

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12114

研究課題名(和文)非把持状態での空中相を有するダイナミックブラキエーション

研究課題名(英文)Dynamic Brachiation with Aerial Phase in Non-grasping State

研究代表者

山川 雄司(Yamakawa, Yuji)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：90624940

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、小型・軽量・高トルクのアクチュエータおよびそれによる高速な運動制御を用いて、サルが木の枝等の空中にある物体を把持しながら振り子運動によって雲梯の要領で移動する「ブラキエーション」運動の実現を目指している。その実現のために、新しいロボットの開発、ロボットの運動制御の提案、およびこれらを実証する実機実験を行った。

研究成果の概要(英文)：This research is to realize a new locomotive method “Brachiation” using small, lightweight, high torque actuators and its high-speed motion control. The brachiation motion is that the ape moves with the pendulum movement while grasping an object in the air. In order to realize it, development of a new brachiation robot, proposal of motion control of the robot and experiments for evaluating the proposed robot and method were performed.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ブラキエーション 運動生成

1. 研究開始当初の背景

ロボットの代表的な移動方法として、人間を模倣した二足歩行・走行，昆虫のような六脚や八脚等の歩行・走行，タイヤやクローラ等を用いた回転運動による走行が挙げられ，このような地面設置型の移動方法に関する研究開発が盛んに行われている。

本研究では，これらとは異なるロボットの移動方法として，サルが木の枝等の空中にある物体を把持しながら振り子運動によって，雲梯の要領で移動する「ブラキエーション」による移動方法を提案する．これまでにもブラキエーションロボットの研究開発は行われてきたが，ダイナミックかつ連続的なブラキエーション運動は実現されていないようである。

2. 研究の目的

本研究では，従来の地面設置型の移動方法ではなく，新しい移動方法としてサルのように木の枝を移動する，ブラキエーションの実現を目指す．特に，構造が簡易なブラキエーションロボットを開発すると同時に，動作アルゴリズムも単純化する．また，これまでのブラキエーション運動では重力方向に反して上昇するブラキエーションは困難であったが，それを実現する．

3. 研究の方法

本研究では，ハードウェアとソフトウェアの両観点から研究を推し進め，システム全体を構築する．

ハードウェアとしては，小型・軽量・高トルクのアクチュエータから構成される高速運動が可能なブラキエーションロボットを開発する．

ソフトウェアとしては，ロボットに適した運動制御法を提案する．具体的には，連続動作を考慮し，様々な環境に適応可能な方法を提案した．

これらを統合することにより，新しい移動手段の一つとしてダイナミックなブラキエーション運動を実現する．

4. 研究成果

(1) ブラキエーションロボットの開発

シンプルな構造でダイナミックなブラキエーション運動を可能とする，新しいブラキエーションロボットを開発した．本研究では，ダイナミックな動作を目指しているため，高出力な運動系として，2自由度リンク機構のロボット開発を行った．ここで，小型軽量で高出力なアクチュエータ（サーボモータ）を用いることにした．このアクチュエータは研究代表者の研究室で開発を進めている高速多指ロボットハンドに用いられているもので，高速な運動を可能にするものである．開発したブラキエーションロボットの外観を図1に示す．

