

力学的動揺を安定化させるトルクキャンセリングシステムの提案

Proposal of Torque Cancelling System for Stabilizing Mechanical Sway

○学 松井 康将 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Yasumasa MATSUI, Graduate School, University of Tsukuba
Daigoro ISOBE, University of Tsukuba

We propose a new concept of a torque cancelling system which stabilizes mechanical sway in architectures. The torque cancelling system cancels the reaction moment generated by motion of an object. In the first step, we need to know the reaction moment but this is very difficult to achieve. However, it can be easily achieved using the parallel solution scheme developed based upon a finite element approach. Once knowing the reaction moment, it can be cancelled by adding an anti-torque. An example of the torque cancelling is demonstrated using a simple twin-rotor system. Also, a numerical example of triaxial torque cancelling is shown to verify the use of the scheme.

Key Words: Torque cancelling system, Mechanical sway, Parallel solution scheme

1. 緒言

ロボットが腕や脚、あるいは重量物を高速に振り回したりする場合に、機構全体に動揺が生じる場合が多い。その原因は、入力トルクの反作用として回転軸回りおよび重心回りにモーメントが発生するためである。その対策については、ロボットの分野だけでなく様々な分野で研究されている[1]。例えば、動揺を機械的に抑制する方法として、動吸振器[2]の配置や、反作用として発生するモーメントに対し、逆向きにトルクを加えてキャンセリングする方法がある。しかし、前者はセンサに頼りあくまでも副次的な方法であり、後者は動作対象のダイナミクスを正確に把握し、正確なトルクを供給しないとかえって逆効果となる恐れのある方法である。他方、磯部らは柔軟リンクや劣駆動リンク、閉リンクなど様々なリンク系の逆動力学を正確に算出可能な並列的逆動力学計算法[3] (以後、並列的解法と記す)を開発した。ダイナミクスを正確に導出することが困難な系に対しても、追従性の良い安定したフィードフォワード制御を実現している[4]。さらに、本解法は有限要素法のアルゴリズムに基づいているために、モデル内の任意の箇所(節点)に発生するモーメントを正確に算出できる。すなわち、任意の箇所に加えるべき適切な反転トルクを算出することが可能となる。この特長を利用すると、例えば複雑な動作に対するトルク供給、およびそれに伴う動揺を抑制するための反転トルクの供給が単一のシステムで実現され、ロボット機構の高速動作における安定性の向上に大きく貢献できるものと考えられる。

本稿では、動作対象の軌道から、並列的解法により逆動力学および系内に発生するモーメントを計算する過程を示す。そして、その発生モーメントをキャンセリングするトルクキャンセリングシステム(以後、TCSと記す)の概念について説明し、数値例を示す。

2. 並列的逆動力学計算法

並列的解法では、入力データとして与えられる軌道より陽に算出される節点力を、力学的な関係に基づいてトルクに換算する。節点力からトルクに換算する過程をマトリクス形式で表したものが次式である。

$$\{\tau^n\} = [L^n][T^n]\{P^n\} \quad (1)$$

ここで、 $\{\tau^n\}$ は求めるべき関節トルクベクトル、 $\{P^n\}$ は節点力に関するベクトルである。また、 $[T^n]$ は全体座標系を各リンクの要素座標系に変換する座標変換マトリクスである。 $[L^n]$ はリンク長や機構形態などの情報を含む部材長マトリクスである。なお、変数右上の添字 n は対象とする機構の総リンク数を示す。

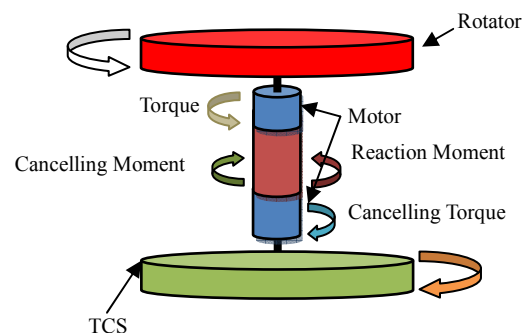


Fig. 1 General concept of uniaxial TCS

3. トルクキャンセリングシステムの概要

本節では、TCSの動作概念について説明する。これは、例えば物体を振り回した時に発生するモーメントを、TCSによって逆回りのモーメントを発生させることで打ち消し、動揺を抑制するというものである。

まずは簡単のために1軸回りのみを考える。1軸回りについてのTCSの概念図を図1に示す。図上の物体を回転体、図下の物体をTCS、上下の物体をつないでいるものを軸とすると、回転体を動作させる際に軸回りにモーメントが発生する。そのため、軸は回転体とは反対回りに回転してしまう。しかし、下のTCSに逆回転のモーメントを入力すると、回転体によって発生するものとは逆回りのモーメントが発生し、お互いが打ち消し合い軸は回転しなくなる。複雑なトルク制御は行っていないが、1軸回りのTCSの具体的な例としてはヘリコプタの同軸回転式ツイーンロータシステム[5]がある。一般的なシ

シングルロータシステムの場合、主軸の回転により発生したトルクが機体自体を回転させてしまうため、後部のプロペラで調整する必要があるが、ツインロータシステムでは、同軸上で主軸の回転と反対回りにもう一つのロータを回転させることで、機体を回転させるモーメントを打消している。

図2のように偏心性のある物体を回転させる場合には、回転軸回りにモーメントが発生するだけでなく、他軸回りにもモーメントが発生する。つまり系全体の動揺を抑制するためには、3軸回りのモーメントを打消することが可能なトルクキャンセリングシステムが必要となる。

