

## 組立作業中の迷いの有無と種別検出のための手と視線の連動性の活用

村儀 天星† 渡邊 昭信† 辻 愛里†† 藤波 香織††  
 † 東京農工大学 大学院 生物システム応用科学府 生物機能システム科学専攻  
 †† 東京農工大学 大学院 工学研究院 先端情報科学部門

## 1 はじめに

組み立て作業において、適切なタイミングで最適な支援を実施するためには、作業者の迷いの状態を特定する必要がある。作業者のスキル習得プロセスを分析するために、視線と手の動きの連動性の特徴を用いた研究 [1] がされているが、作業者の迷い状態の推定に応用されていない。既報 [2] では、手が停滞時の視線情報を用いて迷いの推定を行ったが、停滞時に限定することで視線情報を十分に活用できなかったため、停滞時以外の手の情報の活用方法が課題となった。そこで本研究では、視線遷移に加え、手と視線の連動性を活用し、迷いの有無と種類の分類を試みる。

## 2 組み立て最中の迷い検出と分類システム

## 2.1 システムの概要

本研究の想定する迷い検出・分類システムでは、アイトラッカーから得た注視点情報を視線遷移の時系列に変換し、Webカメラから得た手の位置情報と組み合わせ、特徴量とすることで作業者の迷いの有無、そして迷いの種類を判定を行う。なお、判定は組み立て作業の各ステップごとに行う。

分類の対象する迷いの種類は組み立て作業の主要な動作を部品探索と接合の2つに区別したStorkらの研究 [3] を参考にし、部品探索と接合という組み立て作業の主要な動作に対して発生する迷いを検出し、さらに、迷いがない状態も含めて3クラスの分類を行う。

## 2.2 特徴量

## 2.2.1 視線遷移の特徴量

本研究では視線情報の分析手法として一般的なArea of Interest (AOI) 分析 [4] を用いる。AOIとは、機器や物体に対して設定する関心領域のことであり、設定した意味のある領域間の視線遷移を分析に用いる。AOIへの視線の滞在は、Salvucciの研究 [5] を参考に100ms以下の視線の滞在を破棄し判定を行う。AOI間の視線遷移情報について、ノードがAOI、エッジが遷移とすることでネットワーク構造とみなすことができ、その特徴を表現できる次数中心性、媒介中心性、近接中心性、ページランク、平均遷移回数、正規化遷移回数の算出を行い、視線遷移の特徴量とする [2]。

## 2.2.2 手と視線の連動性を活用したヒストグラムの特徴量

川瀬らの研究 [1] を参考にし、手と視線の連動性の特徴量として、図1に示す手法により、視線のAOI遷移

と同時刻の手の位置のヒストグラムを取り入れる。位置の判定はAOIへの視線の滞在と合わせるため、100msで行っている。また、手のみ、視線の位置のみのヒストグラムも同時に算出し、手と視線のヒストグラム12次元、手のみのヒストグラム3次元、視線のみのヒストグラム4次元をまとめヒストグラムの特徴量とする。

