

並列的解法を用いた移動ロボットのフィードフォワード制御

Feed-Forward Control of Mobile Robot Using Parallel Solution Scheme

○学 早川 純矢 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Junya HAYAKAWA, Graduate School, University of Tsukuba

Daigoro ISOBE, University of Tsukuba, isobe@kz.tsukuba.ac.jp

The purpose of this study is to stably control a mobile robot in high speed motion. A mobile robot in high speed motion needs consideration of nonlinear components such as centrifugal force and Coriolis force. Feed-forward control is known to be effective against these components. In this paper, a simple mobile robot is developed to carry out the high speed motion experiments, and the parallel solution scheme is applied to calculate the required torque for the feed-forward control of the robot. We aim to confirm the practicability of the parallel solution scheme against mobile robots.

Key Words: Mobile robot, Parallel solution scheme, Feed-forward control

1. 緒言

近年様々な分野でロボットの研究・開発が進んでいる。中でも、歩行ロボットや自由度が多いマニピュレータに関する研究は、加速的に進んでいる。しかし、現在ではまだロボットが移動する際、走るというような高速動作に対する制御は極めて困難であると認知されている。その理由として、ロボットが高速動作をする際には、遠心力やコリオリ力などの非線形力項を初めとしたダイナミクスの影響が無視できなくなるためである。安定な制御を行うためには、これらの項を補償するために逆動力学計算を行い、算出されたトルクをフィードフォワード的に入力することが有効であることが知られている[1]。逆動力学計算に関しては、従来から多くの研究が実施されており、様々な系に対する計算法が存在する[2][3]。従来のニュートン・オイラー法やラグランジュ法などの解法によって得られる動力学方程式は、系固有のものとなりトルクの厳密解を得ることができるが、系が直列的に扱われるために各リンクの情報が相互に依存し合うという特徴を持っている。

一方、リンク系の形態や剛性に依存しない汎用的な逆動力学計算法として、磯部らによって並列的逆動力学計算法(以下、並列的解法と記す)が開発された[4]。この解法は、系全体を有限要素で離散化し、並列的に節点力を求め、力学的関係よりトルクを算出するという特徴を持っている。よって、機構の変化に対しても入力データの変更のみで柔軟に対応することができ、閉リンク機構や柔軟リンク系など様々な機構に対しても適用可能であることが確認されている。

本研究では、制御困難とされているロボットの高速移動を実現するため、まず並列的解法によりロボットの移動に必要なトルク算出を行い、機構の開発を行う。次に、算出トルクを移動ロボットに対してフィードフォワード的に入力し、高速移動の実現と、並列的解法の有効性の検証を目指す。

2. 移動ロボット

表1に開発した移動ロボットの諸寸法を、図1にその外観を示す。本移動ロボットは、高速移動を実現するためにモー

タのギヤ比を18:1と低く設定している。また、重量軽減の観点からアクチュエータの数を極力減らしたため、移動において姿勢が不安定になる傾向があるが、脚先端に電磁石を用いることで、その問題を解決した。

3. 移動計画

図2にロボットの移動計画を示す。図2の M_1 および M_2 は移動ロボットのアクチュエータであるモータを示し、 E_1 および E_2 は移動ロボットの脚先端に取り付けている電磁石を示している。この移動ロボットの具体的な移動計画として、まず移動ロボットを図2の実線の形態にし、 E_1 をON、 E_2 をOFFにする。この操作により、移動ロボットは E_1 で地面に固定される。次に M_1 および M_2 をそれぞれ反対方向に π [rad]回転させることで、 E_1 を原点として前進することができる。最終的には、 E_1 および E_2 のON、OFFを切り替えることでロボットの移動を実現する。本研究では、ロボットの高速移動を目指し、0.5[sec]で π [rad]回転させる軌道を適用し、実験および解析を行う。

Table 1 Parameters of mobile robot

Height of the body	394.0 [mm]
Length of the body	388.7 [mm]
Width of the body	140.9 [mm]
Weight	11.25 [kg]

