

リムレスホイール受動歩行シミュレーション プログラムの使用について

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 浅野文彦研究室

1. はじめに

本プログラムは、斜面をころがるリムレスホイール（以下 RW, Fig.1 参照）の受動歩行のシミュレーションプログラムである。MATLAB を用いて数値シミュレーションを行う。RW のモデリング・プログラムの実行方法・各プログラムの詳細の説明を以下に記す。

2. モデリング

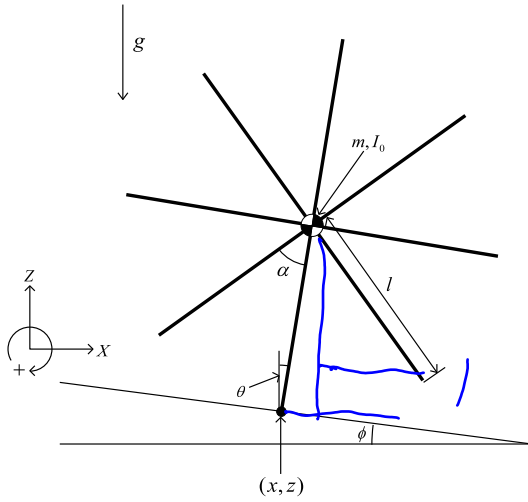


Fig.1: Model of rimless wheel

2.1 仕様

本プログラムで扱う RW の仕様を以下に記す。

- ・ 脚フレーム間の角度は $\alpha = \pi/4[\text{rad}]$ で、8 本の脚を持つ対称形状である。
- ・ 本体の質量を $m[\text{kg}]$ とする。また、慣性モーメントは $I_0[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$ とする。
- ・ 支持脚（接地している脚）の先端位置を (x, z) とする。
- ・ 時計回りを正回転とする。

2.2 運動方程式

一般化座標ベクトルを $q^T = [x \ z \ \theta]$ とする。Lagrange 方程式を用い RW の運動方程式を導出すると以下の式となる。

$$M(q)\ddot{q} + h(q, \dot{q}) = J^T \lambda \quad (1)$$

$$J\dot{q} = 0_{2 \times 1} \quad (2)$$

ここで、 $M(q)\ddot{q}$ は慣性項、 h ベクトルは中心力、コリオリ力および重力項、 $J^T \lambda$ は床面から受けるホロノミック拘束力ベクトルを表す。また、各行列の詳細を以下に示す。

$$M(q) = \begin{bmatrix} m & 0 & ml \cos \theta \\ 0 & m & -ml \sin \theta \\ ml \cos \theta & -ml \sin \theta & ml^2 + I_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$h(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} -ml\dot{\theta}^2 \sin \theta \\ mg - ml\dot{\theta}^2 \cos \theta \\ -mgl \sin \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$J = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.3 衝突方程式

衝突直前の状態量を q^- 、衝突直後の状態量を q^+ とする。床面との衝突は瞬間的な完全非弾性衝突であり、衝突時に脚と床面が滑らないと仮定する。従って、衝突方程式は以下のように書ける。

$$M(q)\dot{q}^+ = M(q)\dot{q}^- + J_I(q)^T \lambda \quad (6)$$

$$J_I(q)\dot{q}^+ = 0_{2 \times 1} \quad (7)$$

また、衝突時の幾何学的拘束条件により、角度は以下の式で更新される。

$$\theta^+ = \theta^- - \alpha \quad (8)$$

ここで、

$$J_I(q) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & l \cos \theta^- - l \cos(\alpha - \theta^-) \\ 0 & 1 & -l \sin \theta^- - l \sin(\alpha - \theta^-) \end{bmatrix} \quad (9)$$

である。

また、式 (6) を解くと、衝突直後の速度ベクトル \dot{q}^+ は次のようになる。

$$\dot{q}^+ = (I_3 - M(q)^{-1} J_I(q)^T X(q)^{-1} J_I(q)) \dot{q}^- \quad (10)$$

$$X(q) = J_I(q) M(q)^{-1} J_I(q)^T \quad (11)$$

3. 実行方法および各ファイルの詳細

3.1 プログラムの実行方法

本プログラムは MATLAB を用いてシミュレーションを実行する。m ファイル <main.m> がメインのプログラムである。このプログラムをエディタに表示したのち、実行ボタンを押すとシミュレーションが開始する。

3.2 各ファイルの詳細

同梱の各ファイルに関する詳細を以下に示す．

- main.m
本プログラムのメインファイル．本プログラムでは RW の運動方程式の数値積分を行う際、ode45 ソルバーを用いている．引数は、関数 m ファイル (rimless.m)・計算時間 (tspan)・RW の初期状態 (q0) である．また、RW の脚が地面と衝突した瞬間積分計算をストップする計算オプション (options) を設定している．RW の脚が地面に衝突した瞬間から次の脚が衝突する間 (RW の一歩に相当) までを一つの計算とする．その計算を for ループを用いて繰り返すことで、RW の歩行の全体の数値計算を行う．その他、main.m には解析結果をグラフにプロットするプログラムや解析結果をもとにアニメーションを作成するプログラムも記述している．
- parameter.m
RM の各物理パラメータを設定．
- rimless.m
RW の運動方程式を取得する関数．
- get_M.m
RW の運動方程式の M 行列を取得する関数．
- get_N.m
ホロノミック拘束力を取得する関数．
- get_h.m
RW の運動方程式の h ベクトルを取得する関数．
- collision.m
RW の脚の衝突を検知する関数．床面から支持脚の前方の脚までの高さを算出．算出結果が 0 のとき脚が床面に衝突したとみなし支持脚交換を行う．
- change.m
衝突方程式を用いて、衝突後の状態量を算出する関数．また、この関数は RW の支持脚交換も行っている．

4. おわりに

4.1 免責事項

プログラムおよび本マニュアルは注意をはらって作成していますが、情報の信頼性などについて一切保証するものではありません．また、プログラムの利用によって生じる如何なる損害・損失についても責任を負うものでもありません．

4.2 著作権

プログラム及び本マニュアルの著作権は北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 浅野文彦研究室に属します．プログラムや文面等の無断転載、ならびに営利目的での利用はご遠慮ください．

© 2012 F.Asano Laboratory, All Rights Reserved.

4.3 本マニュアル作成者

間違いやご不明な点などがあれば下記メールアドレスまでご連絡ください．

大島 正嵩 (Masataka OHSHIMA)
MAIL : ohshima_09@jaist.ac.jp
安田 芳樹 (Yoshiki YASUDA)
MAIL : y.yasuda@jaist.ac.jp

4.4 改訂履歴

2012 年 02 月 23 日 初版作成
2012 年 10 月 01 日 初版第 1 刷