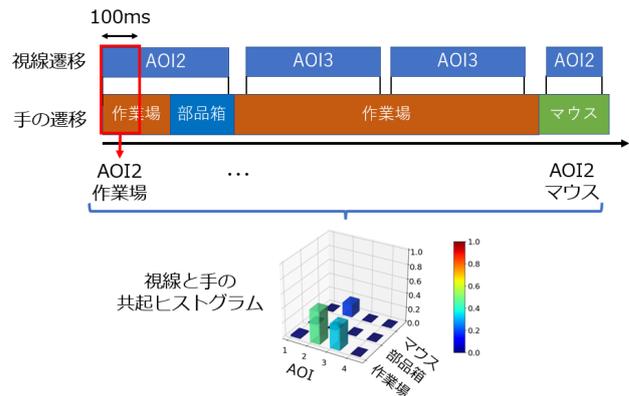


図1: 手と視線の連動性の特徴量算出概要

## 3 組み立て作業時のデータ収集実験

組み立て作業中の視線データの収集を目的とし、20代16名(男性:9名,女性:7名)を対象にデータ収集実験を行った。本実験の組み立て作業としてレゴブロックによる4つの組み立てタスクを行った。また、組み立て作業時には、作業手順書、完成図の2つの指示が与えられ、図2に示すように左に完成図、右に作業手順書、そして前方に部品箱が配置されている。本研究では、1つのAOIにつきApriltag[6]を4つ用いて、四角形のAOIを設定し、AOIは各部品箱、作業手順書、完成図、作業場に設定した。なお、各タスクで使用した部品は同じ8種類だが、部品の位置を記憶させないためにタスクごとに部品箱の位置をシャッフルしているため、AOI1~AOI15は各タスクで異なる部品を表しており、ヒストグラムの特徴量算出では、部品箱間の視線遷移を考慮しないため、部品箱で1つのAOIを設定している。作業は20ステップとなっており、アイトラッカーPupilCore[7]と生体信号センサを装着して作業を行った。生体信号センサは非利き手(左手)に装着したため、作業は利き手のみで行った。なお、生体信号センサは別途使用し [8]、本研究では使用しない。作業手順書には1ページに1ステップ分の指示が表示され、マウスは作業手順書の操作に用いる。部品箱には部品識別用の文字列が表示されており、被験者はこの文字列を頼りに部品探索を行う。また、各ステップ終了時に行う被験者による迷いの5段階評価(0:すらすらできた~4:やりきることができなかった)と組み立て作業後の迷いの種類のインタビューにより、1ステップごとの迷いの有無、迷いの種類を調査した。

Utilization of hand-eye coordinated movement for detecting the presence and type of confusion during assembly operations

† Tensei MURAGI † Akinobu WATANABE †† Airi TSUJI †† Kaori FUJINAMI

† Department of Bio-Functions and Systems Science, Tokyo University of Agriculture and Technology †† Division of Advanced Information Technology and Computer Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

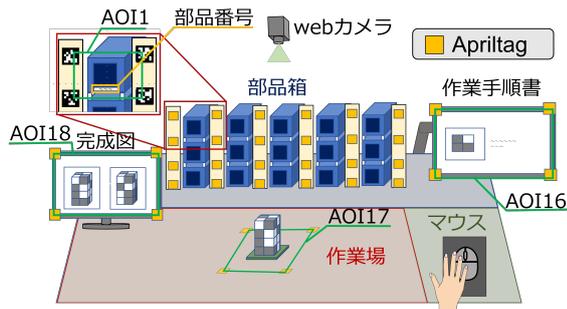


図 2: 実験環境

## 4 実験結果

### 4.1 共起ヒストグラムの可視化

実験で収集したデータを用い、手と視線の同時刻の位置を表現する共起ヒストグラムを可視化した。代表例として、1人の被験者が同一の作業を3回行った際の共起ヒストグラムを図3にそれぞれ示す。この図では、視線が遷移する領域として部品箱、手順書、作業場、完成図、手が遷移する領域として、作業場、部品箱、マウス領域が設定されており、4×3のヒストグラムとなっている。作業の回数が増えると、手と視線の分布がともに作業場に集中していくことを確認することができる。また、作業場に分布が集中するほど申告された迷いレベルも低下する傾向があり、他の被験者においても同様な傾向が見られた。

