

ロボットによる未知の紐の動的マニピュレーション

著者	林 昂臣, 関 啓明, 疋津 正利
著者別表示	Hayashi Takaomi, Seki Hiroaki, Hikizu Masatoshi
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2016 Spring
号	P01
ページ	855-856
URL	http://doi.org/10.24517/00052942

doi: 10.11522/pscjspe.2016S.0_855



ロボットによる未知の紐の動的マニピュレーション

金沢大学 ○林 昂臣, 関 啓明, 足津 正利

Dynamic Manipulation of Unknown String by Robot Arm

Kanazawa University Takaomi HAYASHI, Hiroaki SEKI, Masatoshi HIKIZU

It is difficult for a robot to manipulate flexible objects because the deformations of their shapes make motion planning difficult. In this paper, we propose a concept of manipulating unknown string dexterously by robot arm. A string is described as the three-dimensional model that is composed a number of masses, springs, dampers, hinge springs, and hinge dampers. After parameters of this model are estimated by the comparison between actual string motion and motion simulation using the model with various parameters, robot motion to manipulate the string for realizing task is planned using the model with estimated parameters.

1. 諸言

近年、ロボットは工場だけでなく、家庭にも進出している。家庭では、布団を敷く、衣服をたたむなど、柔軟物を扱うことが多い。柔軟物は様々な特性を有しており、さらに動きの中で形状が変化してしまうため、操作が困難である。また、ロボットを用いて紐を結ぶなどの柔軟物を静的に操る研究はされているが、動的に操る研究は少ない。そこで本研究では、柔軟物の1つである紐を対象として、動きの予測が困難な未知の紐の動的マニピュレーションを実現するための方法を提案する。

2. 未知の紐のマニピュレーションの構想

まず、コンピュータ上で紐のモデルを表現する。その紐のモデルに対して初期パラメータおよび動作目的を与える。そして、動作目的に合うロボットアームの動きを生成し、実際に紐を動かしてみる。そのときの運動と紐のモデルを用いてシミュレーションした運動を比較し、実際の紐と同じ動きをするような紐のモデルのパラメータを推定する。推定後のパラメータを用いて再び動作生成を行い、実際の紐が動作目的を達成するまで繰り返す。

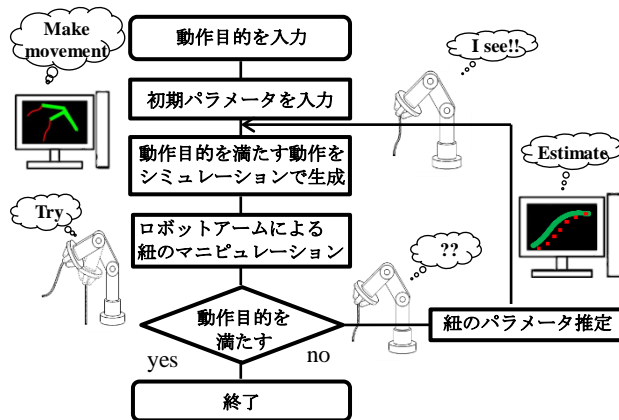


Fig.1 Concept of string manipulation

3. 紐のモデル

紐のモデルは、伸びや曲げの特性を表せるように、質点、バネ、ダンパ、ヒンジバネ、ヒンジダンパで構成されたものを使用する (Fig.2)。ロボットアームで掴まれた部分は、そこに生じる紐の抵抗力を表すためヒンジバネを一つ追加する。外力は、重力と空気

抵抗に相当する粘性抵抗力を考慮する。紐の運動は運動方程式をオイラー法で解いて質点の位置ベクトルを求める。この際、各力ベクトルを質量で割って各パラメータを単位質量化して計算を行う。よって、質量自体は考える必要がなく、未知なパラメータは k_s :バネ定数、 C_s :減衰係数、 k_h :ヒンジバネ定数、 C_h :ヒンジ減衰係数、 C_{c1}, C_{c2} :粘性抵抗係数、 k_{ph} :掴み部のヒンジバネ定数の7つである。また、紐は均一と仮定し、各質点間のパラメータは全て同じ値とした。

