

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560290

研究課題名(和文)大規模ケーブルロボットにおける懸垂系動力学計算と高精度位置姿勢制御

研究課題名(英文)Dynamics Calculation and Precise Control of a Suspended Object for Large Scale Cable Robot

研究代表者

山本 元司(Yamamoto, Motoji)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90202390

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：大規模ケーブルロボットは、大空間での重量物の搬送や懸垂物の位置決めが、比較的簡単な機構で実現できることから、近年、競技場でのアクティブカメラや大型天文台の懸垂機構として利用されている。しかし大規模ケーブルロボットでは、ワイヤ自重による撓(たわ)みと振動により懸垂物の正確な位置姿勢制御が困難となる。そこで本研究ではこれまでのケーブルロボットでは検討されていなかった、ケーブルの撓みや振動を表現できる懸垂系の動力学計算手法を検討し、これを制御装置に組み込むことで大規模ケーブルロボットにおける高い精度の位置姿勢制御が実現できることを示した。

研究成果の概要(英文)：Large scale cable robot is used as a simple positioning mechanism such as an active camera system in a stadium or a large telescope structure, because of its simple and light weight mechanism. However, the large scale cable robot has disadvantage of low rigidity which leads to cable's sag and cable's vibration. Those characteristics make difficult to realize precise positioning control of the suspended object for the cable robot. Therefore, this study firstly proposes a dynamical model which represents cable's sag and cable's vibration. Then the dynamical model is used as a compensator for a feedback controller of the large scale cable robot. To realize the feedback control system, measurement of the suspended object is also needed. Thus, the study also proposes the measurement and estimation method of the suspended object. The total control method shows an ability of precise control of the suspended object for the large scale cable robot.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 知能機械学・機械システム

キーワード：ケーブルロボット ワイヤ弛み 懸垂物振動 位置姿勢制御

1. 研究開始当初の背景

大規模ケーブルロボットは大規模空間における軽量かつ簡便な位置決め装置として近年、スタジアム内のアクティブカメラなどに利用されるようになってきている。しかしこの大規模ケーブルロボットでは、各ケーブルはワイヤ自重により撓(たわ)み、これにより懸垂物の正確な位置姿勢制御が困難となる。また、撓んだケーブルの運動は振動を生じることになり、制御はさらに難しい問題となる。このことから広範囲の応用がすすんでいなかった。

2. 研究の目的

本研究ではこれまでのケーブルロボットでは検討されていなかった、ケーブルの撓みや振動を表現できる懸垂系の動力学計算手法を検討し、これを制御装置に組み込むことで大規模ケーブルロボットにおける高い精度の位置姿勢制御を実現することを目的とした。

3. 研究の方法

ケーブルロボットの高精度制御のためには、ケーブルを含む懸垂系の動力学モデルを確立したうえで、これを制御に利用することが重要である。しかし、有限要素モデルなど従来の柔軟ケーブルのモデル化手法は、制御で用いることを考えると計算コストが非常に大きい。そこでまず、複数ケーブルと懸垂物の動力学計算を高速におこなう新たな手法を開発することとした。

このケーブルの撓みを考慮したケーブルロボット動力学計算法を用い、与えられた懸垂物軌道から逆にケーブル長を計算し、これを目標軌道として制御すれば、懸垂物高精度制御が実現できる。しかし、実際にはモデル化誤差や外乱などにより、このようなオープンループの手法では正確には制御できないと考えられる。高精度制御のためには懸垂物の位置姿勢を実際に計測し、その状態量をフィードバックする仕組みを導入することが望ましい。

そこで、懸垂物位置姿勢を推定する方法を検討した。画像による位置測定は計測に時間

がかかるため、制御での利用は現実的ではない。ここではフォーク状センサによるケーブル振れ角検出機構を直交して2組用い、プリー根元での2次元ワイヤ振れ角を測定し、ケーブル形状計算と組み合わせて懸垂物の状態推定をおこなった。

