

軸受によるトルクセンシングユニットの他軸干渉低減

Reduction of other-axis interference in torque sensing unit by a bearing

学 加藤 達彦 (大阪大) 学 石川 省吾 (大阪大)
正 杉原 知道 (大阪大)

Tatsuhiko KATO, Osaka University, tatsuhiko.kato@ams.eng.osaka-u.ac.jp
Shogo ISHIKAWA, Osaka university, shogo.ishikawa@ams.eng.osaka-u.ac.jp
Tomomichi SUGIHARA, Osaka University, zhidao@ieee.org

This study aims at improving the measurement accuracy of a torque sensor developed by the authors. It measures torsional deformation of a bar without contact by a photo-interrupter. A known problem is an other-axis interference, in which the bending deformation is wrongly accounted for as the torque about the axis. A simple but effective idea is to put a bearing in the sensor unit to support the torsion bar against the bending load. The efficacy of the idea was experimentally evaluated.

Key Words: Torque sensor, Backdrivability, Other-axis interference, Motor control

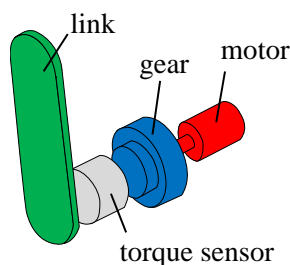


Fig.1 Constitution of the supposed joint driving unit

1 はじめに

工場のような既知環境の中ではなく、介護の現場や災害現場といった未知環境で活動できるロボットの需要が高まってきている。このようなロボットには、タスクを達成する能力に加えて、未知物体と安全に接触、相互作用し自他共に危害を及ぼさない安全性が求められ、作業遂行のための位置決め精度を確保する剛性と、作業対象物と外界との接触時の柔らかい応答を実現する柔軟性を両立しなければならない。そのためには、出力側からモータまで力を伝達できるバックドライバビリティが必須である。

Ishikawa ら [2] は、制御性が良く重量出力比の観点から有利な電磁モータと、高減速比減速器の組み合わせにおいて減速器の内部摩擦をセンサによってオンライン推定し補償する技術を開発した。内部摩擦の推定は、入力したモータ端子間電圧と外部から出力軸に印加された負荷トルクとのバランスによって期待されるモータの運動と、実際の運動との差から行える。出力トルクを直接高精度に制御するのではないため、トルクセンサの要求精度を低減できる。西尾ら [1] は、この方法に用いるための安価なトルクセンサを、単純なトーションバー形状の起歪体と比接触式のフォトインタラプタを用いて開発した。製作されたトルクセンサは線形性が高く、低ヒステリシスであったが、回転軸まわり以外の力、トルクが加えられたときに、それを回転軸まわりのトルクとして誤検出してしまふ、いわゆる多軸干渉の問題点があった。

本研究では、他軸干渉を低減したトルクセンシングユニットを開発する。西尾らのトーションバーを用いた起歪体構造を基本とし、曲げ方向荷重をベアリングによって支持することで剛性を高める。その際シムリングを用いてベアリングに与圧を与え、トーションバーが曲げ方向に変形しないようベアリングのバックラッシュを低下させる。4方向の曲げモーメント荷重に対して評価を

