

組み立て作業における動作の自動記述手法とそのリズム抽出手法の提案に関する研究

情報科学研究科 情報科学専攻 H11415M 渡邊 瞭太

指導教員：橋本 学 教授

1. はじめに

製造現場では、製品の生産効率を向上させるために、人間の作業を分析することが重要である。一般的な分析手法は、必要な情報を表やグラフに記述し、それを用いて作業を分析する。しかしながら、従来の記述手法は、手動による記述を必要とするため、計測者の主観に左右されやすい。[1][2] 一方、生産効率に影響を与える分析項目のなかでは、動作のリズムが長期的作業の効率化につながるため、重要である。しかしながら、動作のリズムを抽出する手法は未だ提案されていない。

そこで、本稿では、組み立て作業を分析するための記述を自動生成する手法を提案するとともに、さらにその記述を用いたリズム抽出手法を提案する。

2. 作業動作の自動記述手法

2.1 記述形式

作業動作の自動記述手法は、2つのチャートを自動生成する。動作手順が記述されるチャート（動作手順チャートと呼ぶ）および、手と注視点の移動軌跡が記述されるチャート（手・注視点軌跡チャートと呼ぶ）である。動作手順チャートを図1に示す。

sec	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
Left hand	エリア3: 物体 X と Y の組み合わせ							
	エリア2: 物体 X の移動							
	エリア1: 物体 X の位置への手の移動							
sec	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
Right hand	エリア3: 物体 X と Y の組み合わせ							
	エリア2: 物体 X の移動							
	エリア1: 物体 X の位置への手の移動							

図1 動作手順チャート

これは、左右の手による動作の種類と時間を順序ごとに記述するためのものである。このチャートの水平方向の軸は、作業の時間経過を表している。チャートの上半分は、左手による作業動作が記述されるエリアであり、下半分は右手による作業動作が記述されるエリアである。また、エリア1～エリア3には、「物体に対する手の移動」「物体の移動」「物体同士の組み合わせ」を表すシンボルがそれぞれ記述される。

手・注視点軌跡チャートを図2に示す。これは、作業台の

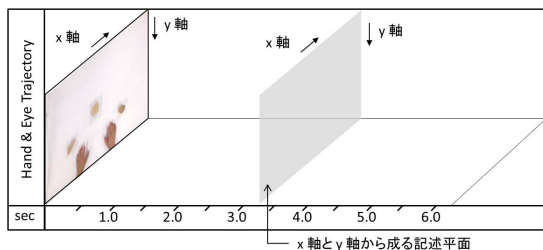


図2 手・注視点軌跡チャート

上を動く手と注視点の時系列的な位置を記述するためのものである。このチャートの水平方向の軸は、作業中の時間経過を表している。また、チャートの奥行き軸と縦軸は画像のx軸とy軸にそれぞれ対応しており、これらの軸からなるエリアには、作業台の上を動く手と注視点の位置が記述される。なお、カメラは上方に設置され、人および作業台を下向きに撮影する。

2.2 動作記述のためのセンシングシステム

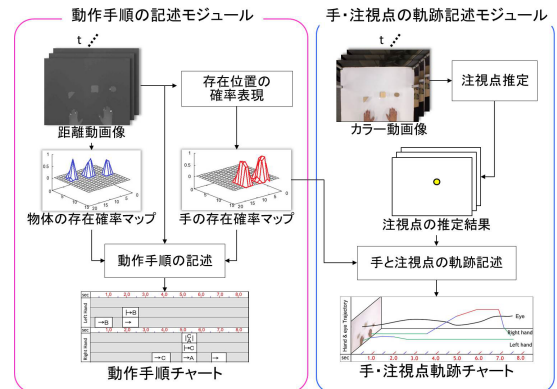


図3 動作記述手法における処理の構成

動作記述手法における処理の構成を図3に示す。処理の構成は、動作手順を自動記述するモジュールおよび手と注視点の軌跡を自動記述するモジュールに分かれている。動作手順の自動記述モジュールでは、距離動画像を入力データとし、それを用いて手の存在確率マップを生成する。それと事前に生成した物体の存在確率マップを用いて、手と物体が相互的に干渉した領域を検出する。その後、距離動画像および手と物体の存在確率マップを用いて動作手順を記述する。手と注視点軌跡の自動記述モジュールでは、カラー動画像を入力データとし、それを用いて注視点の位置を推定する。その後、推定された注視点の位置と動作手順の記述モジュールで検出された手の位置を用いて、手と注視点の軌跡を記述する。

