

Scilab/Scicos への Motor 代数の導入と運動解析シミュレータの構築

苫小牧工業高等専門学校 ○萩尾 大樹, 吉村 斎, 阿部 司, 北海道立工業試験場 大村 功

要旨

物体の並進運動と回転運動は別に扱われるのが一般的であるが, Motor 代数を用いて運動を記述することで並進運動と回転運動を統一的に扱うことが出来る. 本研究では, 数値計算ソフト Scilab/Scicos に Motor 代数を導入し, リンク機構の運動解析を行う. また, リンクの接続関係の簡潔な定義方法を導入する. Scilab を用いてリンク機構の運動解析シミュレータを構築し, 運動解析の例として早戻り機構の角速度と変位を解析する.

1.はじめに

剛体の並進運動と回転運動を一度に扱うことができる Motor 代数を用いることで, 運動を統一的に記述できる. 吉村等は, Motor 代数をオブジェクト指向によるアプローチを用いて C++ で実装し, 運動解析を行っている[1]. しかし, C++ の仕様変更により一部使用できない命令がある.

オープンソースの数値計算ソフト Scilab は, Matlab クローンの一つである. Scilab は, 数値計算ライブラリの集合である. 制御工学やグラフ理論, 画像処理など多くの分野の処理機能を持ち, プラグインの追加によって, さらに機能の追加が可能である. また, 演算子のオーバーロードや他言語とのインターフェースをサポートするなど, プログラミングの自由度が高いのが特徴である. 無料で使えるという点から個人でも手軽に使用することが出来る.

本研究では, 吉村等が行った Motor 代数を用いた運動解析の手法を Scilab に導入する. そのために, 運動解析のための Motor 代数のモジュールと, リンク機構を定義するためのモジュールを Scilab のプラグインとして開発する. 開発したモジュールを利用して, 運動解析のシミュレーションを行う.

2.研究の概要

2.1 Motor 代数モジュール

Motor 代数を再利用可能なモジュールとして定義する. モジュール化するメリットは, データをまとめることによるプログラムの簡潔化である.

Scilab は, クラスを定義することはできないが, 構造体の定義は可能である. Scilab ではコンストラクタが使えないため, オブジェクトの生成のための関数で代用されている.

Scilab で新しい型を定義するには tlist 関数を使用する. Motor は, 2 つのベクトルで定義できる.  $r=(10, 10, 10)^t$  を位置ベクトル,  $d=(0,0,1)^t$  を軸とするのモータを定義するには,

$$v=r \times d=(10, -10, 0)^t$$

であるから,

$$M = tlist(['Motor', 'd', 'v'], [0, 0, 1]^t, [10, -10, 0]^t)$$

と記述する. ここで, M は 6 次元ベクトルである.

2.2 リンクの定義

リンクの接続は, オーバーロードした演算子を使って行う. この利点は, リンクの構造を把握しやすくなるという点である.

リンクと対偶を直接, 接続するのではなく, フレームを介して接続する. リンクとフレームの接続には, + 演算子, 対偶とフレームの接続には > 演算子を使用する.

リンク L1 にフレーム F1, F2 を関連付けるには次のように記述する.

$$L1 + F1 + F2;$$

フレーム F1 とフレーム F2 が対偶 P1 によって接続されている場合は, 次のように記述する.

$$F1 > P1 > F2;$$

2.3 参照型の実装

Scilab は, 関数の引数の参照渡しや他の変数の参照 (ポインタ) を別の変数に格納することが出来ない. そのため, Linked-List のように循環を表現できるデータ構造を定義できない.

そこで, この循環を表現するために, 配列のインデックスで代用する. 図 1 のように, オブジェクト A, B, C を配列に格納したとする. A の配列内のインデックスをオブジェクト A' に格納する. A' の値を使えば, A にアクセスすることが出来る. 同様に, 配列内のオブジェクトに次の要素のインデックスを格納すれば, Linked-List を実装できる.

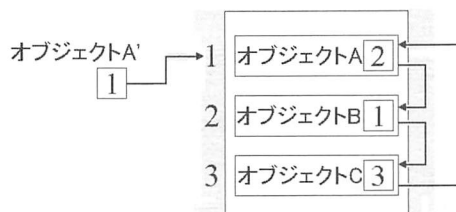


図 1 参照型の実装方法

3.運動シミュレーション

図 2 に示す早戻り機構のシミュレーションを行った. この物理シミュレーションは, 参考文献[2]と同じ例を Scilab で実装したものである.

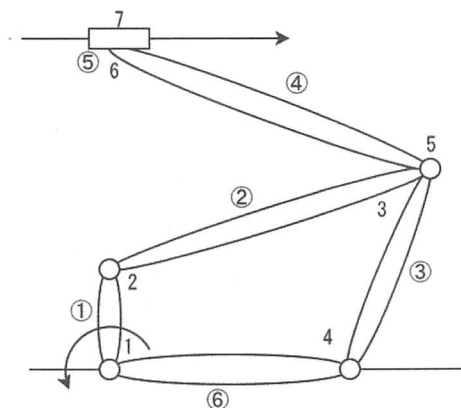


図 2 早戻り機構

以下のような流れで機構を定義する。

- (1) リンクを定義する
- (2) リンクと対偶を接続するためのフレームを定義する
- (3) リンクとフレームを関連付ける
- (4) フレームと対偶を関連付ける
- (5) リンクと対偶の接続関係を定義する
- (6) 受動対偶と能動対偶を定義する

与えられたリンクの接続情報から、接続関係を表す接続行列、各閉路に含まれるノードの集合を表す閉路行列を生成する。この行列の生成には、Scilab のグラフ理論の Toolbox である Metanet を利用している。