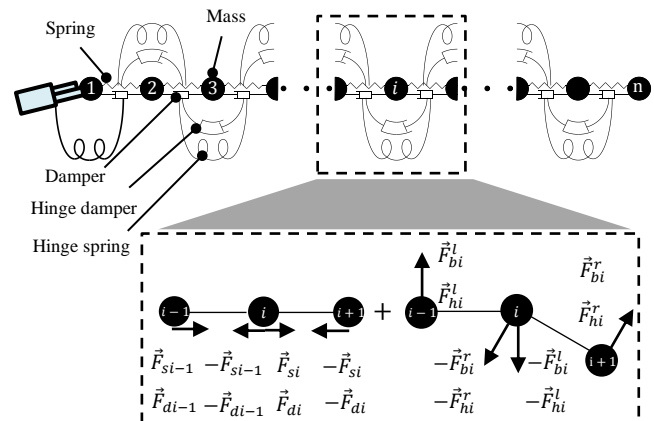


Fig.2 Model of string and definition of force vector

4. ロボットアームの動作生成

紐の動作目的を満たすロボットアーム手先の経路を関節角速度ベースで決定する。関節角の速度曲線を Fig.3 のようにベジエ曲線で表現する。曲線を変形するための制御点の数を6点とする。制御点を与える方法は横軸を時間、縦軸を角速度としてまず動作時間 (点 f) をランダムに選ぶ。そして、点 f を基準に他の点 (点 b ~ e) を時間軸について均等に配値し、それぞれ角速度の値をランダムに選ぶ。これを用いて、アームを動かしたときの紐のモデルの動きを繰り返しシミュレーションして、動作目的を満たした場合、そのときの速度曲線を出力する。

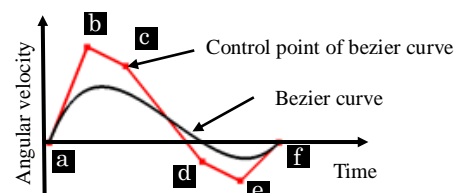


Fig.3 Joint angular velocity made by bezier curve

5. 紐のモデルのパラメータ推定

実際の紐と紐のモデルの動きを比較することで、紐のモデルのパラメータを推定する。カメラを用いて実際の紐の動きの画像を取得し、2値化処理、収縮膨張処理をして紐の動きを検出する。そして、紐のモデルのパラメータをランダムに変化させながら、実際のロボットアームの動きを用いて紐のモデルの動きをシミュレーションして、画像と比較する。パラメータを変化させる方法は、パラメータの最小値、最大値を予め設定し、対数的に100等分してその組合せをランダムに選んだ。比較では、紐のモデルの7つの質点のうち、カメラ画像において検出した紐の領域内に含まれる割合を評価関数とした。紐の領域は、評価をしやすくするため、膨張させている。評価関数が最大の時の紐のモデルのパラメータを採用する。

6. 未知の紐の動的マニピュレーション

6.1 実験装置 紐を動的に操作するためには手先を高速に操作できるロボットアームが必要である。そこで、Fig.4のようなワイヤ駆動ロボットアームを開発した。モータを各関節に配置しないことで軽量化を図り、高速駆動を実現した。機構としては平面3自由度と旋回の計4自由度とした。

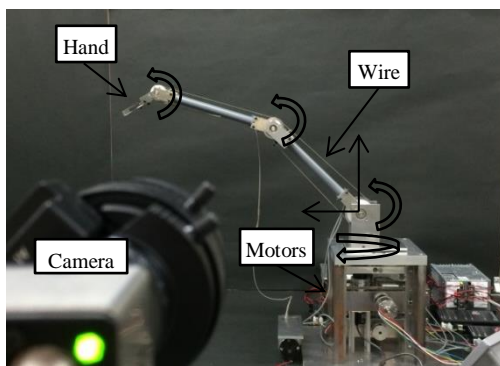


Fig.4 Wire driven robot arm

6.2 実験結果 ロボットアームに長さ30cmの紐の一端を持たせ、振り上げて、水平状態を作ること動作目的に設定した。パラメータを推定する前後におけるカメラ画像と紐の動きのシミュレーションの比較の様子をFig.5に示す。このとき設定したパラメータ範囲と初期パラメータ、また推定後のパラメータ、評価結果はTable.1に示す通りである。今回は、簡単のためバネ定数と減衰定数の値は固定した。評価関数は、0.04秒おきに撮影した20枚の画像と、対応する紐の動きのシミュレーションをそれぞれ比較し、その平均をとった。

