

跳躍ロボットによる姿勢を考慮に入れた運動制御

Motion Control by Hopping Robot Taking Attitude into Account

80223947 森田祐一 (Yuichi Morita) Supervisor 大西公平 (Kouhei Ohnishi)

1 緒言

近年，計算機性能の飛躍的な向上によるロボット性能の進歩には目を見張るものがある．特に，脚式ロボットは人間の活動領域で活動に適したロボットとして期待されている．脚式ロボットの中でも比較的新しいのが跳躍ロボットである．跳躍ロボットは走行，より大きな障害物の回避等への応用が期待されている．

跳躍ロボットの研究は約 25 年前に松岡らの行った研究 [1] が始まりとされている．この分野において，Raibert らの基礎的な跳躍ロボットの研究 [2] は著名であり，その手法は多くの研究で参考にされている．

跳躍ロボットの研究の多くは，いかにして跳躍力を生成するかに焦点を当てている．しかし，最も重要なことは姿勢制御である．これは，空中時に接触点を持たない跳躍ロボットでは必要不可欠な議論である．実際，跳躍ロボットの研究で姿勢を考慮に入れ，研究を行っている例として美多らの行っている研究 [3][4] が挙げられる．美多らの研究は，安定な跳躍を得られる軌道生成を行い，姿勢を安定させている．

また，多くの研究で跳躍ロボットの移動に関してあまり触れられず，同じ跳躍動作を繰り返す事にのみ焦点を当て，一定の速さである方向に跳躍をし続けるという手法が多い．しかし，今後ロボットの移動手段として跳躍を行う事を考えるのであれば，所望の位置に収束する移動制御を伴う跳躍制御を行わなければならない．

そこで，本研究では『所望の位置に収束する跳躍制御の実現』，『姿勢を制御する手法の提案と実証』の 2 点を目的に研究を行う．そして，提案する 3 種類の制御手法を用いた跳躍ロボットのシミュレーションより，提案する手法の有効性を示す．

2 モデリング

ロボットは sagittal 平面に 2 自由度，frontal 平面に 1 自由度を有した移動ベース型の 3 リンク構造となっている．また，ロボットの機構はアクチュエータの負担を軽減するためにパラレルリンク構造となっている．本論文では各リンクの重心に質量を持つ質点系としてモデル化を行った．

3 跳躍ロボットの制御手法

3.1 制御器の構成

跳躍ロボットには空中期間と接地期間の 2 種類の状態が存在する．ここでは，接地期間をさらに 2 種類の状態に分類する．その結果，3 種類の期間に分類することができ，それぞれの期間について以下の制御器を提案する．

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{空中期間} & \dots\dots\dots \text{着地制御} \\ \text{接地期間} & \left\{ \begin{array}{ll} \text{衝突期間} & \dots\dots\dots \text{衝突力緩和制御} \\ \text{跳躍準備期間} & \dots\dots\dots \text{跳躍・姿勢制御} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

期間の変化には重心の速度 ${}^w\dot{z}_G$ ならびに接地の有無 (床反力 wF_z) を切り替えの指標に用いている．

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{空中期間:} & {}^wF_z = 0 \\ \text{衝突期間:} & {}^wF_z > 0 \cap {}^w\dot{z}_G < 0 \\ \text{跳躍準備期間:} & {}^wF_z > 0 \cap {}^w\dot{z}_G \geq 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

3.2 着地制御

着地制御は転倒せず移動座標の所望の位置に移動を行うように足先の位置を制御する．この制御では，足先の位置を移動座標の所望位置との偏差により，軌道計画を行っている．

3.3 衝突力緩和制御

着地時の衝突力に対して柔軟な制御を行うために，コンプライアンス制御を導入する．本研究で用いるコンプライアンス制御は，外力を所望のインピーダンス特性で構成される 2 次フィルタを通して得られた値を用いることで位置制御のロバスト性を保つ制御系となっている．

3.4 跳躍・姿勢制御

跳躍・姿勢制御は跳躍制御と姿勢制御の 2 つの制御を行う．跳躍制御と姿勢制御は跳躍するまでの間，別々のアクチュエータで同時に制御を行う．

3.4.1 跳躍制御

ロボットが跳躍するために必要なエネルギーを生成する．また，エネルギー生成は前の跳躍を考慮に入れて，不

足分または過剰分のエネルギーを調節している．算出されたエネルギーを速度に変換し，指令値の軌道としている．

3.4.2 姿勢制御

空中時の姿勢の変化を考慮して指令値を導出する．空中時に外乱がないと考えると，ロボットが受ける制約は『角運動量保存則』と『運動エネルギー保存則』となる．この二つの制約より，接地時に所望の角運動量になるよう軌道計画を行う．空中時の角運動量は跳躍直前の角運動量が保存されるので，接地時の角運動量が決まることによりロボットの姿勢を制御できる．

