ先を含む矩形領域と指

先を含む矩形領域を危険領域とし、危険領域と指先の三次元座標を考慮した衝突判定により危険かどうかを判断している。ハンダゴテのコテ先は、 a 、 b 、 c の三次元座標で構成する。 a と b は、ハンダゴテ先を考慮した長方形の始点 $a(x_a, y_a)$ と終点 $b(x_b, y_b)$ の対角線上の座標である。指先の三次元座標は、二次元座標 (x, y) とZ軸の z 座標で構成される。 x, y はハンドトラッキング[7, 8]に基づく指先の座標である。提案システムのステレオカメラは、2台のカメラで撮影した画像の視差から、カメラと対象物の距離を三角測量により導出することができる。そこで、ハンダゴテのコテ先とハンドトラッキングの z 座標は、三角測量によって得られた、カメラから指先までの距離を示している。UVCカメラを用いた手法では、身体全体の姿勢を推定する。単一カメラによる姿勢推定では死角が生じるため、JetsonNanoを3台、UVCカメラを3台使用し、死角を無くすことを図っている。各カメラから得られる座標データはJetsonNanoに集約されるとともに、JetsonNanoで危険検知を行う。また、全身の認識精度を高めるために、各カメラの高さを一定にし、前方に配置された1台のカメラに対して ± 45 度の角度で他のカメラを配置している。既存研究[9]では、UVCカメラを用いたハンダ付け時の上半身の姿勢における安全/危険を検出する手法を提案している。提案システムでは、ハンダ付けの際に体が卓と平行になる姿勢を正しい姿勢とし、体が前に傾いたり、左右に一定角度以上傾いたりする姿勢を危険な姿勢とすることで、ハンダ付けの際に体が机と平行になる姿勢を正しい姿勢とし、体が前に傾いたり、左右に一定角度以上傾いたりする姿勢を危険な姿勢とする。姿勢は、MediaPipeを使った骨格推定で得られたキーポイント (x, y, z) をもとに推定する。肩のキーポイントが利用者の前方カメラから一定距離以上離れている場合、前傾姿勢と判定する。両肩の三次元座標における Z 座標の差が一定値以上であれば、上半身が左右に傾いた危険な姿勢であると判定する。下半身についても同様に、姿勢推定で得られた足首より下の y 座標を用いて、 y 座標が一定値以上の場合をハンダ付け時の危険な姿勢と判断する。また、両目の視線を使った危険検知では、前方に配置されたカメラで目を認識する。人物の中心座標が中央にある場合は正常と判断する。中心座標が中心から一定距離以上離れている場合に危険と判断する。Google AIY VoiceKit V2は、危険検知の判定時に表1に示すような音声を出力する。例えば、ユーザの指先がハンダゴテのコテ先が危険領域に近づいたとき、Google AIY VoiceKit V2を用いてハンダゴテの利用者に“あなたはハンダゴテを危険な持ち方をしています”と伝える。



