

SURE: Shizuoka University REpository

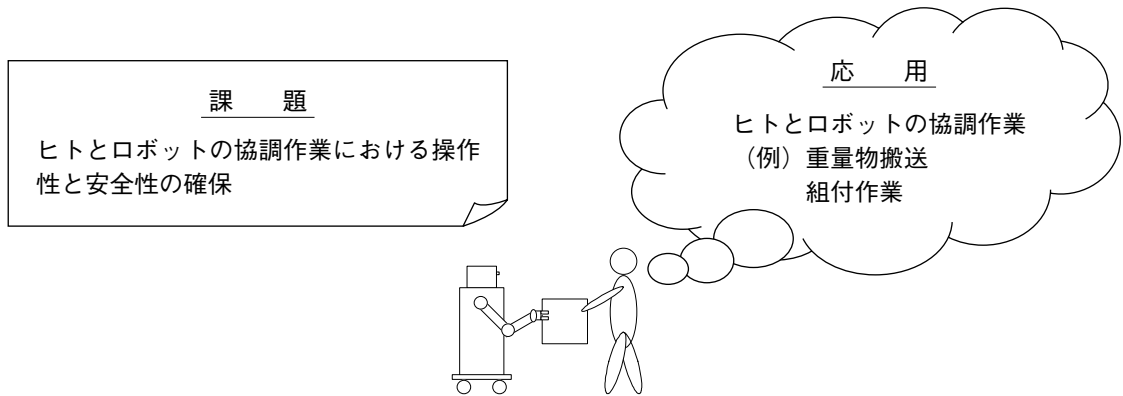
<http://ir.lib.shizuoka.ac.jp/>

Title	人とロボットによる協調作業のためのインピーダンス制御に関する研究
Author(s)	清水, 昌幸
Citation	財団ニュース. 12, p. 26-28
Issue Date	2011-01-10
URL	http://hdl.handle.net/10297/6154
Version	publisher
Rights	

This document is downloaded at: 2017-07-21T20:33:09Z

人とロボットによる協調作業のための インピーダンス制御に関する研究

静岡大学工学部機械工学科
清水 昌幸
tmsimiz@ipc.shizuoka.ac.jp



1. はじめに

近年、日本では、急速な少子高齢化に伴い、家事や介護などの家庭内での労働力の不足が深刻化してきている。また、生産現場では、製品のライフサイクルの短期間化や価格競争の激化などのため、多種多様な製品に柔軟に対応できる生産システムが求められている。

ロボットを導入することによりこれらの要求に応えることが検討されてきているが、それを達成するためには高度に知的な判断や技能が必要とされるため、現在のロボット技術ではその実現は難しい。そのため、人が行う作業をロボットが補助することにより、労働の負担を軽減することが実現され始めている。既に、自動車組立ラインでは、ロボットが作業者と協調して部品の組み付けを行うシステムが実用化されている [1]。

人とロボットの協調作業では、知的判断は人間が行い、ロボットはそれに応じて人間の作業を補助する。例えば、図1に示す重量物協調搬送作業では、搬送物をどこにどのように運ぶかは人間が考える。搬送物の重量はロボットが支えているため、人間は物を運びたい方向に軽い操作力を加えるのみで重量物の搬送を行うことができる。

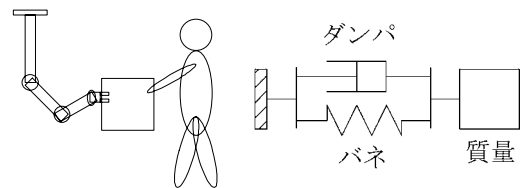


図1 協調搬送作業 図2 インピーダンス特性

人が加えた操作力に応じて物体を動かすために、インピーダンス制御がよく用いられる。インピーダンス制御はロボットの力制御法の一つであり、機械インピーダンス特性を模擬するようにロボットを制御する手法である。機械インピーダンスは、図2に示すように、慣性（質量）、粘性（ダンパ）、剛性（バネ）の三要素を連結したモデルで表現できる。このシステムに外力を加えると、その力の方向に物体が移動するため、物体を自在に操作できる。物体の操作性は、質量やバネ係数などの各要素の特性に依存するため、人間が操作しやすいように各要素の特性を適切に設定する必要がある。