ブラキエーションロボットは，

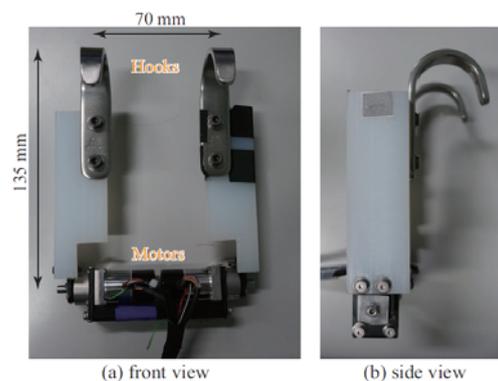


図1 開発したブラキエーションロボット

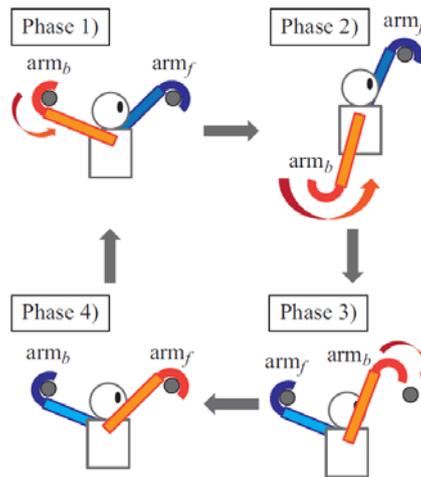


図2 基本動作

1. 2つの小型高出力サーボモータ
2. 2つの手先フック
3. これらをつなぐ腕に相当するリンク

から構成されている．

2つのサーボモータの回転軸は同一直線状となるようにリンクでつながれている．サーボモータの回転軸に腕に相当するリンクが設置されており，リンク手先にフックを取り付けた．

ブラキエーションロボットの手先間距離は70 mm，サーボモータ回転軸から手先先端位置までの距離は135 mm，質量は約330 gである．

(2) 基本動作と動作アルゴリズム

振り子運動を基本動作として，移動方法およびロボットの動作手法を提案した．初期状態は，両フックがバーにかかっているものとし，進行方向に対して前方のリンクおよびフックを“ arm_f ”，後方のリンクおよびフックを“ arm_b ”とした．

ブラキエーション運動を4つのサブタスク動作に分割し，これらを繰り返すことにより，理論的には連続した運動が可能となるように設定した（図2）．

また，開発ロボットに対して剛体振り子モデルを仮定し，その振り子周期を基に，ロボットの各関節角度の時系列軌道を生成した．

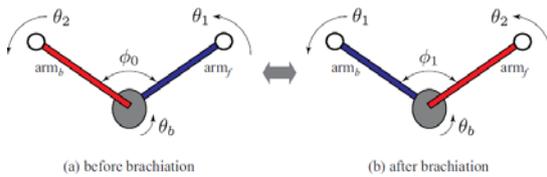


図3 拘束条件

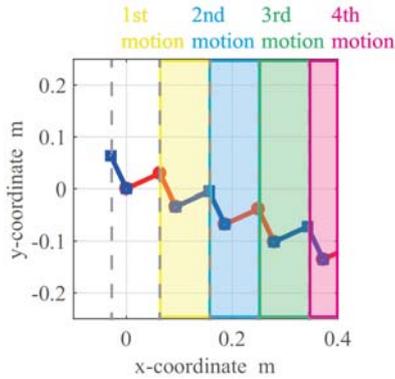


図4 シミュレーション結果

(3) 連続動作を可能にする動作方法

連続動作を実現させるためには、初期姿勢、1回目のブラキエーション後の姿勢、2回目のブラキエーション後の姿勢、…、 i 回目のブラキエーション後の姿勢が同じであることが望ましい。そこで、図3に示す物理的な拘束条件を仮定し、ロボットの各関節角度が満たすべき条件を導出した。

(4) シミュレーション

(2)、(3)の提案手法の妥当性を検証するために、運動学モデルを基にシミュレーションを行った。ロボットの姿勢は上述した関節角度から導出でき、ロボットの位置はリンク長と関節角度から求めることができる。

図4にシミュレーション結果の1例を示す。この結果から、同じ姿勢かつ等間隔にブラキエーションが実現可能であることが確認できる。また、様々な初期姿勢や運動姿勢に対してもシミュレーションを行っており、いずれの場合にもブラキエーション運動が可能であることを確認している。

(5) 実験

① 実験環境

ブラキエーション環境としては、直径30mmのステンレスの丸棒（以下、バーと呼ぶ）を用い、ロボットはバーからもう一方のバーへと移動する。バーとバーの間隔は191mm、バーの横幅は200mmである。バー間の間隔を191mmに設定した理由は、前後のバーをそれぞれのフックで保持している時、リンク同士の角度が約90度となれば、次のブラキエーション動作に入るときの加速度と前のブラキエーション動作時の加速度の相対角度が同じになり、次のブラキエーション動作に前のブラキエーション動作が影響を与えないと考えられるためである。