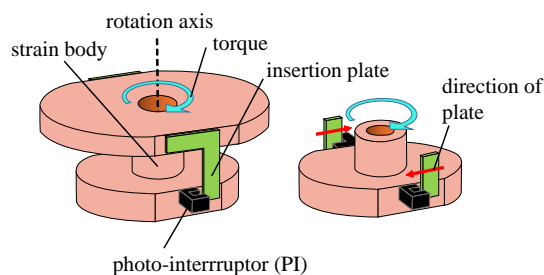


Fig.2 Inner parts of torque sensor and horizontal cross section plan

行ったところ、荷重の印加方向毎にばらつきはあったものの他軸干渉を低減できる効果を確認した。

2 他軸干渉を低減するトルクセンシングユニット

2.1 トルクセンシングユニット概要

図 1 に本研究で想定するロボットの関節モータサーボ制御ユニットの模式図を示す。無限回転する標準的な電磁モータと、減速比 100 倍程度の機械式減速器を用いる。トルクセンサは、減速機出力軸とロボット構造体(リンク)の間に設置される。商用の高精度で高価なものではなく、光学センサを用いた安価なものを製作し利用する。図 2 にトルクセンサ内部の模式図及びトルク計測原理を示す。薄肉円筒の起歪体と、フォトインタラプタ、遮蔽板により構成される。起歪体は、想定される外トルクに対し変形が弾性域に収まるように形状を決定している。フォトインタラプタは発光部と受光部から成り、受光量に応じて出力電流を変化させる。外トルクが加えられ円筒形の起歪体がねじれると、フォトインタラプタの発光部と受光部の間に挿入された遮蔽板も共に変位する。この遮蔽量に応じて外トルクを非接触計測することができる。接触式歪みゲージと異なり、センサ素子の付設と比較が容易でもある。また、減速機の出力トルクを高精度に制御するのではなく、あくまでも減速機内部摩擦の補償に目的を特化しているため、要求精度はそれほど高くなく、較正条件が緩い。このため安価に実現できる。具体的には市販の接触式トルクセンサが数十～数百万円程度であるのに対し、本センサは数万円で製作可能である。センシングユニット内部には、図 3 のようにフォトインタラプタを 3 個配置した。これらのうち 2 個を用いて、出力を平均

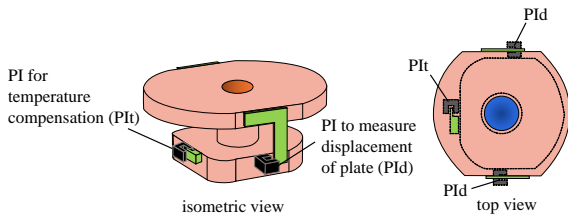


Fig.3 Arrangement of photo-interrupters

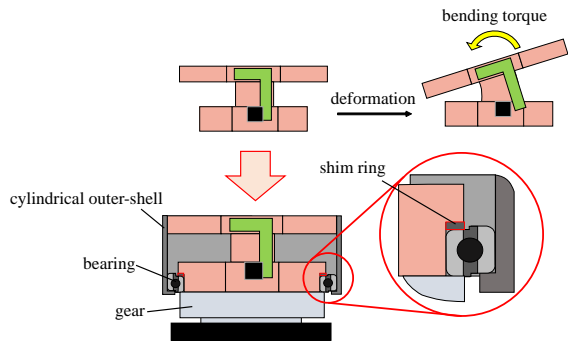


Fig.4 Suppression mechanism against bending deformation

化し精度を向上する．残りの1個は，起歪体の変形の影響を受けない固定遮蔽板を挿入して用いる．これの出力を差し引くことで温度ドリフトを補償する．

2.2 ベアリング挿入による起歪体曲げの低減

先行開発されたトルクセンサは，トルクを計測したい方向と違う方向に外力が印加された際にも，本来の方向にトルクが印加されていると誤計測してしまう，すなわち他軸の干渉を受ける問題を持っていた．この原因は，トルクセンサ内部の円筒部がねじり方向だけでなく曲げ方向に変形した際にも遮蔽板が変位し，フォトインタラプタの受光量に変化を及ぼしてしまうためである．そこで図4に示すように，円筒部の曲げ方向の変形を低減するために外輪およびベアリングを付加した新たなトルクセンサを製作した．ベアリングの支持により曲げ方向の剛性を高めることで，曲げ方向の遮蔽板の変位が抑制され，他軸干渉が低減されると期待できる．ベアリングを挿入する際，ベアリングの与圧調整を行うためにシムリングを同時に設置している．