3. 作業動作のリズム抽出手法

3.1 作業動作のリズム

動作が周期的に発生するときの動作の位相および周期間隔のペアをリズムと定義する。したがって、リズムが有る作業とは、動作が周期的に発生するような位相と周期間隔をもつ作業である。リズムがある作業例を図4に示す。

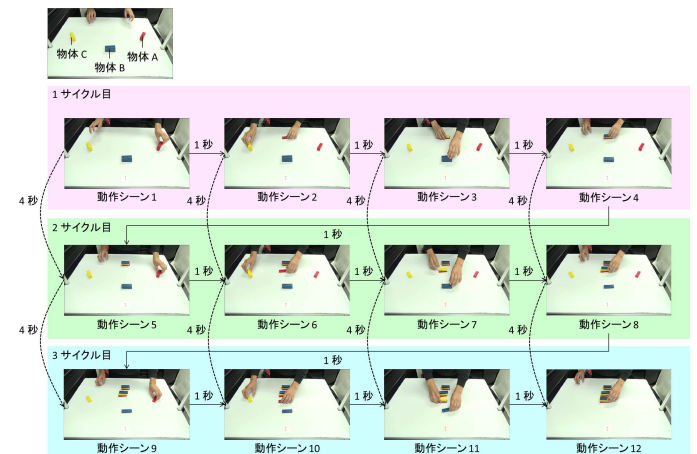


図4 リズムがある作業例

3種類のブロック（物体A、物体B、物体C）の組み立て作業が繰り返されるようすである。動作シーン1では「物体Aの位置への手の移動」、動作シーン2では「物体Bの位

置への手の移動」「物体 A の移動」、動作シーン 3 では「物体 B の移動」「物体 C の位置への手の移動」、動作シーン 4 では「物体 C の移動」がそれぞれ発生している。これと同様の流れが 3 サイクル繰り返される。動作シーン 1・5・9 は同一の動作が発生しているシーンである。動作シーン 2・6・10、動作シーン 3・7・11、動作シーン 4・8・12 も同様である。図 4 のように、動作が移り変わる時間が全て 1 秒とする。これは、同一の動作が 4 秒おきに発生するため、これは周期間隔 4 秒間のリズムがある作業である。

3.2 リズム抽出の流れ

基本アイデアは、動作に対する周期性が高くなるようなパラメータ（位相、周期間隔）を決定する組み合わせ最適化問題を解くことである。また、リズム抽出手法では、動作間や工程間の休憩時間、動作が周期的に発生しているかどうかに着目する必要があるため、動作手順チャートを入力データとする。リズム抽出の流れを図 5 に示す。

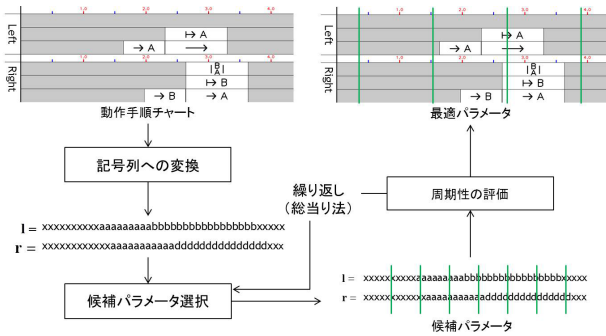


図 5 リズム抽出の流れ

まず、作業動作が記述された動作手順チャートを記号列に変換する。動作手順チャートをフレームごとの記述に区切り、区間内の動作を表現する記号で記号列を作成する。つぎに、目的関数で周期性を評価し、それが最大になるようにパラメータ（位相・周期間隔）を更新する。目的関数は、位相と周期間隔によって分割された時間区間ごとの、記号の一致度合いである。周期性が高いほど、一致度合いは高くなる。

