

1. 緒言

現在、多種多様なロボットにおいて適切な制御のためにモデル化を行い、シミュレーションで最適な制御方法を探す方法がある。このためロボットのモデル化は非常に重要な技術となっている。今回は綱渡りをする二輪ロボットを対象として、そのモデル化を行ったのでこれを報告する。

2. 綱渡りロボットの概要とモデル化

試作したロボットは、前後に車輪を持ち、左右にスライドする腕でバランスを取りながらロープ上を進んでいく機構を持った Fig.1 のようなものである。バランスさえ取ることができれば前に進むことは容易と考え、バランスを取ることに主眼を置いたモデル化を行う。モデル化を行うにあたって、機体を正面から捉え、左右にスライドしバランスを取る部分をアームとし、それ以外の部分をボディとする。またモデル化は次のように2種類行う。

ロープがたわまない場合 Fig.2 のようにロープは棒状のようなものでありたわみが生じないとして、この時のロープの位置をたわみ0の点としてモデル化を行う。

ロープがたわむ場合 Fig.3 のように機体に乗っているときのロープのたわみは常にたわみ0の点から一定であるとしてモデル化を行う。

3. モデルから運動方程式の導出

モデル化の際に用いた記号を以下に示す。

- M_1, M_2 : ボディ, アームの質量
- G_1, G_2 : ボディ, アームの重心
- J_1, J_2 : G_1, G_2 での慣性モーメント
- L_{1G} : ロープとボディの接点 から G_1 までの長さ
- n : ロープとボディの接点 からアーム固定部分までの長さ

また、 G_1, G_2 のx成分を G_{1x}, G_{2x} , y成分を G_{1y}, G_{2y} とするし、ボディ・アームの重心での運動エネルギーと位置エネルギーを T_1, T_2, U_1, U_2 とすると、各エネルギーは以下のように求まる。

$$T_1 = \frac{1}{2} M_1 \left\{ \left(\frac{d}{dt} G_{1x} \right)^2 + \left(\frac{d}{dt} G_{1y} \right)^2 \right\} + \frac{1}{2} J_1 \dot{\theta}^2$$

$$T_2 = \frac{1}{2} M_2 \left\{ \left(\frac{d}{dt} G_{2x} \right)^2 + \left(\frac{d}{dt} G_{2y} \right)^2 \right\} + \frac{1}{2} J_2 \dot{\phi}^2$$

$$U_1 = M_1 g G_{1y}, U_2 = M_2 g G_{2y}$$

3-1 ロープがたわまない場合

$$G_{1x} = -L_{1G} \sin \theta, G_{1y} = L_{1G} \cos \theta$$

$$G_{2x} = z \cos \theta - n \sin \theta, G_{2y} = z \sin \theta + n \cos \theta$$

となり、ラグランジュの方法で運動方程式を導出すると

$$\begin{cases} (M_1 L_{1G}^2 + J_1 + M_2 z^2 + M_2 n^2 + J_2) \ddot{\theta} - M_2 n \ddot{z} - M_1 g \sin \theta - M_2 g (n \sin \theta - z \cos \theta) = 0 \\ M_2 \ddot{z} - M_2 n \ddot{\theta} + M_2 g \sin \theta = f \end{cases}$$

となる。

3-2 ロープがたわむ場合

$$G_{1x} = -L_{1G} \sin \theta + r \sin \phi, G_{2x} = z \cos \theta - n \sin \theta + r \sin \phi$$

$$G_{1y} = L_{1G} \cos \theta - r \cos \phi, G_{2y} = z \sin \theta + n \cos \theta - r \cos \phi$$

となり、ラグランジュの方法で運動方程式を導出すると

$$\begin{cases} (M_1 L_{1G}^2 + J_1 + M_2 z^2 + M_2 n^2 + J_2) \ddot{\theta} - M_2 n \ddot{z} - M_1 g (L_{1G} - r) \sin \theta - \{M_1 L_{1G} r \cos(\theta - \phi) + M_2 n r \cos(\theta - \phi) + M_2 r z \sin(\theta - \phi)\} \ddot{\phi} - \{M_1 L_{1G} r \sin(\theta - \phi) + M_2 n r \sin(\theta - \phi) + M_2 r z \cos(\theta - \phi)\} \dot{\phi}^2 + 2M_2 z \dot{z} \dot{\theta} + M_2 g (z \cos \theta - n \sin \theta) = 0 \\ (M_1 r^2 + M_2 r^2) \ddot{\phi} + M_2 r \cos(\theta - \phi) \ddot{z} + M_2 g r \sin \phi - \{M_1 L_{1G} r \cos(\theta - \phi) + M_2 n r \cos(\theta - \phi) + M_2 r z \sin(\theta - \phi)\} \ddot{\theta} + \{M_1 L_{1G} r \sin(\theta - \phi) + M_2 n r \sin(\theta - \phi) + M_2 r z \cos(\theta - \phi)\} \dot{\theta}^2 - 2M_2 g r \sin \phi + M_2 g r \sin \phi = 0 \\ M_2 \ddot{z} - M_2 n \ddot{\theta} + M_2 r \sin(\theta - \phi) \dot{\phi}^2 + M_2 r \cos(\theta - \phi) \ddot{\phi} + M_2 g \sin \theta - M_2 z \dot{\theta}^2 = f \end{cases}$$

となる。

4. 結言

今回はロープがたわまない場合のみを制御を加えないでシミュレーションを行い、 θ の値をとるとFig.4のような結果が得られた。このことにより正しくモデル化がされていることが確認できた。

今後はたわみのあるモデルを用いて制御システムの構成を検討していく。

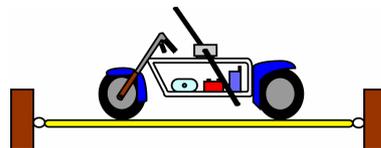


Fig.1 Image of robot balanced on rope

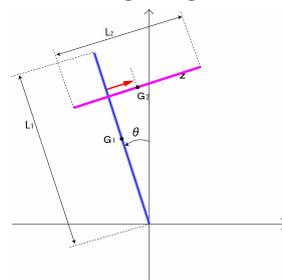


Fig.2 Model when rope bends

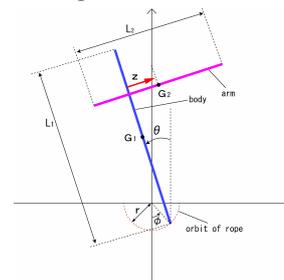


Fig.3 Model when rope doesn't bend

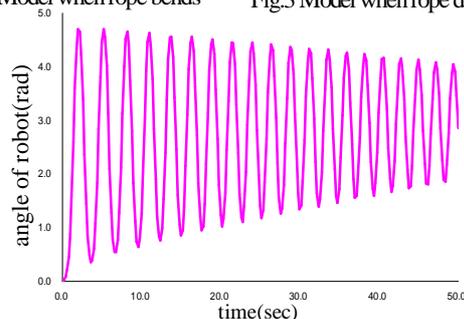


Fig.4 Result of simulation