4 シミュレーション

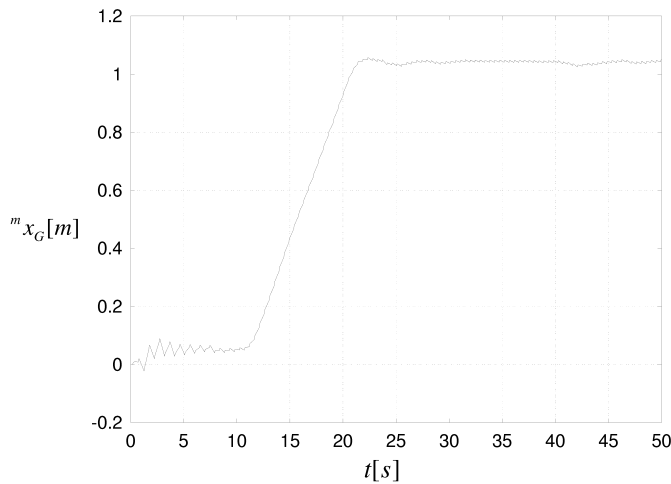


図 1: $m x$ の重心軌道

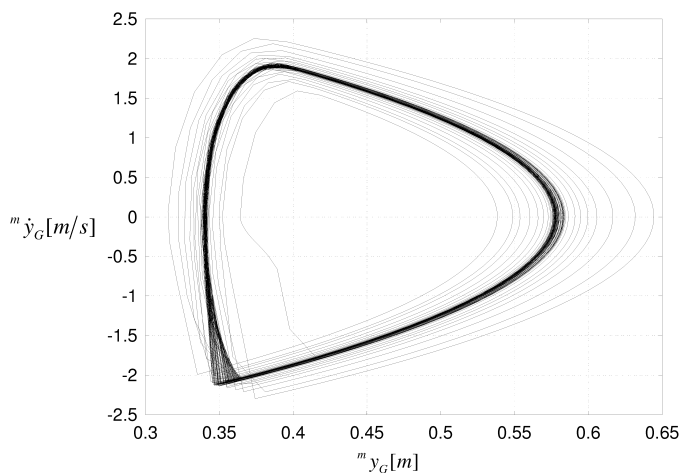


図 2: 重心の位相面での軌道

シミュレーションの開始はベース点を 0.6m の高さに設定した自由落下から始まる．提案手法のシミュレーショ

ンとして，最初の 10s 間はワールド座標の 0m 地点にとどまり，その後 10s 間で 1m の地点に移動をし，最終的に 1m の地点にとどまるシミュレーションを行った．

Fig.1の結果より，ロボットの位置は定常偏差があるものの，収束していることが確認できる．

次に，Fig.2は 50s 間の重心の $m y$ 軸方向の位置と速度の位相面を示している．この結果より，安定なリミットサイクルとなり，安定な跳躍が実現できていることがわかる．これにより，姿勢を保持しながら安定な跳躍を行っていることが確認される．

シミュレーション結果より，提案する手法を用いることで跳躍ロボットは姿勢を保ちながら所望の位置に移動を行う事ができた．これにより，提案する手法の有効性を示すことができた．

5 結言

本論文では，跳躍ロボットに対して，3 種類の制御の切り替えを行った．3 種類の制御手法を用いることで，姿勢を保ちながら所望の位置に移動を行う新しい跳躍制御手法を提案した．シミュレーション結果より，提案する制御手法の有効性を示した．

参考文献

- [1] 松岡清利，“跳躍・走行機構に関する基礎的研究”，日本機械学会論文集, Vol. 43, No. 376, pp. 4501-4509, 1977.
- [2] M.H.Raibert, “Legged Robots That Balance”, *The MIT Press*, 1986.
- [3] T.Mita, S.Hyon, T.Nam, “Analytical Time Optimal Control Solution For a Two-Link Planar Acrobot with Initial Angular Momentum”, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 17, No. 3, pp. 361-366, 2001.
- [4] T.Ikeda, Y.Iwatani, K.Suse, T.Mita, “Analysis and design of running robots in touchdown phase”, *IEEE International Conference on Control Applications*, Vol. 1, pp. 496-501, 1999.