

繰り返し順変換を用いた立脚ロボットにおける持ち上げ動作生成

岐阜県生産情報技術研究所 張 勤, 稲葉 昭夫
 金沢大学 関 啓明, 疋津 正利, 神谷 好春

1. はじめに

立脚型ロボットを用いた荷物の持ち上げ作業においてはロボットの各関節の曲げ角の制御が重要である。まず、荷物の持ち上げ動作時にロボットが転倒しないこと、そして各関節に作用する関節負荷トルクができるだけ小さいことなどが求められる。これらは荷物の持ち上げ動作中のロボットの各関節の曲げ角の与え方に依存している。本研究では関節負荷トルクや関節曲げ角における幾何学的拘束などの多様な評価を設けることのできる最適化のためのアルゴリズムとして繰り返し順変換を用いることとし、立脚型ロボットにおける荷物の持ち上げ動作の生成を試みる。

2. 繰り返し順変換を用いた持ち上げ動作生成のアルゴリズム

2.1 立脚型ロボットのモデル

本研究では図1に示すような4つの関節を持つ立脚型ロボットを考察の対象とする。立脚型ロボットの場合、各関節は減速機つきモータで駆動されることが多く、その場合十分にゆっくりした運動であるため、まずロボットの持つ静力学的性質に基づいた結果を導くこととする。

立脚型ロボットがその姿勢を維持するために各関節に作用させる関節トルク (T_1, T_2, T_3, T_4) と足底部のつま先とかかとに作用する床反力 (R_A, R_B) は次式のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} T_4 &= M'_4 L_{g4} g \cos(q_1 + q_2 + q_3 + q_4) \\ T_3 &= (M_3 L_{g3} + M'_4 L_3) g \cos(q_1 + q_2 + q_3) + T_4 \\ T_2 &= \{M_2 L_{g2} + (M_3 + M'_4) L_2\} g \cos(q_1 + q_2) + T_3 \\ T_1 &= \{M_1 L_{g1} + (M_2 + M_3 + M'_4) L\} g \cos q_1 + T_2 \\ R_A &= \frac{T_1 + b(M_1 + M_2 + M_3 + M'_4) g}{a + b} \\ R_B &= \frac{-T_1 + a(M_1 + M_2 + M_3 + M'_4) g}{a + b} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここでロボットが転倒しないためには $R_A > 0$ かつ $R_B > 0$ であることが必要である。これよりロボットが転倒しないためには足首部の関節に発生させ得るトルク (T_1) には限界が存在することになる。

$$-b(M_1 + M_2 + M_3 + M'_4) g \leq T_1 \leq a(M_1 + M_2 + M_3 + M'_4) g \quad (2)$$

2.2 繰り返し順変換による持ち上げ動作生成のアルゴリズム

繰り返し順変換とはロボットの各関節に微動を与えて得られる多くの順運動学の結果からそのときに用いる評価内容に最も適した解としての各関節の曲げ角を逐次求めていく手法であり、非常に容易に最終的なロボット姿勢を取り上げてくれる単純なアルゴリズムである。

足の前進・後退の微動と4つの関節の微動により3^s通りのロボット姿勢を得る。

ロボットの肩位置が上昇するロボット姿勢を選択、このときにすべての解が $R_A \cdot R_B < 0$ の場合にはロボットが転倒することになるため、負である R_A あるいは R_B がより大きくなるロボット姿勢を選択し(このときロボットは荷物を持ち上げることはできない)へ戻る。

$R_A > 0$ かつ $R_B > 0$ の姿勢を選択する。条件を満たしたロボット姿勢の各関節の負荷トルク T_i を求め、次に $H_i (= T_i / T_{imax})$ $i=1 \sim 4$ を求める。 H_i の最大値 H_{imax} をそれぞれの姿勢で比較し、その中で H_{imax} が最も小さい姿勢を選択し、へ戻る。