4. 自動記述手法のリズム抽出手法の性能評価

4.1 自動記述手法の性能評価

3 種類のブロックを積み重ねる組み立て作業を対象として動作手順を記述し、記述成功率を評価した。記述成功率とは、自動記述結果と手動で記述した正解データとのフレーム単位の一貫率である。合計 200 秒となる距離動画像を用いて動作手順を記述し、その記述成功率を評価した。生成された動作手順チャートの一部を図 6 に示す。各動作について記述成功率を評価した結果を表 1 に示す。

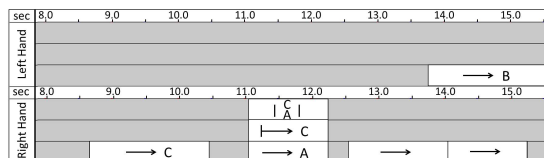


図 6 動作手順の自動記述結果

「物体 X と Y の組み合わせ」「物体 X の移動」「物体 X の位置への手の移動」の記述成功率がそれぞれ 85.4%、90.0%、75.0%であることを確認した。

それらの軌跡記述結果を図 7 に示す。

このような手と注視点の軌跡の記述結果に対して、誤差を評価した。軌跡記述の誤差の評価結果を表 2 に示す。

最大誤差 28.8 cm、平均誤差 13.95 cm で記述されている

表 1 動作ごとの記述成功率

動作名	記述成功率 [%]
物体 X と物体 Y の組み合わせ	75.0
物体 X の移動	90.0
物体 X の位置への手の移動	85.4

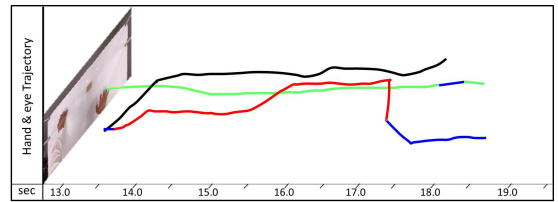


図 7 手と注視点の軌跡記述結果

表 2 軌跡記述の誤差

注視点の誤差		手の誤差 [%]
maximum	Average	Less than 20
28.8	13.95	

ことを確認した。組み立て作業における注視点は、配置された物体に送られるものであるため、注視点の計測精度は物体同士の配置間隔よりも細かくなければならない。注視点の遅れや滞留を分析するためには、物体同士の配置間隔を最大誤差 28.8[cm] よりも大きく設定する必要がある。

また、手の誤差が 20mm 以下であることを確認した。今回、この誤差は物体の大きさの半分以下に相当する。組み立て作業において、手と物体が相互干渉したことを認識するためには、この誤差が物体の大きさの半分以下であれば十分であるため、対象となる物体が 40[mm] 以上であれば許容できる精度と考えられる。

4.2 リズム抽出手法の性能評価

リズムの抽出結果を図 8 に示す。また、メトロノームを用いて作成した Ground Truth と比較し、リズム抽出手法の性能を評価した。

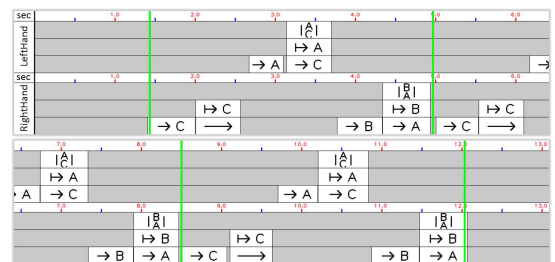


図 8 リズムの抽出結果

動作が周期的に現れる位置で、位相と周期間隔のパラメータが決定されていることから、正しくリズムが抽出されていることを確認した。また、位相の決定結果のうち、最大誤差は 3[frame] であり、平均誤差は 1.6[frame] であることを確認した。フレームレートは 30fps であるため、最大誤差は 0.1 秒、平均誤差は 0.002 秒に相当する。リズム抽出の最小単位は 1 つの動作である。1 つ動作にかかる時間は約 0.5 秒のため、それよりも細かい精度が必要である。実験結果より、動作時間の 1/4 以下の精度であることから、リズム分析に活用できる精度と考えられる。

参考文献

- [1] 阿久津正大, 人体寸法と動作を測る (見える対象を測る), ワークショップ人間生活工学 第 2 巻-人間特性の理解と製品展開, 丸善株式会社, pp.63-79, 2005.
- [2] <http://www.jiet.co.jp/>