図2 実験環境

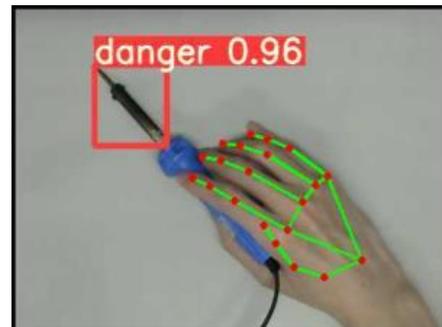


図3(a) 周囲に工具が無く、正しい持ち方の場合

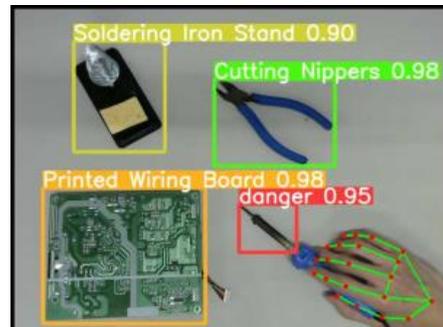


図3(b) 周囲に工具が有り、正しい持ち方の場合



図3(c) 周囲に工具が無く、危険な持ち方の場合

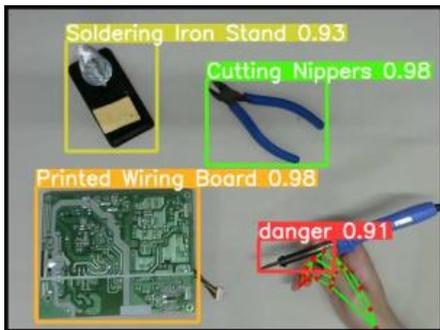


図3(d) 周囲に工具が有り、危険な持ち方の場合



図3(e) 周囲に工具が無く、5秒間隔で危険領域に触れる場合

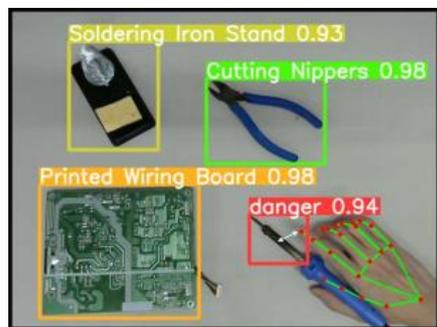


図3(f) 周囲に工具が有り、5秒間隔で危険領域に触れる場合

図3 周囲の工具の有無とハンダゴテの持ち方

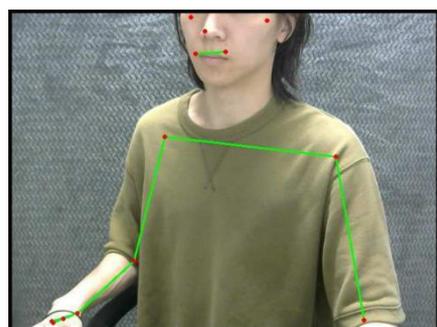


図4(a) 右に傾いた姿勢

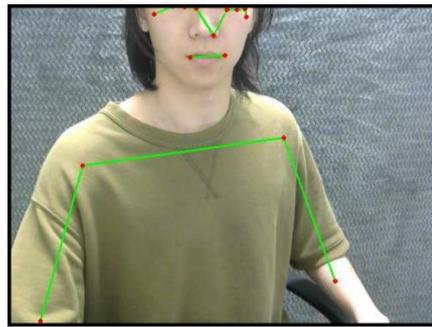


図4(b) 左に傾いた姿勢

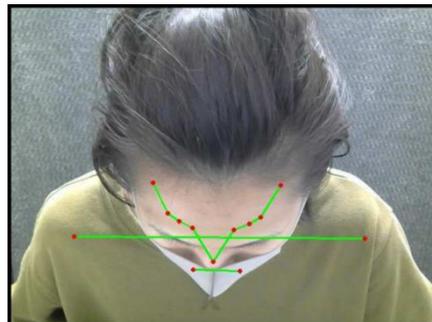


図4(c) 前傾姿勢

図4 上半身の姿勢パターン



図5(a) 視線の左右の移動

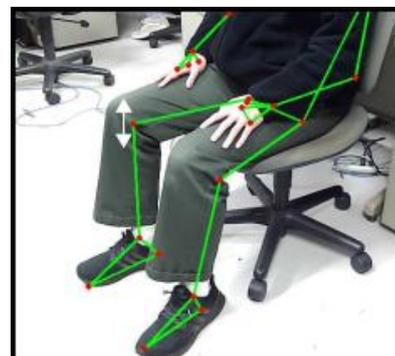


図5(b) 両足の上下の移動

図5 目と両足が行う運動のイメージ

表2 危険検出時の音声出力例

検出した状態	出力内容
コテ先の危険領域に指先が侵入している	危険な持ち方です
ハンダゴテを正しく持っていない	ハンダゴテを正しく持ってください
ハンダ付け時に上半身が正面を向いていない	危険な姿勢です
足を組んで椅子に座っている	足を下ろしてください
視線が正面を向いていない	よそ見は危険です

3. 実験結果

本節では、提案システムの実験結果について述べる。図2に実験環境を示す。提案システムでは、ハンダゴテのコテ先の中心からの距離が5.0[cm]以内の領域を危険領域と定義する。また、上半身が35度以上の前傾姿勢、または、左右傾姿勢を、危険な姿勢と定義する。実験シナリオは、ハンダゴテを持つ手、上半身、下半身、目、両足を対象とした動体解析を行う。また、図2の卓上に、工具が存在しない状態/作業に用いる工具が存在する状態を考慮する。工具の有無とハンダゴテの持ち方のパターンを以下に示す。

1. 作業を行う卓上において周囲に工具が無く、正しい持ち方をしている状態である。
2. 作業を行う卓上において周囲に工具が有り、ハンダゴテの正しい持ち方をしている状態である。
3. 作業を行う卓上において周囲に工具が無く、ハンダゴテの危険な持ち方をしている状態である。
4. 作業を行う卓上において周囲に工具が有り、ハンダゴテの危険な持ち方をしている状態である。
5. 作業を行う卓上において周囲に工具が無く、5秒間隔でハンダゴテのコテ先の危険領域に触れている状態である。
6. 作業を行う卓上において周囲に工具が有り、5秒間隔でハンダゴテのコテ先の危険領域に触れている状態である。