3 実験

図5に示すようにフォースゲージ(イマダ社製 ZP-200N)を用いて0~180Nの荷重を加え，その際のセンサ出力を計測した．2.1節で説明した通り，センシングユニット内部には3個のフォトインタラプタが配置されており，曲げ方向荷重の力点の位置によって出力特性が異なる．これについて調べるために，1~4の4ヶ所それぞれについて，荷重印加したときのセンサ出力を計測した結果をFig.6に示す．1~4のいずれの点で加えた荷重に対してもベアリングを挿入したことによって他軸干渉が低減された．実験結果において，全ての方向の中で最大となる0.97N程度の検出がされている．これは，荷重180Nが本来のトルク方向に負荷された場合の6.7%に相当する．西尾ら[1]が製作したトルクセンシングユニットでは，曲げ方向荷重に対し，最大で荷重が本来のトルク方向に負荷された場合の28%にあたる干渉トルクが計測されていた．したがって先行開発されたトルクセンサよりも他軸干渉は低減されている．

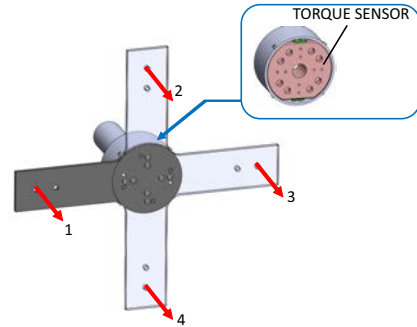


Fig.5 Loading position in the experiment

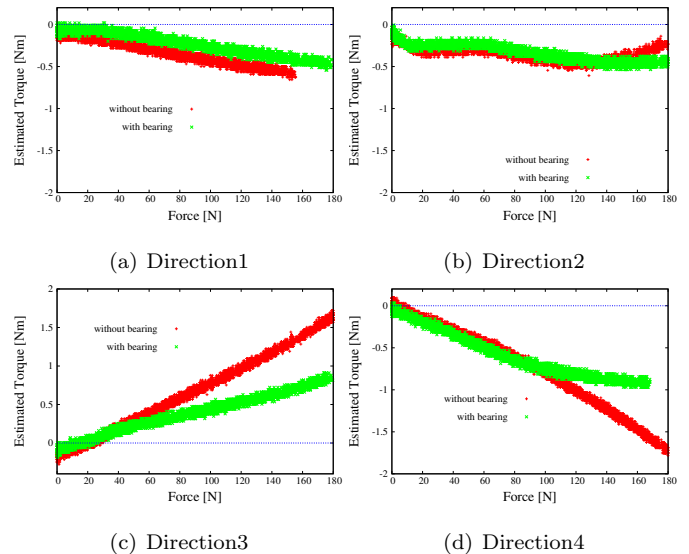


Fig.6 多軸干渉実験結果

方向3，方向4に対して方向1，方向2にはあまり多軸干渉低減の効果は現れていない．トルクセンサは時計回りにトルクを印加すると正の値を出力し，反時計回りにトルクを印加すると負の値を出力する．方向1，方向2，方向4は負の値を出力しており，方向3のみ正の値を出力している．変位計測用のフォトインタラプタの配置は対称であることから，荷重を印加する点と干渉の影響が出るトルク方向との相関を得ることは難しい．対策としては，ベアリングのバックラッシュが小さなものを使うことが挙げられる．

4 おわりに

他軸干渉を低減したトルクセンサを設計した．荷重の方向によって多軸干渉の低減量に差があることが分かった．この荷重方向によって他軸干渉の出力が変化すること，及びさらなる低減量の向上にあたってベアリングの再選定を行う．

謝辞 本研究は，公益財団法人NSKメカトロニクス技術高度化財団メカトロニクス技術高度化「研究助成」および公益財団法人倉田記念日立科学技術財団平成25年度(第46回)倉田奨励金の支援を受けた

参考文献

- [1] 西尾政紀, 石川省吾, 杉原知道, “減速機内部摩擦補償のための光学センサを用いた安価なトルクセンサ”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 2A1-B08, 2015.
- [2] S.Ishikawa, M.Nishio, T. Sugihara, “Low-cost Backdrivable Motor control Based on Feed-forward/Feed-back Friction Compensation”, in Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.5026-5031, 2015.