この推定が妥当か確認するためには、実際に測定した結果と比較検証する必要がある。しかし、比較的広い作業域での3次元の正確な位置姿勢測定は容易ではない。ここでは上述の懸垂物の状態推定の結果を用いて動力学計算を行い、懸垂物とワイヤの接続点での拘束力推定をおこなうこととした。

4. 研究成果

撓んだ状態でのケーブルの運動はほとんどの場合、静力学を基礎としたカテナリー曲線の幾何形状であることを利用している。ケーブル静力学モデル(カテナリー曲線)と懸垂物の動力学の両方を考え、懸垂物の接続点での拘束力式と連立してこれらの運動方程式を解き、結果的にケーブル撓みと懸垂系の揺れを表現できる計算手法を提案した。

このとき、新しい計算手法によるケーブル運動解の精度を確認する必要がある。このためにはすでに開発している実際のケーブル運動を良く表現できる単純化した有限要素モデルを確認に用い、また実験によりケーブルの撓みおよびケーブルと懸垂物の揺れを実際に測定した。その結果提案の計算手法は、有限要素モデルによる結果とほぼ同じ結果となり、また、実験においても同様な結果が得られた。(図1、図2参照)

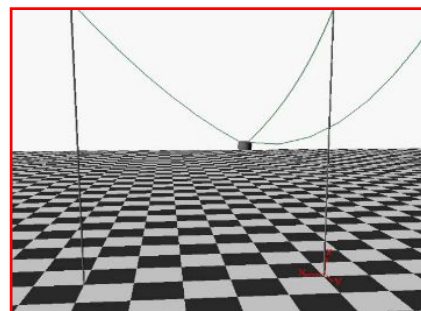


図1:カテナリー曲線と懸垂物動力学による簡易力学モデルによる3本懸垂型ケーブルロボットの動作シミュレーション

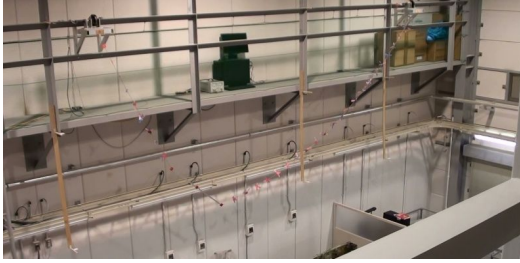


図2：カテナリ 曲線と懸垂物動力学による簡易力学モデルの妥当性を検証するための2本ワイヤにケーブルロボット(ケーブル引き出し点間距離 = 5.3 m)

つぎに、懸垂物位置姿勢を推定する方法を検討した。画像による測定は計測に時間がかかるため、制御での利用は現実的ではない。ここではフォーク状センサによるケーブル振れ角検出機構を直交して2組用い、プーリー根元での2次元ワイヤ振れ角を測定し、ケーブル形状計算と組み合わせて懸垂物の状態推定をおこなった。

この推定が妥当か確認するためには、実際に測定した結果と比較検証する必要がある。しかし、比較的広い作業域での3次元の正確な位置姿勢測定は容易ではない。ここでは上述の懸垂物の状態推定の結果を用いて動力学計算を行い、懸垂物とワイヤの接続点での拘束力推定をおこなう。計算結果が実際のケーブルロボットにおける拘束力と一致しているか、荷重測定機と動ひずみ計により拘束力、ワイヤ張力を計測することでその妥当性を検証した。

その結果、懸垂物位置推定の精度はおよそ8%以内程度であり、フィードバック制御に動力学補償として用いるには十分な精度であることがわかった。(図3参照)