実験時間は60秒間であり、得られた全フレームに対して認識を行う。図3に各ハンダゴテの持ち方のパターンにおける危険領域、周辺の工具、骨格の認識結果と認識率を示す。また、図4に上半身の姿勢パターン、図5に両目と下半身が行う運動のイメージを示す。合計フレーム数を400として、100フレーム間隔で体を動かす動的な状態と静的な状態の比較を行う。動的な状態は、図5(a)に示すカメラを正面としたときの各目の中心の3次元座標を左右に一定距離移動させた場合であり、図5(b)示す各膝の3次元座標を上下に一定距離移動さ

せた場合である。図3(a)、図3(b)、図3(c)、図3(d)および図4の実験結果を図6に示す。図6の認識率は、70フレームごとに10回計測した平均値であり、1フレームは約0.015[sec.]である。図6(a)は、ハンダゴテの持ち方について、作業を行う卓上において周囲に工具がある場合とない場合の正解率を示している。正しい持ち方における認識率は100.0[%]であることがわかる。また、危険な持ち方における認識率は、利用者の周囲に工具が無い場合は約83.2[%]、周囲に工具が有る場合は約84.1[%]であることがわかる。この実験結果から、ハンダ付けを行う卓上において周囲の工具の有無による認識精度の差は無いことが確認できる。上半身の姿勢推定に基づく危険検知における認識率は、図6(b)から3種類全ての姿勢のいずれにおいても約95[%]以上となり高い精度を有していることがわかる。図7に5秒間隔で危険領域内に意図的にハンダゴテをもつ手を侵入したときの危険検知の実験結果を示す。図7(a)と図7(b)は、それぞれ図3(e)と図3(f)の卓上の状態に対するハンダ付けの危険検知の結果である。図7(a)は、はんだごてを持つ指の動きに対して正確な危険検知の結果が得られていることがわかる。一方で、図7(b)において35[sec.]から40[sec.]付近で確認できる波形の乱れは、ハンダゴテがカッティングニップとして誤認識された状態である。図8に視線および足の動きの実験結果を示す。図8(a)は左右の視線が動いている状態(動的)/動いていない状態(静的)を検出しており、100フレームごとに視線が動いていることが確認できる。一方で、視線を動かしていない状態における100フレーム目の動きは瞬きを示している。図8(b)は膝の動きを検出しており、膝を動かしている状態(動的)/動かしていない状態(静的)ともに誤検出がないことがわかる。実験結果から、ハンダ付け時における画像認識に基づく異常検知は、ハンダゴテの持ち方や危険姿勢に対して有効な手法であることが確認できる。

4. まとめ

本論文では、ハンダ付け技能の動体解析システムを開発した。また、動的/静的な実験シナリオや危険動作を考慮した実験結果を示した。実験結果から、提案システムを以下のように結論づける。

- 提案システムは、動体解析に基づくハンダ付けの訓練を行うことができる。
- 実験結果から、提案システムでは視線、上半身、下半身を対象とした動体解析を行うことができる。
- 初心者が安全にハンダ付け技能を習得することを支援することが期待できる。

