

ハンドガイドロボットの操作性に関する評価

○村上 弘記 (IHI/東大), 江本 周平 (IHI), 小椋 優 (IHI), 藤井 正和 (IHI)
曾根原 光治 (IHI), 山下 淳 (東大), 浅間 一 (東大)

Evaluation for Operability for Human Interface for Hand-Guiding Robot

○Hiroki MURAKAMI(IHI/Univ. of Tokyo), Shuhei EMOTO(IHI), Yu OGURA(IHI),
Masakazu FUJII(IHI), Mitsuharu SONEHARA(IHI)
Atsushi YAMASHITA(Univ. of Tokyo) and Hajime ASAMA (Univ. of Tokyo)

Abstract: This paper describes evaluation for operability for human interface for hand-guiding robot which system consists of an industrial robot. The hand-guiding robot has two functions, automatic mode and human-robot collaboration mode. It is easily to realize assembling large or heavy work-pieces with helping human operation. In this paper, “input-output relation”, that is relationship between operator’s input and speed command for robot. It is better to change an input-output relation in precise operation and global operation. Results of assembling experiments using hand-guiding robot show the effects of the input-output relations on operability.

1. はじめに

生産現場でも、単純なティーチングプレイバックの動作だけでなく、力制御や視覚フィードバックを利用して高度な組み立て作業の自動化が導入されつつある。残されている人で作業である重量物や大型形状の搬送、組み付け作業にも省力化・高効率化が求められている。このような対象物では、寸法誤差が相対的に大きいことや、治具等による精密な位置決めが難しいことなどから単純な位置決め制御での組み立てが困難である。一方、対象物の重量や寸法が大きいことから、対応可能な力センサがないことや相対位置を計測する視覚センサの配置が難しいなどの問題で、高度な制御を実現することも難しい。現状では、クレーンや助力装置を用いて作業されているが、このような作業では重力は補償されるが、慣性力などを考慮する必要がある、熟練した複数の作業者によることが多い。

このような課題の解決策として、専用のシステムが開発されている¹⁾が、筆者らは産業用ロボットを用いた

ハンドガイドロボットによる人—ロボット協働システムを提案している²⁾。このハンドガイドロボットは、作業者が直感的に操作しやすいように、ロボットのエンドエフェクタの位置に操作デバイスを設置し、把持しているワークの位置姿勢を直接指令できるシステムとなっている(図1)。

このシステムでは、作業者が対象ワークの相対位置センシングし、組み立てに必要な位置姿勢を指令する。このことにより、ロボットシステムは単純であるが高度な作業を実現することができる。作業者がロボットを操作する操作性を向上させるために、作業者の操作入力とロボットへの指令値の関係を“操作特性”と定義し、操作特性による操作性の評価を実験により検証した。

2. システムの概要

ハンドガイドロボットは、産業用ロボット KR-60 (KUKA 社製) を用いて構成している。このシステムは自動運転の機能とハンドガイド機能のふたつの機能を持っている。これは、単純な作業は自動運転で動作させ、複雑な組み立て作業をハンドガイド機能により実現させることにより、作業効率の向上を目指している。操作デバイスは、ロボットのエンドエフェクタと同じ座標系上に 3 自由度のジョイスティック (C90JA: 栄通信工業製) を設置し、レバー上のスイッチで並進指令のモードと回転指令のモードを切り替えて操作する(図2)。ジョイスティックのレバーの倒し角に比例した操作量(無次元数)にしたがってロボットへの速度指令値が生成される。操作入力、手先座標系の並進速度、回転角速度と対応させている。

