

# Writhe Matrixによる手指姿勢の相互表現を用いた机上物体操作の分類

○石川陽久<sup>\*1</sup>, 高瀬裕<sup>\*1</sup>, 山崎公俊<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 信州大学



本研究では、手指姿勢に基づいた机上物体操作の分類を行う。手指姿勢の取得には三次元距離画像センサと手の姿勢推定器を用い、手指の姿勢表現にはWrithe Matrixを用いる。また、この姿勢表現をもとに机上物体操作の分類を行う。深層学習を用いた分類の精度は約9割となり、提案する手指姿勢の表現が有効に機能することを示した。

## 研究目的：作業の進捗を考慮する教示に向けた操作の分類

作業教示を調整するために**必要な要素と課題**

システム

- 被教示者の作業進行具合の把握
- 作業進行具合に応じた教示

作業

作業把握：道具・操作対象の色等の性質が多様  
→物体からの情報は信頼度が低い

生体情報を利用

従来：関節位置・角度を用いた姿勢分類[1][2]  
→作業毎に位置・角度が異なり**比較が困難**

本研究：**指同士の関係に着目して操作分類**

- 手指を観測、指同士の関係を表現
- 作成した表現を用いて、操作方法の違いを分類

モノの**性質に依存しない**姿勢表現・操作の分類  
指同士の関係により、**個人差の影響を抑制**

[1]加藤君丸, 渡辺裕, “姿勢推定による歩きスマホ認識のための歩行検出”, FIT2017(第16回科学技術フォーラム), 2017.  
[2]町田志穂, “人間操作者のモーションを模倣するロボットモーションの視覚的システムの開発”, 大学院研究年報 理工学研究科編 45, 2015.

## 操作分類の全体構成

カラー画像

RGBD sensor

3次元距離

手指の骨格推定

3次元座標への復元

Writhe Matrixによる姿勢表現

CNNでの分類

Writhe Matrix[3]

$$GLI(\gamma_1, \gamma_2) = \frac{1}{4\pi} \int_{\gamma_1} \int_{\gamma_2} \frac{d\gamma_1 \times d\gamma_2 \cdot (\gamma_1 - \gamma_2)}{\|\gamma_1 - \gamma_2\|^3}$$

2曲線の絡まりを表す Gauss Linking Integral (GLI) を、線分の連なりで近似し行列で表現

Landmark

Writhe Matrix

	1	2	3	4
1	$g_{00}$	$g_{01}$	$g_{02}$	$g_{03}$
2	$g_{10}$	$g_{11}$	$g_{12}$	$g_{13}$
3	$g_{20}$	$g_{21}$	$g_{22}$	$g_{23}$
4	$g_{30}$	$g_{31}$	$g_{32}$	$g_{33}$

例) 母子と示指

GLIの大きさ  
小  大

手指の骨格推定・復元

- RGBD sensorのカラー画像を手の姿勢推定器へ入力[4]
- Landmarksの画像座標を出力
- 中心射影モデルで3次元座標を復元

Writhe Matrixによる手指の姿勢表現

- 2本の指を選択し、骨の組合せでGLI近似値 $g_{mn}$ を計算
- 作成したWrithe Matrixの分割と平滑化
- 別の指同士のWrithe Matrixを奥行き方向に追加

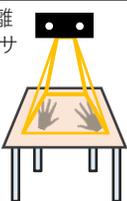
[3] Edmond S.L. Ho and Taku Komura, "Indexing and Retrieving Motions of Characters in Close Contact," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol15 No.3, 2009.  
[4] Fan Zhang et al., "MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking," arXiv:2006.10214, 2020.

## 机上物体操作の分類実験

分類対象のClass

※片手のみで完結する作業 (片手作業)

- 針を掴む※
- 針山を使う
- ミシン糸を掴む※
- リッパーを使う
- 糸切り鋏を使う



赤と青の6通りから Writhe Matrixを作成

約2300個のデータで学習

実験条件

- 手首にARマーカを装着し、左右判別
- 方手作業は右手で操作し、左手は机上の自由な場所で自由な姿勢
- 操作対象の道具は、机上のランダムな位置に配置

実験結果

- CNNを用いた分類
- 再現率87.4%
- 適合率91.7%
- 4番の誤判定が目立つ

実験考察

- Writhe Matrixは周辺セルとの関係が残る →CNNとの相性良い
- 4番と3番は掴み方が類似

	1	2	3	4	5	
1	27	0	2	0	0	
2	2	25	1	0	0	
3	0	0	30	0	0	
4	0	0	10	18	0	
5	0	0	3	0	28	
recall	93.1	89.3	100	64.3	90.3	87.4
precision	93.1	100	65.2	100	100	91.7

**まとめ**：指同士の関係を表現することで、モノの性質を用いずに机上物体操作の分類を行った  
**今後の展望**：個人差の影響の確認、動きのある物体操作の分類、作業教示システムとの融合