4. 数値例

解析モデルを図3に示す。能動関節を J_1 とし、トルクキャンセリングシステムを TCS の位置に配置する。このモデルの L_2 を 90° 回転させるような運動をさせた場合に、TCS に与えるべきトルクについて考える。それにはまず、TCS を系の一部と考えて L_2 を 90° 回転させる運動に必要なトルクを求める。解析では、時間増分 $\Delta t=0.01[s]$ 、ステップ数を 50 とし、自重を考慮した。図4には、 L_2 の回転によって TCS の位置に発生するモーメントを示す。一方、図5は、この発生モーメントに対し、TCS の位置を保持するために必要なトルクである。ただし、 $\tau_{ix}, \tau_{iy}, \tau_{iz}$ は、 i 番目の節点の要素座標系 x, y, z 軸回りのトルクを示す。すなわち、逆にこのトルク（モーメント）を別の回転体（TCS）によってこの位置に発生させれば、動作物体の回転に伴う発生モーメントを打ち消すことが可能となる。そのためには、図5を正負反転させたもの、つまり結果的には TCS の位置に発生するモーメントを TCS に入力すれば良いということが分かる。図6にそのトルク曲線を示すが、これは図5のトルク曲線を正負反転させたものとなっており、図4の発生モーメントと一致していることに注意されたい。

5. 結言

本稿では、物体の回転によって系内に発生するモーメントを、並列的解法を用いて求めることを示した。その発生モーメントと同値のトルク曲線を TCS に入力することにより、機構に発生するモーメントが打ち消されることが予想される。講演会では、その簡単な実験例を示す予定である。また今後は、3軸回りに発生するモーメントを打ち消す TCS を開発し、ロボット機構に搭載して実験を行うことを予定している。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、(独)日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究C(課題番号: 19560250)の助成を受けた。ここに謝意を表す。

文献

- [1]長崎 浩: 運動協調性と相互作用トルク, 理学療法科学, Vol. 21, No. 1, pp. 75-79, 2006.
- [2]潘 公宇, 安田 正志: 多重動吸振器のロバスト最適設計方法, 日本機械学会論文集. C 編, Vol. 71, No. 712, pp. 96-102, 2005.
- [3]磯部大吾郎: 有限要素法を用いたリンク機構の逆動力学計

算, 日本ロボット学会誌, Vol. 20, No. 6, pp. 647-653, 2002.

[4]D.Isobe and K.Yamanaka: Development of a Unified Feed-Forward Control System for Robotic Mechanisms using Finite Element Approach, CD-ROM Proceedings of APCOM'07-EPMEESC XI, 2007, Kyoto, Japan.

[5]藤田 真宜;島田 明: カセンサを用いた電動ヘリコプタの離着陸制御, 電気学会論文誌. D, 産業応用部門誌, Vol. 127, No. 2, pp. 112-117, 2007

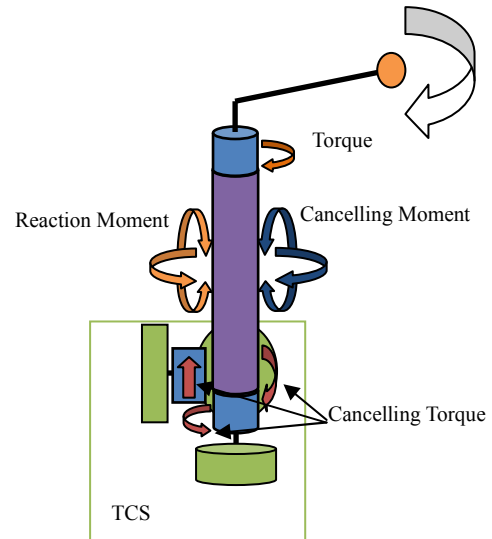


Fig. 2 General concept of triaxial TCS

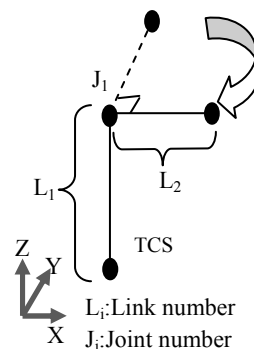


Fig.3 Analytical model

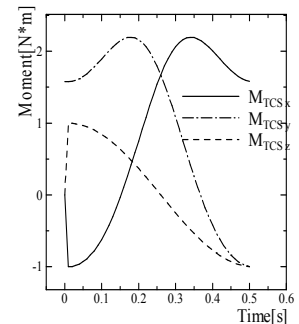


Fig.4 Generated moment at TCS

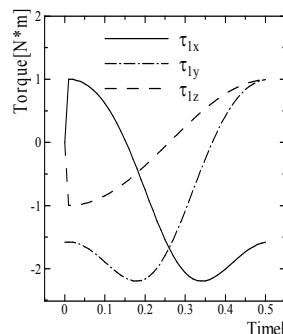


Fig.5 Torque required for TCS to keep in position

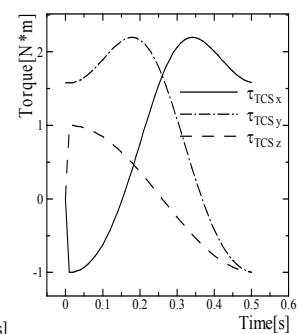


Fig. 6 Input torque for TCS