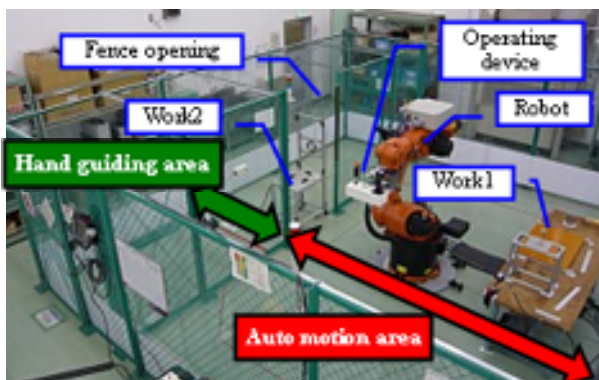


Fig.1 View of Hand-Guiding Robot

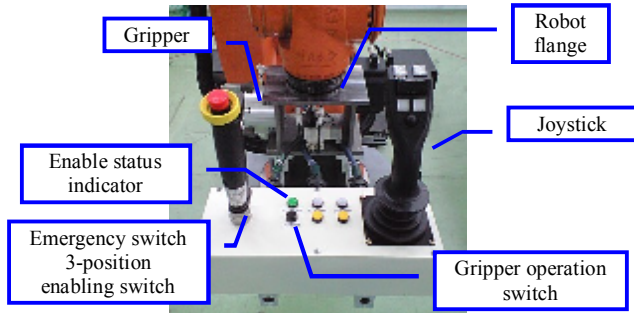


Fig. 1 Operating device

3. 操作特性の設定

3.1 操作特性の定義

入力デバイスの操作量を r_i 、ロボットへの速度指令値を v_d とすると、その関係を示す f_{op} を操作特性と定義する。

$$v_d = f_{op}(r_i) \quad (1)$$

一般的には、操作特性は線形で設定されることが多いが、精密な組み立て作業では、把持ワークを組み立て対象物まで近づける大局的な動作と精密な組み立て時の精密な動作が必要となる。そこで、低速時に速度分解能が高く、高速時に速度分解能が粗くなる非線形な操作特性を設定することが有効と考えられる。

3.2 操作特性の設定

ここでは、システム内での計算の容易性を考慮し、2 次関数と 3 次関数を用いることを検討する。線形の操作特性を f_{op1} 、2 次関数、3 次関数をそれぞれ f_{op2} 、 f_{op3} とすると以下の通りとなり、簡単な演算子で計算できる（図 3）。ここで、 K は指令最大速度で、本実験においては $200[\text{mm/s}]$ とした。

$$f_{op1}(r_i) = K \cdot r_i \quad (2)$$

$$f_{op2}(r_i) = K \cdot \text{sign}(r_i) \cdot r_i^2 \quad (3)$$

$$f_{op3}(r_i) = K \cdot r_i^3 \quad (4)$$

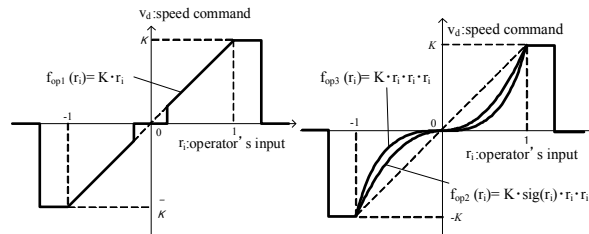


Fig. 3 input-output relation

線形の操作特性と 2 次関数、3 次関数比較すると速度分解能は操作量 r_i を v_d で表した逆関数の微分となることから図 4 のようになる。

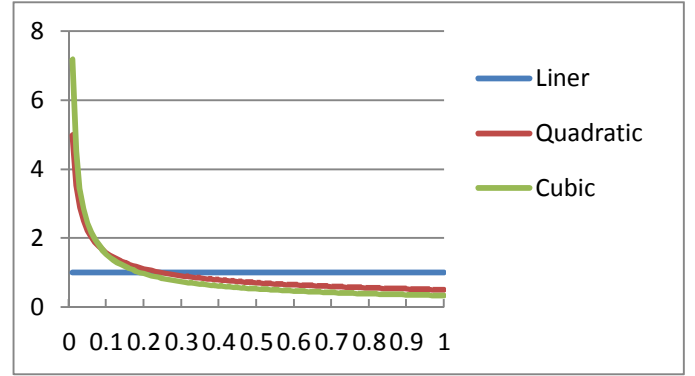


Fig.4 Speed resolution ratio of input-output relation

最高速では 2 次関数、3 次関数は、約 1/2、1/3 の分解能の粗さとなるが、低速域では 10% の速度指令でいずれも約 1.5 倍、1% の領域で 5 倍、約 7 倍の精度となる特徴があることがわかる。

4. 操作性の評価実験

3.1 実験内容

図 5 に示す箱状のワーク ($W400 \times D200 \times H400 \text{mm}$) をクリアランス 1mm の枠にはめ込む作業を対象とした。被験者は、ハンドガイドによる他の実験の経験者 3 名と全く初めての 3 名の合計 6 名で実施した。はめ込み作業は f_{op1} 、 f_{op2} 、 f_{op3} 、 f_{op1} の順で操作特性を設定して 4 回実施した。各試行では、ワークのジョイスティックを操作し始めてから組み付け完了でワークを開放するまでの所要時間と作業中に操作した操作量の合計、ロボットが移動した移動量の合計を積算して集計した。なお、本実験では、操作特性の違いを明確にするため姿勢は初めから合わせておき、並進動作のみで評価した。