2. 従来のインピーダンス制御の問題点

従来のインピーダンス制御では、操作力に比例して物体の目標位置が決まり、その位置に到達するようにロボットを制御する。したがって、

想定外の過大な操作力が加わった場合、図3に示すように、物体の目標位置がロボットの動作範囲外に飛び出てしまうことがある。すると、ロボットは到達できない位置に到達しようとして特異状態という制御不能状態に陥り、暴走を引き起こすことがある。加えて、動作範囲限界近くでは、ロボットの操作性も低下するため、動作範囲限界への到達は回避しなければならない。

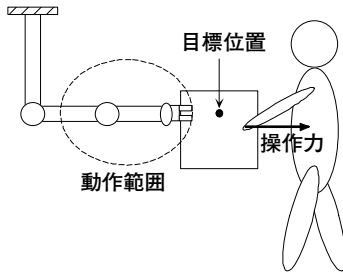


図3 動作限界の問題

従来の線形インピーダンス特性の場合、この問題に対処するためには、剛性（バネ係数）を大きくするしか手はない。ところが、剛性を大きくすると、物体操作に大きな操作力が必要となるため、物体の操作性が著しく低下する。したがって、ロボットの操作性を保証し、かつ動作範囲を制限可能な新しい制御手法が必要となる。

3. 動作範囲を制限可能なインピーダンス特性

前述の動作範囲の問題を解決するために、本研究では、非線形インピーダンス特性を用いる手法を提案する。インピーダンス特性の剛性要素を非線形化することにより、操作性を犠牲にすることなく、ロボットの動作範囲を確実に制限できることを示す。

3.1 非線形インピーダンス特性

従来の線形インピーダンス特性は、慣性、粘性、剛性のすべてが線形特性を有するもので、物体への作用力 f と物体の位置 x が以下の関係式で表されるものである。

$$f = m\ddot{x} + d\dot{x} + kx \quad (1)$$

ここで、 m 、 d 、 k はそれぞれ正の定数である。

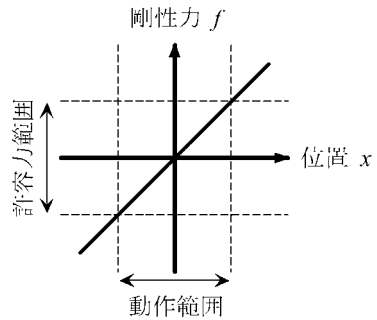


図4 線形剛性力

式 (1) の線形特性では、剛性 k が一定であるため、図4に示すように、許容値以上の力が加わると、動作範囲を逸脱してしまう。そのため、剛性要素のみを以下のように非線形化する。

$$f = m\ddot{x} + d\dot{x} + f_s(x) \quad (2)$$

ここで、 $f_s(x)$ は非線形剛性力を表す。以下では、この非線形剛性力をどのように決めるかを説明する。

3.2 動作範囲制限と操作性を保証する非線形剛性の設計

任意の操作力に対してロボットが動作範囲内に留まるためには、動作範囲境界において無限大の復元力が発生すればよい。また、ロボットの操作性を保証するためには、動作範囲内でユーザが望む目標特性が実現されればよい。この二つの要求を満たす剛性力を実現するために、本研究では、以下で与えられる剛性力を提案する。

$$f_s(x) = \frac{f_d(x)}{w(x)} \quad (3)$$

ここで、 $f_d(x)$ はユーザが望む目標剛性力であり、 $w(x)$ は以下の特性を満たす関数である。

$$w(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq x_l) \\ 1 & (x_l < x < x_u) \\ 0 & (x \geq x_u) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 x_l および x_u は、動作範囲の下限値および上限値である。