閉路行列と各リンクのモータを組み合わせたペアループ行列を生成し、連立方程式として解くことで各リンクの速度を求めることができる[2]。

リンク1(入力リンク)を一定速度で  $360^\circ$  回転させた場合の各リンクの速度を調べた。図3に各リンクの相対速度の変化を示す。図2の中の  $\dot{q}_7$  はスライドペアは並進速度である。

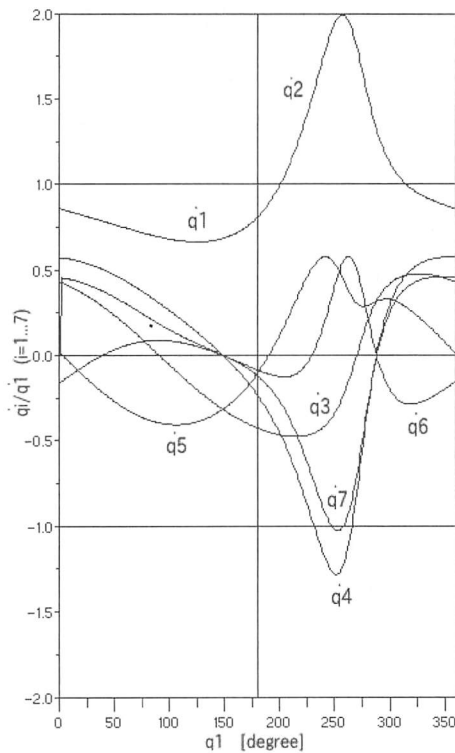


図3 リンクの速度解析

図3より、入力リンクであるリンク1の角速度  $\dot{q}_1$  は、一定である。リンク7の並進速度を表す  $\dot{q}_7$  は、 $q_1$  が  $0^\circ$  から  $250^\circ$  の区間では緩やかに減少する。 $q_1$  が約  $250^\circ$  のときに、 $\dot{q}_7$  の絶対値は最大になる。以後、急激に変化していることが分かる。

速度解析の結果から、リンクの微小移動を逐次加算することでリンクの変位を求める。図3にリンクの位置解析結果を示す。 $q_7$  はスライドペアの水平方向の変位である。

図4より、入力リンクの変位である  $q_1$  は、直線的に増加している。 $q_7$  は、 $q_1$  が  $0 \sim 250^\circ$  の区間と、 $250 \sim 360^\circ$  の区間で元の位置に戻る。戻りの動作のほうが所要時間が短いことが分かる。

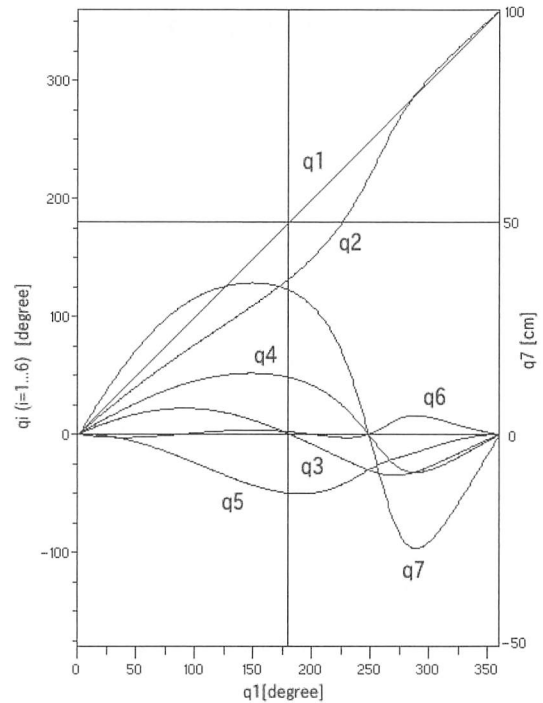


図4 変位解析

図5に入力リンクを40度ずつ回転させたときの軌跡を示す。

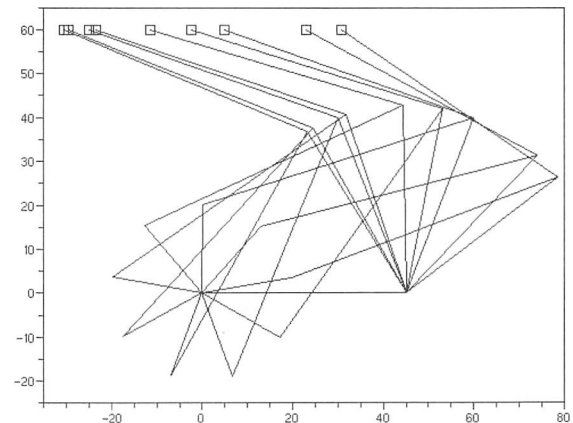


図5 早戻り機構の運動軌跡

#### 4. 結論

ScilabにMotor代数を導入し、リンクの運動をMotor代数で記述した。これにより、抽象度が高まり、運動解析のプログラムの実装においても数式表現と同様のプログラム表現が可能となり、並進運動と回転運動を統一的に扱うことが出来た。

また、Scilabで運動シミュレータを構築し、早戻り機構の運動解析を行うことで、Motor代数による運動解析の有効性を確認した。

#### 5. 参考文献

- [1] 吉村斎, 重松洋一, 久保洋: “マルチリンクシステムの運動解析”, 日本ロボット学会誌 vol.13, no.2, pp.257-262, 1995.
- [2] 城道介, 島原冬輝: “モータ代数とグラフ理論による機構の記述と解析(第1報)”, 精密工学会誌 54(7), pp.60-66, 1988.