2.2 実験結果

操作特性ごとの所要時間の分布を図 5 に、操作量、移動量の分布を図 6、7 に示す。得られた実験結果から、75% 点、中央値、25% 点を算出した。中央値を比べると、操作特性が 2 次関数の時に、最も所要時間が短かった。操作特性が線形の時は、非線形の時と比べ所要時間が長く、ばらつきが大きかった。操作量は線形の時が少なく、2 次関数、3 次関数になるにつれて増加した。これは、精密な操作時の分解能が非線形の場合のほうが精細なことから、同じ速度を指令するにも大きな操作量を入力する必要があったからだと考えられる。ロボット手先の移動量は、操作特性が非線形（2 次関数、3 次関数）の時は、ほぼ同程度で線形に比べ少なかった。

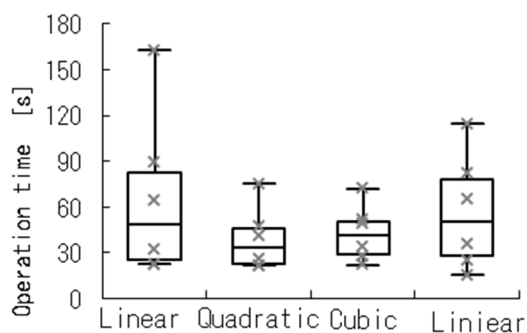


Fig.5 Operation time

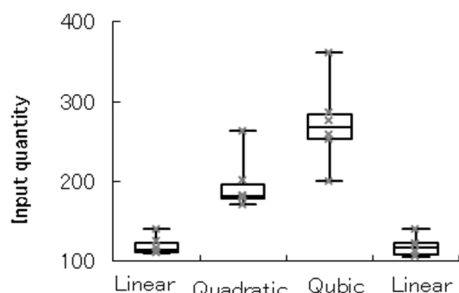


Fig.6 Input Quantity

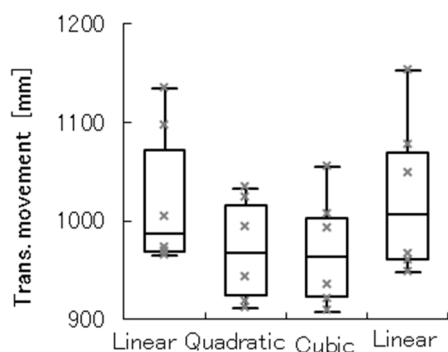


Fig.7 Trans. Movement

2.3 操作特性に関する考察

操作特性が線形のとときに所要時間のばらつきが大きく、ロボットの移動量も多くなる結果は、ワークを設置する際、微調整を何度かやり直す被験者が多かったことを示している。線形の場合、低速でのコントロールが難しいため、やり直しが多くなったと考えられる。

2次関数と3次関数の所要時間には大きな違いが見られなかったが、操作量を比較すると、3次関数の方が多い結果である。これは、3次関数の方が極低速の操作で分解能が高いため、大きな入力操作をしないとロボットの速度が不足すると考えられる。

4回目の試行で線形の操作特性を設定したが、他の2つの特性と比べ、1回目の傾向とほぼ同じことから、慣れの影響はないと判断できる。

3. 結言

本報告では、産業用ロボットのエンドエフェクタ部に操作デバイスを取り付けて、作業者が直接操作することにより組み立て作業などを実施できるハンドガイドロボットにおける操作性の向上のための手法について検討した。操作入力とロボットへの指令速度の間の関係として操作特性を定義した。ハンドガイドを用いた作業では、ワークを引き寄せるなど大きく移動させる動作と最終組付け時の微細な位置決めがあるという特性に適した操作特性が効果的であることが実験により確認できた。

参考文献

- 1) 鴻巣 仁司, 荒木 勇, 山田 陽滋, “自動車組立作業支援装置スキルアシストの実用化”, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.4, pp.508-514, 2004.
- 2) 藤井正和, 塩形大輔, 村上弘記, 曾根原光治, “人間・産業用ロボットの協働のための安全システムの提案”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 予稿集, 2A1-A21, 2008
- 3) 江本周平, 小椋優, 藤井正和, 村上弘記, 曾根原光治, “ハンドガイドロボットの操作性に関する実験”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 予稿集, 1A2-E05, 2009