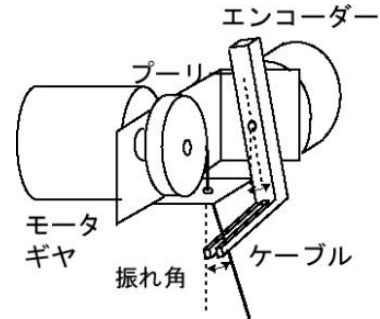


図3：懸垂物状態推定に用いたケーブル振れ角測定機構

さらに、位置制御可能な手先効果器部分にカメラを装着し、自在にかつ高精度に位置姿勢制御可能か調べた。例えばこのような制御システムは、大規模空間で、ビジュアルフィードバックにより高速移動する対象物(人など)を常に視界の中心として追尾することが可能となる。ここでは製作した実験装置の懸垂物部分にモータにより手先自由度を付加した機構を追加し、そこにカメラを装着しアクティブカメラとした。このアクティブカメラが提案しているケーブルロボットおよびビジュアルフィードバックにより目標位置を追尾制御可能か調べた。その結果、目標物が人の通常歩行速度程度で移動する場合に、目標物を十分な精度で追尾可能であることがわかった。(図4参照)

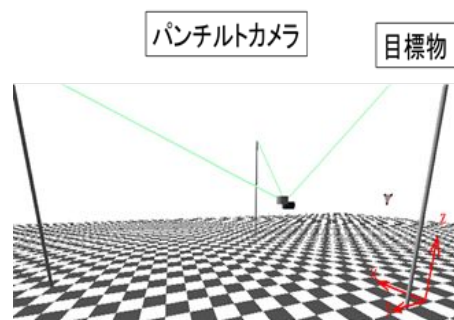


図4：パンチルトカメラとケーブルロボットによる移動目標物の追尾制御

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

Realtime quadratic sliding mode filter for removing noise, Shanhai Jin, Ryo Kikuuwe and Motoji Yamamoto, Advanced Robotics, vol.26, no.8-9, pp.877-896, 2012.

Parameter selection guidelines for a parabolic sliding mode filter based on frequency and time domain characteristics, Shanhai Jin, Ryo Kikuuwe and Motoji Yamamoto, Journal of Control Science and Engineering, Vol.2012, article ID 923679, 13 pages, 2012.

A Differential Algebraic Method to Approximate Nonsmooth Mechanical Systems by Ordinary Differential Equations, Xiaogang Xiong, Ryo Kikuuwe, Motoji Yamamoto, Journal of Applied Mathematics, vol. 2013, Article ID 320276, 13 pages, 2013.

三次元高精度姿勢推定のための慣性センサの線形・非線形特性分離に基づいた相補フィルタ, 杉原知道, 舩屋賢, 山本元司, 日本ロボット学会誌 Vol.31, No.3, pp.37-48, 2013.

〔学会発表〕(計6件)

カテナリー曲線に基づく大規模パラレルワイヤ懸垂機構の運動表現, 武田弘太郎, 山本元司, 日本機械学会九州支部第64期総会講演会, 2011年, 福岡市.

カテナリー曲線と懸垂物の動力学に基づく大規模パラレルワイヤ懸垂機構の運動表現, 武田弘太郎, 山本元司, 2011年日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門学術講演会 (ROBOMECH'11), 岡山市.

On the Percussion Center of Flexible Links, Mikhail Svinin, Makoto Kaneko, Motoji Yamamoto, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Shanghai, China.

High-Backdrivable Parallel-Link Manipulator with Continuously Variable Transmission, Kenji Tahara,

Shingo Iwasa, Shu Naba and Motoji Yamamoto, 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot and Systems, San Francisco, USA.

ワイヤの弛みと懸垂物の揺れを考慮した2本ペア型パラレルワイヤ懸垂型ロボットの動力学計算と動作実験, 高橋宏輔, 山本元司, 2013年日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門学術講演会 (ROBOMECH'13), つくば市.

むだ時間を含む視覚フィードバックと筋内力フィードフォワードの組み合わせによる位置制御, 松谷祐希, 田原健二, 木野仁, 越智裕章, 山本元司, 第31回日本ロボット学会学術講演会 RSJ2013, 東京都.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ

<http://sc.mech.kyushu-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本元司 (YAMAMOTO Motoji)

九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 90202390