図5に示すように、式 (3) のような剛性力と

することによって、動作範囲内ではユーザの指定した目標特性が実現される。加えて、動作範囲境界では復元力が無限大となるため、ロボットが動作範囲内に留まることが保証される。

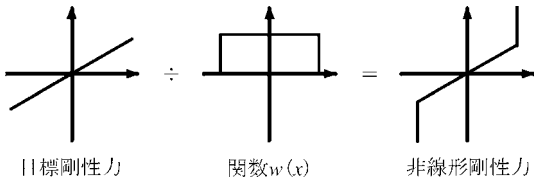


図5 動作範囲を制限する非線形剛性力の概念図

式(4)の関数は、動作範囲境界において不連続であり、滑らかではないため、実際のロボット制御には適さない。そのため、実ロボットに適用するために、式(4)に近い特性を持つ連続かつ滑らかな関数 $w(x)$ を求める。紙面の都合上、詳細は省略するが、多項式を使った $w(x)$ の設計方法を文献[2]に示す。

4. 適用例

ロボットの許容動作範囲が以下で与えられる場合を考える。

$$-x_w \leq x \leq x_w \quad (5)$$

ここで、 x_w は正の定数であり、動作範囲限界を表す。また、ユーザが指定する目標剛性力を以下のように設定する。

$$f_d(x) = kx \quad (6)$$

文献[2]に示す方法を用いて関数 $w(x)$ を設計すると以下が得られる。

$$w(x) = 1 - \frac{x^{p+1}}{x_w^{p+1}} \quad (7)$$

ここで、 p は任意の奇数である。

$p=5, k=1, x_w=1$ として関数 $w(x)$ をグラフに表すと図6のようになる。式(4)に近い特性が得られていることがわかる。また、剛性力をグラフに表したものが図7である。動作範囲内では式(6)の目標特性に近く、動作範囲境界では無限大の復元力となっていることが確認できる。

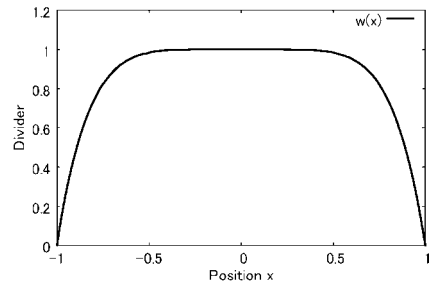


図6 関数 $w(x)$

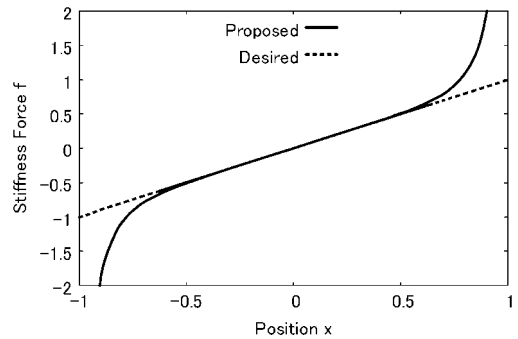


図7 剛性力

5. おわりに

本研究では、人とロボットの協調作業における動作範囲逸脱の問題を取り上げ、非線形インピーダンス特性を用いてその問題を解決する方法を提案した。提案手法により、動作範囲内でのロボットの操作性を犠牲にすることなく、動作範囲を確実に制限できるインピーダンス特性を求めることができた。

今後の課題は、産業用ロボットでは一般的となっている位置制御ベースのロボット制御系への本手法の適用である。

謝辞

本研究は、財団法人浜松科学技術研究振興会 村田基金研究助成によって行われました。謝意をここに表します。

参考文献

- [1] 鴻巣、荒木、山田、“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] 清水、“動作範囲制限のための非線形インピーダンス特性の設計”、ロボティクス・メカトロニクス講演会2010、2P1-C12、2010。