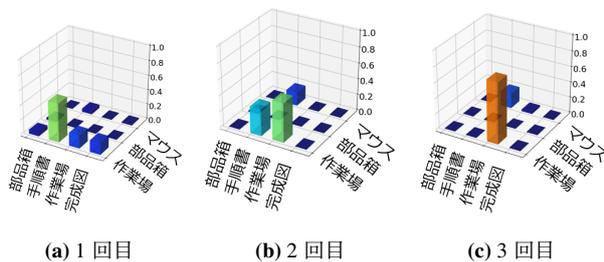


図 3: 同一作業における共起ヒストグラム

### 4.2 機械学習による迷いの分類

迷いなし、部品探索の迷い、接合の迷いの3種類について層化10分割交差検証(以下、全体CV)、個人内層化10分割交差検証(以下、個人内CV)、一人抜き交差検証(以下、一人抜きCV)、タスク内層化10分割交差検証(以下、タスク内CV)、一タスク抜き交差検証(以下、一タスク抜きCV)を行った。分類器としてRandomForestsを用い、視線遷移、ヒストグラム、「全て」の特徴量群を用いた場合についてF値を算出した。なお、分類器の実装はPythonのライブラリscikit-learn(バージョン0.24.2)を用いて行い、弱分類器の数(n\_estimators)を10, 100, 500, 1000の4パターンで変化させ最も良い値でテストを行った。表1より、一人抜きCVを除き大きなF値の差は見られず、全体CVにおいて全ての特徴量を用いたときに最も高いF値を示す結果となった。

## 5 考察

図3より、作業の回数を重ねることで、手と視線の分布が作業場に集中したが、これは必要となる情報の

表 1: 検証方法ごとの特徴量種別による F 値の比較

	視線遷移	ヒストグラム	全て
全体 CV	0.700	0.728	0.735
個人内 CV	0.680	0.740	0.732
一人抜き CV	0.659	0.665	0.679
タスク内 CV	0.688	0.721	0.724
一タスク抜き CV	0.683	0.715	0.722

確認が少なくなることで、分布が集中的になったと考える。また、表1から0.735のF値で3種類の迷いを分類可能であることが明らかになり、どの検証方法においても手と視線の連動性の特徴を含むヒストグラムの特徴量が視線遷移の特徴量よりも分類精度が高い結果となった。さらに、全体CVと比較して、一人抜きCVは0.056劣化し、一タスク抜きCVでは0.011劣化したため、タスクによる影響より個人差の影響が大きい結果となった。また、一タスク抜きCVとタスク内CVの分類結果より、タスクによる影響がほとんどなく、一人抜きCVと個人内CVの結果より、個人間の差が分類に影響を与える結果となった。個人差の主な要因は迷いレベルの評価基準の差によるものであり、主観での評価であるため、その影響を完全に消去することが困難であるためと考えられる。

## 6 おわりに

本研究では、視線と手の動きの連動情報を用いて、組み立て作業中の迷いの検出・分類を行う手法を提案し、その分類精度について検証を行った。その結果0.735のF値で3種類の迷いを状態分類可能であった。また、今回は利き手のみで特徴量を算出したが、両手それぞれに対してヒストグラムを算出することで、提案手法は両手での作業にも応用可能である。将来的には適切なタイミングで最適な支援を実施することや、迷いの種類に加えて強弱まで分類することを目指す。

## 謝辞

本研究はJSPS 科研費(21K11992)の支援を受けた。

## 参考文献

- [1] 川瀬, 橋本. 組立作業における視線と手の動きの関係に着目したスキル習得プロセスの分析. 精密工学会誌, 87(2), pp. 221–225, 2021.
- [2] 村儀, 渡邊, 国方, 辻, 藤波. 組み立て作業における手と視線の移動に着目した「迷い」の検出と分類. 情処学会第84回全国大会, 2022.
- [3] S.Stork and A.Schubö. Human cognition in manual assembly: Theories and applications. *Adv. Eng. Inform.*, 24(3), pp. 320–328, 2010.
- [4] G.Zammarchi, L.Frigau, and F.Mola. Markov chain to analyze web usability of a university website using eye tracking data. *Stat Anal Data Min*, 14(4), pp. 331–341, 2021.
- [5] D.D.Salvucci and J.H.Goldberg. Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. In *Proc. of ETRA '00*, p. 71–78, 2000.
- [6] Apriltag. <https://april.eecs.umich.edu/software/apriltag> (2023/1/5 参照).
- [7] PupilLabs. Pupil Core. <https://pupil-labs.com/products/core/> (2023/1/5 参照).
- [8] A.Watanabe, T.Muragi, A.Tsuji, and K.Fujinami. Recognition of the States of Confusion During Assembly Work Based on Electrodermal Activity. In *Proc. of GCCE 2022*.