今後は、ハンダ付け技能の学習時における手ブレ等、様々なシナリオを考慮した実験を行い、動体解析システムの改良を行いたい。

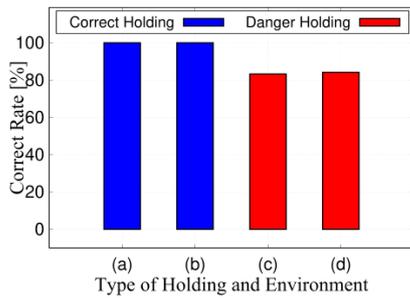


図6(a) ハンダゴテの持ち方

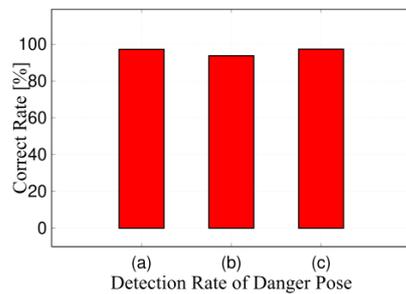


図6(b) 上半身の姿勢

図6 ハンダゴテの持ち方と上半身の姿勢の実験結果

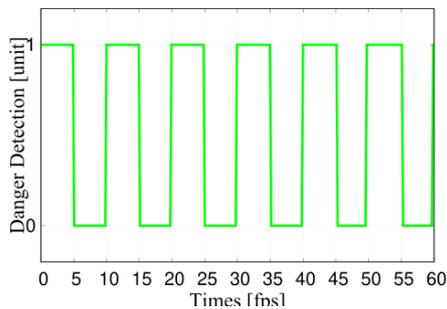
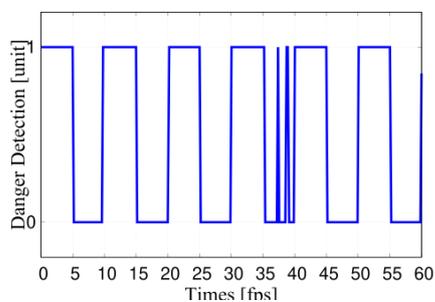
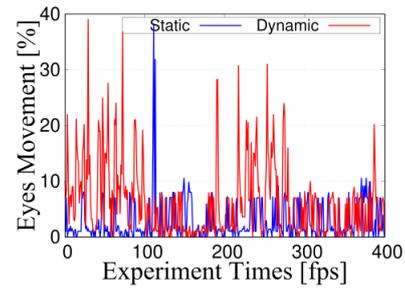
図7(a) 周囲に工具がなく、
5秒間隔で危険領域に触れた場合図7(b) 周囲に工具があり、
5秒間隔で危険領域に触れた場合
図7 危険領域に対する接触の実験結果

図8(a) 視線の追跡

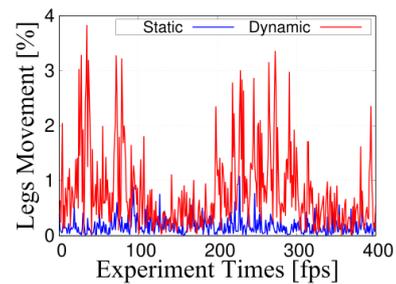


図8(b) 足の動き

図8 動的な状態と静的な状態の比較結果

参考文献

- 1) C. Papageorgiou, et. al., "A general framework for object detection", The IEEE 6th International Conference on Computer Vision, pp. 555-562, 1998.
- 2) P. Felzenszwalb, et. al., "Object detection with discriminatively trained part-based models", The IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 32, No. 9, pp. 1627-1645, 2009.
- 3) A. Toshev and C. Szegedy, "DeepPose: Human Pose Estimation via Deep Neural Networks", Proc. of The 27-th IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (IEEE/CVF CVPR-2014), pp. 1653-1660, 2014.
- 4) R. Haralick, et.al., "Pose estimation from corresponding point data", The IEEE Transactions on Systems, Vol. 19, No. 6, pp. 1426-1446, 1989.
- 5) F. Zhou, et. al., "Safety Helmet Detection Based on YOLOv5", The IEEE International Conference on Power Electronics, Computer Applications (ICPECA), pp. 6-11, 2021.
- 6) C. Lugaresi, et. al., "MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines", arXiv preprint arXiv:1906.08172, 2019.
- 7) S. Abolmaali, et. al., "Pill Ingestion Action Recognition using MediaPipe Holistic to monitor elderly patients" International Supply Chain Technology Journal, Vol. 7, No.11, 2021.
- 8) J. Shin, et. al., "American Sign Language Alphabet Recognition by Extracting Feature from Hand Pose Estimation", Sensors, Vol. 21, No. 17, pp.5856, 2021.
- 9) T. Yasunaga, et. al., "A Soldering Motion Analysis System for Danger Detection Considering Object Detection and Attitude Estimation", Proc. of The 10-th International Conference on Emerging Internet, Data & Web Technologies, pp. 301-307, 2022.

Proposal and Evaluation of a Soldering Techniques Analysis System for Danger Detection

Kyohei Toyoshima, Tetsuya Oda*, Chihiro Yukawa and Yuki Nagai

Graduate School of Engineering,

**Department of Information Science and Computer Engineering,*

Okayama University of Science,

1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama 700-0005, Japan

(Received October 31, 2022; accepted December 5, 2022)

The soldering techniques are one of the industrial techniques required in electronic device manufacturing plants. Also, soldering is prone to human error due to a lack of concentration and corner-cutting caused by simple tasks. In addition, at the work sites, it is necessary to ensure safety while soldering for persons with disabilities and to support instructors. Therefore, it is expected that accidents can be reduced by having instructors indicate dangerous motions or inappropriate postures during soldering. In this paper, we propose and evaluate a soldering techniques analysis system for danger detection. The experimental results show that the proposed system can detect dangerous motions in soldering.

Keywords: Soldering Techniques Analysis, Object Detection, Pose Estimation, Indicate System, Danger Detection, Hand Tracking.