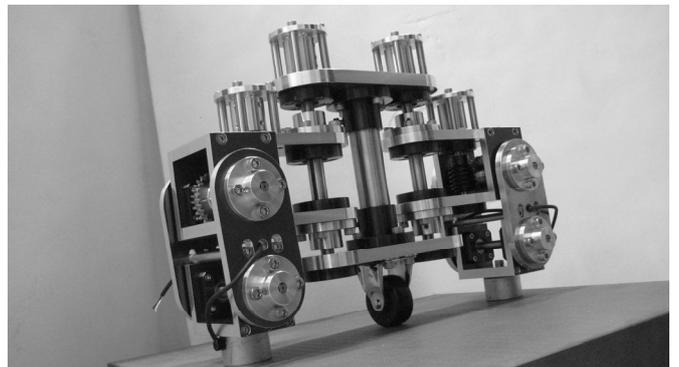


Fig. 1 Mobile robot developed for high speed motion experiments

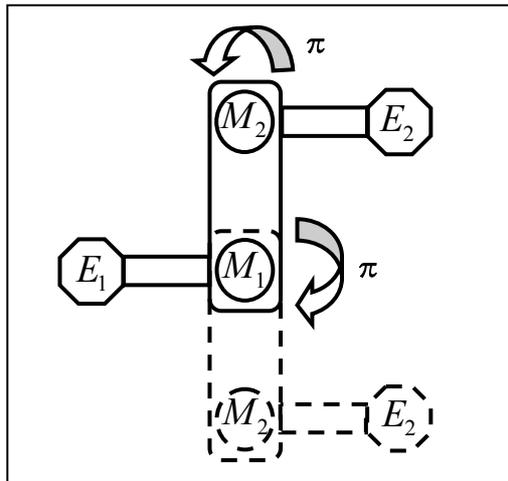


Fig. 2 Motion plan

4. 制御手法

歩行ロボットの制御に広く使用されているフィードバック制御は、目標となる制御量を常に検出し、制御に反映しているため、予測できないような外乱に強い反面、制御時間が長くなり、高速動作には不向きである。また、フィードバック制御のみでは、精度面での不安もある。これに対しフィードフォワード制御は、外乱がほとんどない制御系や、経験から外乱が予測できるような系において、あらかじめ予測できる外乱を想定し目標値を定めておくことにより、高速な動作に対して的確な制御が期待できる利点がある。そこで本研究では、ロボットの高速動作に対してフィードフォワード制御を主に適用し、最終的な位置決めを補正するためにフィードバック制御を併用することとした。

5. 並列的逆動力学計算法

並列的解法では、まず運動学計算によって算出された目標軌道の加速度情報をもとに運動方程式を解き、系内の自由な節点に作用する節点力を逐次的に算出する。

$$[M]\{\ddot{u}\}_{t+\Delta t} = \{F\}_{t+\Delta t} \quad (1)$$

$[M]$ は全体質量マトリクス、 $\{\ddot{u}\}$ は節点加速度ベクトル、 $\{F\}$ は全体座標系で表される外力ベクトルである。

次に、マトリクス形式で表した次式を用いて節点力からトルクに換算する。

$$\{\tau^n\} = [L^n][T^n]\{P^n\} \quad (2)$$

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、 $[T^n]$ は全体座標系からリンクの要素座標系に変換する座標変換マトリクス、 $[L^n]$ は系の構造を表す部材長マトリクスである[4-6]。このように各変数をマトリクス形式に分離することにより、系の構造が変化した場合にも入力値の変更のみで柔軟に対応可能となる。

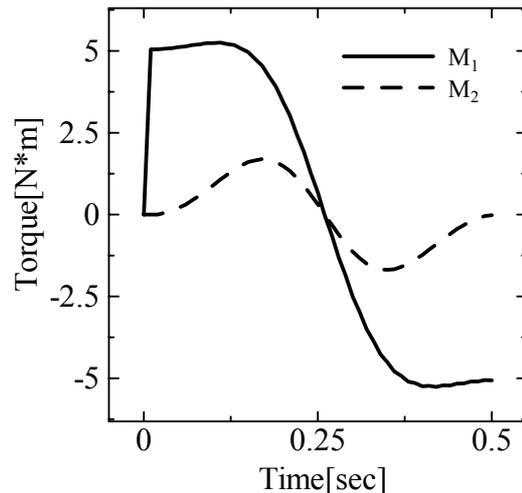


Fig. 3 Calculated torque curves

6. 逆動力学計算結果

図3に並列的解法を用いて算出した、 M_1 および M_2 のトルク曲線を示す。図3から、移動に必要なトルクは、 M_1 において ± 5.0 [Nm]程度、 M_2 において ± 2.0 [Nm]程度であることがわかる。移動ロボットに用いられているモータのギヤは、最大で6.0[Nm]までの耐久性を有しているため、0.5[sec]で π [rad]の回転は可能である。しかし、これ以上の高速移動はギヤの耐久性の問題から、困難であると考えられる。

7. 結言

本研究では、ロボットの高速移動を実現するため、実験用移動ロボットを開発した。また、開発したロボットが移動の際に必要なトルクを並列的解法により算出した。講演会では、移動ロボットのフィードフォワード制御実験結果を公開し、その高速移動に対する並列的解法の有効性について検証する予定である。

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] 小巖徳晃, 名嶋篤史, 中村仁彦, 吉本堅一: "動力学補償を用いたパラレルメカニズム制御", ROBOMECH'96 講演論文集, [Vol.B], pp.1059-1062, 1996.
- [2] 中村仁彦: "パラレルメカニズムの動力学", 日本ロボット学会誌, 第10巻, 第6号, pp.709-714, 1997.
- [3] 杉本浩一: "閉ループ機構の運動方程式の導出", 日本ロボット学会誌, 第15巻, 第3号, pp.460-467, 1997.
- [4] D.Isobe: A Unified Solution Scheme for Inverse Dynamics, Advanced Robotics, 18(9), pp.859-880, 2004.
- [5] D.Isobe, A.Yagi and S.Sato: General-Purpose Expression of Structural Connectivity in the Parallel Solution Scheme and Its Application, JSME International Journal Series C, 49(3), pp.789-798, 2006.
- [6] 磯部大吾郎, 加藤昭博: フレキシブル・リンク系のモデルベースド・フィードフォワード制御, 日本ロボット学会誌, 25(4), pp.625-631, 2007.
- [7] 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-EPME SC XI, 2007, Kyoto, Japan.