

1 緒 言

一脚走行の速度安定化は遊脚着地角制御¹⁾により行われるが、視覚を前提とした障害物回避(着地点選択)は走行速度安定化への外乱となる。SLIPモデル²⁾を用いたシミュレーションにより、着地点選択と遊脚着地角制御の関係を論じる。

2 シミュレーション環境

2.1 SLIP(Spring Loaded Inverted Pendulum)モデル

SLIPモデルとは、Fig. 1に示す質点(○)で表される胴体と質量なしバネ脚により構成される一脚走行(Fig. 2)のためのモデルである。脚の質量がないので衝突によるエネルギー損失はなく全体のエネルギーは常に保存されるが、例えばy方向最高跳躍点(Fig. 2, HP)での「位置エネルギー」と「前進(x)方向運動エネルギー」の和は一定であるが、それらの比は変化する。

遊脚(swing)相および支持(stance)相での運動方程式²⁾をレンゲクッタ法により積分し、走行シミュレーションを行う。

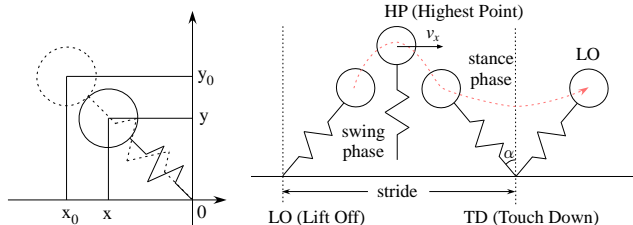


Fig. 1. SLIP model coordinate

Fig. 2. SLIP model and running

2.2 遊脚着地角制御

遊脚相は自由落下運動なのでx方向速度 v_x は一定とする。支持脚相は着地(TD)時の脚角度(遊脚着地角 α)を初期値とする倒立振り運動であり、離地(LO)時のx方向速度が次の遊脚相の v_x となる。走行の各ステップで v_x が目標速度 v_x^* に収束するように、次式の遊脚着地角制御¹⁾を用いる。ここで α_0 は v_x^* を用いてバネなし倒立振りモデルから計算される。

$$\alpha = \alpha_0 + \text{gain} \times (v_x - v_x^*) \quad (1)$$

2.3 障害物回避のための遊脚着地角計算

Fig. 3の①と②を用いて障害物回避問題の設定を説明する。定常走行時のあるHP:①で式(1)より遊脚着地角が計算され本来の着地点(original foot placement, OFP)が決定されるが、視覚により障害物としてOFPから前または後に大きさ Δx の溝(緑線)が検出されると仮定する。そこで障害物を回避できる着地点(溝の手前または奥)から新たな遊脚着地角 α_{ob} を計算する(Fig. 3のTD:②では奥が選ばれている)。具体的には、回避着地点のx座標をFig. 2のstrideを用いて

$$\text{stride}_{ob} = \text{stride} \pm \Delta x \quad (\text{—, +は手前と奥に対応})$$

とすると、質点の自由落下後・着地時座標(x_{TD}, y_{TD})を近似計算により求め、新たな遊脚着地角 α_{ob} を式(2)から得る。

$$\alpha_{ob} = \tan^{-1} \left(\frac{\text{stride}_{ob} - x_{TD}}{y_{TD}} \right) \quad (2)$$

3 シミュレーション結果

3.1 gainの設定

以下すべて $v_x^*=0.8$ (m/s)とする。2.3節で述べた着地角の変更により障害物を越えさせることでgainの調整を行った。目標速度への到達度合い、障害物の回避能力を考慮した結果、OFPの前17(mm)後27(mm)の回避性能をもつ $\text{gain}=0.6$ (rad/s/m)に設定した。またこの結果は次節での着地点選択に使われる。

3.2 直前に障害物を検知した場合

簡単のため直前のHPで視覚により障害物としてOFPから前後同じ大きさ Δx の溝が検出されると仮定する。3.1節の結果から手前と奥の着地点の一方のみが可能であればそちらを選ぶ。両方可能な場合には何らかの選択基準が必要である。

興味深い例としてFig. 3を示す。 $\Delta x=9$ (mm)であり、TD:②でOFPより奥27(mm)に大きな着地角で着地した。次の支持脚相・倒立振り運動で重力によりx方向に減速され、HP:③では v_x が小さく跳躍高さが大きくなった。このため次の遊脚着地角は式(1)より負となり、TD:④のように前回よりも後ろに着地するバックステップ¹⁾が発生する。次の支持脚相では逆に重力によりx方向に加速され、HP:⑤では v_x が大きく跳躍高さが小さくなった。その後何回かの跳躍により定常走行に戻る。

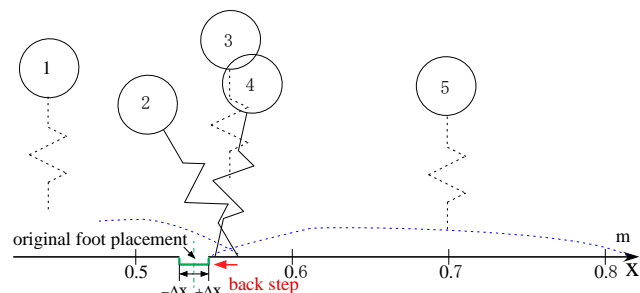


Fig. 3. Back step in obstacle avoidance

3.3 1-step前に障害物を検知した場合

3.2節で手前も奥の着地点も不適切なときに、直前ではなく1-step前のHPから2-TD先のOFPにある障害物を検知して1-step前の着地点と角を2.3節と同様に変更することで回避が可能となる場合がある。前後 $\Delta x=54$ (mm)でシミュレーションした結果、1-step前の着地ではOFPより10(mm)奥に着地点を選択し、直前の着地で障害物中心より54(mm)手前に着地点を設定することで転倒なく障害物を飛び越えることができた。

4 結言

視覚を前提とした障害物回避のための着地点選択問題と遊脚着地角制御による前進速度安定化の関係を考察した。

5 引用

- 1)M.H.Raibert. (1986). Legged Robot That Balance. MIT press.
- 2)R.Brickhan. (1989). The Spring-mass Model for Running and Hopping. J.Biomech., vol.22, 1217-1227.