3. 持ち上げ動作のシミュレーション事例

上述のアルゴリズムを用いて計算した持ち上げ動作のシミュレ

ーション結果を図2に示す。ロボットが30kgの荷物を持ち上げようとしますが足底反力が転倒条件に入っているため荷物の方へロボットが近づき、その後で荷物の持ち上げ動作に移っている。図2(a)は持ち上げ動作時の各関節の曲げ角の様子、(b)は各関節のトルクの様子、(c)は各関節の H_i の様子、(d)には足底床反力とロボットのZMPの位置を示す。

今後は本アルゴリズムを用いて福祉機器における手すりの効果についても発展させていく予定である。

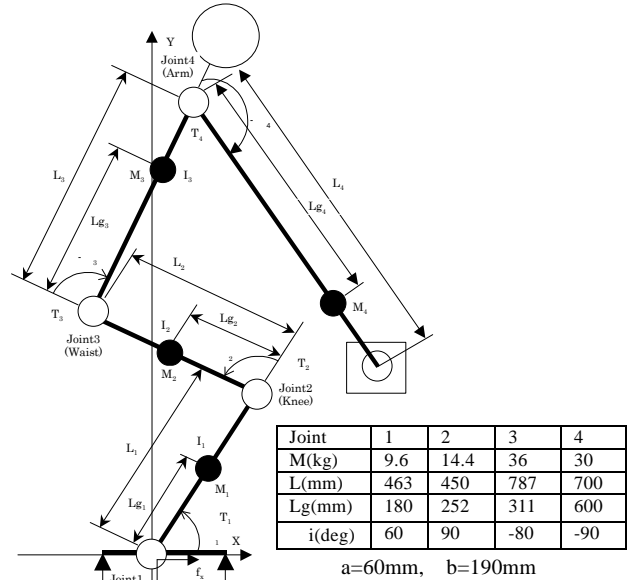


Fig.1 The model of a stance robot

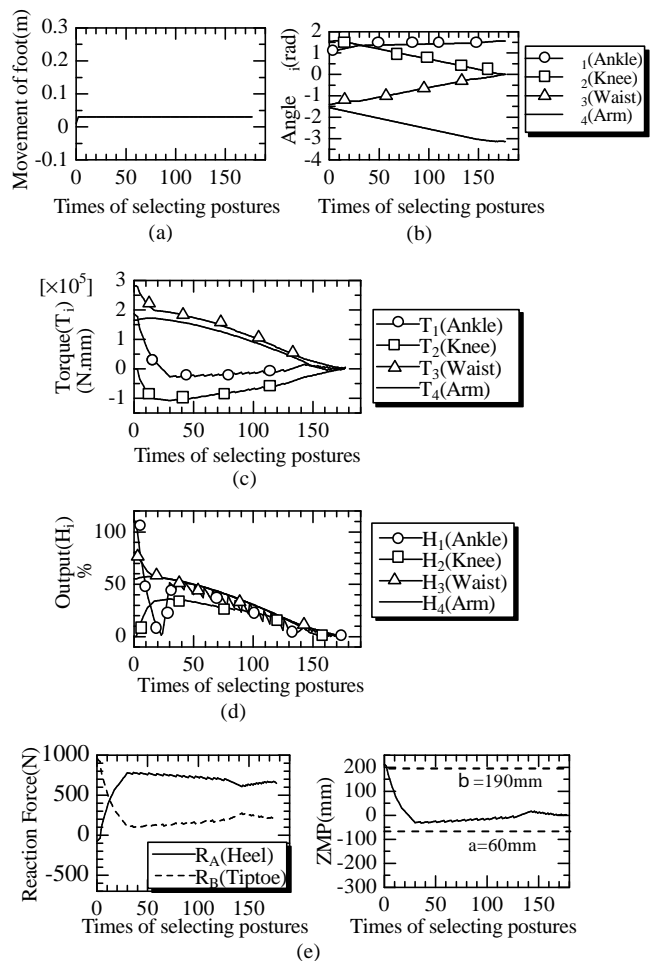


Fig2. The generation results of lift-up motion