Table.1 Parameter range and estimation result

	Range	Initial	Estimated
k_s [N/m/kg]	1.0×10^4	1.0×10^4	1.0×10^4
C_s [Ns/m/kg]	0.10	0.10	0.10
k_h [Nm/rad/kg]	$1.0 \times 10^{-4} \sim 0.1$	0.01	8.4×10^{-4}
C_h [Nms/rad/kg]	$1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0$	0.1	2.7×10^{-3}
C_{c1} [Ns/m/kg]	$1.0 \times 10^{-3} \sim 0.5$	0.01	5.8×10^{-3}
C_{c2} [Ns/m/kg]	$1.0 \times 10^{-3} \sim 0.5$	0.01	0.11
k_{ph} [Nm/rad/kg]	$1.0 \times 10^{-4} \sim 1.0$	0.05	0.20
Evaluation function[%]		55.7	79.3

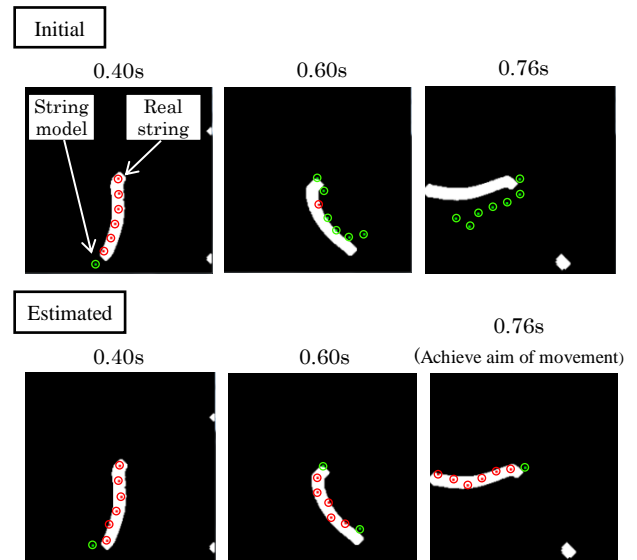


Fig.5 Simulation result using initial and estimated parameter

Fig.5から、実際の紐と同じ動きをするような紐のモデルのパラメータを推定することができていることがわかる。常に一致しているはずの紐の掴み部分の質点が領域外になっている場合があるが、ロボットアームの手先位置の計測誤差が原因である。

続いて、推定により得られたパラメータを用いて動作生成、ロボットアームによる紐のマニピュレーションを行った(Fig.6)。その結果、ほぼシミュレーション通りに紐を操ることができ、動作目的を達成できていることがわかる。このときの紐の動きのシミュレーションと実際の紐の動きを比較して算出した評価関数は73.7%だった。初期パラメータを用いた紐のマニピュレーションでは55.7%だったことから、パラメータ推定による効果が確認できる。

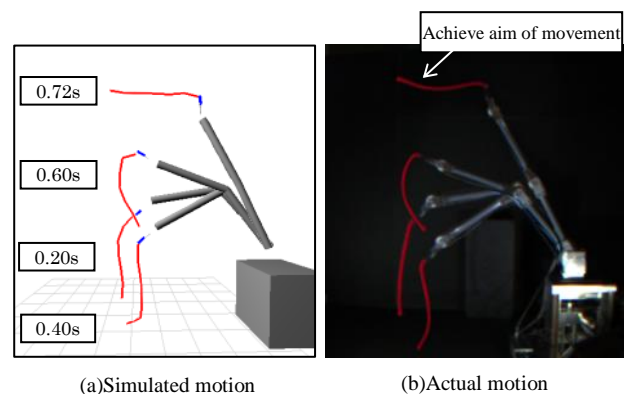


Fig.6 Comparison of simulated and actual motion after estimation

7. 結言

未知の紐の動的マニピュレーションを実現するために、紐のモデル、動作生成、パラメータ推定を提案した。シミュレーションとカメラで捉えた紐の動きをもとに、紐のモデルのパラメータを推定することができた。そして、推定したパラメータを用いることで、シミュレーションに近い紐の操りができることを示した。今後は、このシステムを性質の異なる紐や色々な動作目的のマニピュレーションに応用していく。