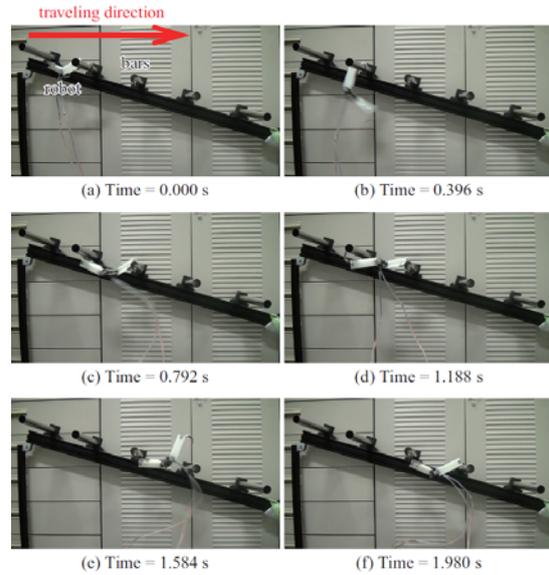


図5 実験結果

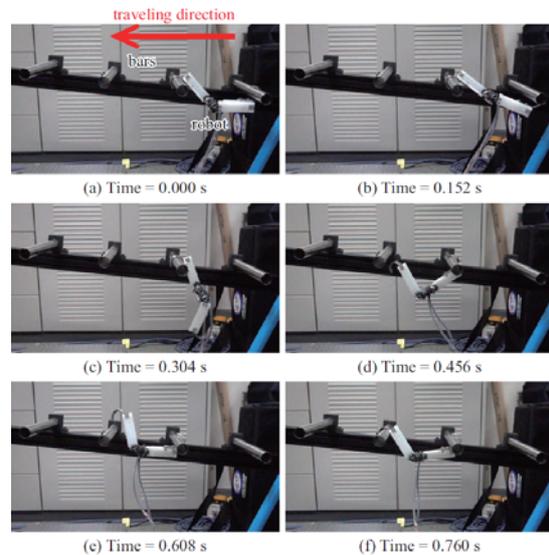


図6 実験結果（上昇するブラキエーション）

② 実験結果

開発したブラキエーションロボット、提案した動作アルゴリズムと構築した実験環境にてブラキエーション運動の実機実験を行った。その結果を図5に示す。

図5の結果から、連続したブラキエーション運動に成功していることがわかる。したがって、開発したブラキエーションロボットと提案した動作アルゴリズムの有効性が確認された。

開発したブラキエーションロボットはブラキエーション運動時において、次のバーを越えるだけのダイナミックな動作が可能であることが分かった。そこで、従来のブラキエーションロボットでは困難とされてきた重力方向に逆らって上昇するブラキエーション運動に挑戦した。その実験結果を図6に示す。なお、ブラキエーションロボットの運動は図5と同じ軌道を用いた。

図6の結果から、上昇するブラキエーション

ン運動にも成功していることが分かる。また、シミュレーションも同様に行っており、提案手法の有効性を確認している。

さらに、部分的ではあるが、実機実験を通して、両フックがバーを把持していない非把持状態でのブラキエーション運動を確認している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

- ① Yuji Yamakawa, Yuki Ataka and Masatoshi Ishikawa: Development of a Brachiation Robot with Hook-shaped End Effectors and Realization of Brachiation Motion with a Simple Strategy, 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, (Qingdao, China, 2016. 12. 4) / Proceedings, pp. 737-742 (2016)
- ② 山川雄司, 安宅佑樹, 石川正俊: ブラキエーションロボットの開発と運動生成 (第2報) -把持機構にフックを用いた動作手法-, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 (パシフィコ横浜, 横浜, 神奈川, 2016. 6. 10) / 講演論文集, 2A2-08a4 (2016)
- ③ 山川雄司, 古山佳和, 石川正俊: ブラキエーションロボットの開発と運動生成 (第1報) -把持機構に電磁石を用いた動作手法-, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 (パシフィコ横浜, 横浜, 神奈川, 2016. 6. 10) / 講演論文集, 2A2-08a3 (2016)

[その他]

ホームページ等

<http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/fusion/Brachiation/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山川 雄司 (Yamakawa, Yuji)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号: 90624940