

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月6日現在

機関番号：13401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22700201

研究課題名（和文） 人間共生環境における倒立二輪型ロボットによる
ダイナミックモーションの模倣研究課題名（英文） Dynamic Motion Imitation of Inverted-Pendulum Mobile Robot in Human
Symbiotic Environment

研究代表者

高橋 泰岳 (TAKAHASHI YASUTAKE)

福井大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：90324798

研究成果の概要（和文）：本研究では人間が特にスポーツする際にみせるダイナミックなモーションを人間共生環境下で活動する倒立二輪型ロボットによって模倣させることを実現することを目的とした。一般に売られているビデオカメラや簡易モーションキャプチャシステム用い、人間の動き情報を適切にロボットの動き情報にマッピングし、さらにロボットに適した動作を獲得するために試行錯誤による自律的行動学習を通して、当該ロボットによる模倣が可能であることをシミュレーションによって示した。

研究成果の概要（英文）：This research aims to realize imitation of dynamic motion that a human player shows in sports by an inverted-pendulum mobile robot in a human symbiotic environment. An inverted-pendulum mobile robot observes human demonstration with a video camera or a simple motion capture system and estimates the posture of each human links. It maps the links to its own two links and estimates link posture trajectories during the motion. The robot starts learning kicking to fit the motion to itself for the imitation. Learning performance from observation is investigated with computational simulations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボット・模倣・倒立二輪型ロボット

1. 研究開始当初の背景

(1) 人間共生環境下で活動するために開発されているロボットの多くは、安全性と確実性を高めるために、転倒を防ぐために重心を下方に置いた3輪以上の重量のある移動プラットフォームの上に、比較的軽量だがサーボモーターで駆動する上半身とアームを搭載している。確実に動作はするが、その動きは緩慢

であり、そのロボットがタスクを完了するのをユーザは大きな忍耐力を持って見守ってやる必要がある。この状況では汎用型移動ロボットが一般家庭に普及するとは考えづらい。

(2) 近年 Segway 社による電動立ち乗り二輪車をはじめ、トヨタによる二輪立ち乗り式移

動支援ロボット、ホンダの電動式一輪車などが発表され、倒立型の移動ロボットであっても十分安定して移動でき、かつ従来の移動ロボットと異なり、地面への投射面積を十分小さくすることで人間と同程度の必要スペースで活動できるロボットが現実味を帯びてきている。

(3) 例えば、ものを投げる、投げられたものを受け取る、ジャンプする、階段を上る/降りる、などの動作は静的不安定な倒立二輪型ロボットには非常に難しい。対象オブジェクトや環境の変動に適応しながらこれらの動作を実現するにはモデルベースの制御機構を人間が一つ一つ設計・実装するよりも、強化学習をはじめとする環境との相互作用を通し学習していくシステムが望ましい。申請者らは本研究のキックオフ研究として、倒立二輪型ロボットによる機械学習の一手法である方策勾配法を用いた投球動作の学習過程について調べた。しかし、探索空間が大きい上に安定性を保証できる解空間が非常に小さく、ロボットの試行錯誤のみで現実的な時間内に安定したダイナミックな動作の学習は難しいことがわかった。

2. 研究の目的

(1) 本研究では倒立二輪型移動ロボットが人間共生環境下で人間の行動を模倣することでより効率的にダイナミックモーションを獲得できることを示すことを目標とした。

(2) 人間と倒立二輪型ロボットでは体の構造やダイナミクスが異なるため、人間の動き情報からロボットの各リンクの姿勢角データに適切に変換し、さらにロボット自身の試行錯誤を通して最適な運動を模倣学習する必要がある。

(3) 身体構造やダイナミクスが違う人間の動きをロボットが模倣することがどの程度有用であるのかをまず明らかにする。

(4) 人間の身体の動きをロボットのリンクにマッピングしたときに、マッピングの仕方が模倣学習にどのように影響があるのかを調査し、ロボットの模倣学習にとってより良いマッピングを探索する方法を開発することを目指す。

3. 研究の方法

(1) シミュレーション上で胴体・アーム搭載倒立二輪型移動ロボットを開発し、ダイナミックモーションの一つである蹴球動作を強化学習の方策勾配法を用いて獲得させ、学習過程の挙動を確認した。

(2) 模倣するためには人間の動作を認識する必要があるが、より自然な条件で認識させるため、カメラ映像をリアルタイムに処理する画像処理システムおよびロボットが模倣するための人間のリンクからロボットのリンクへのマッピングと姿勢角推定システムを構築した。

(3) (2)で得られる人間の蹴球動作中の姿勢角系列をもとに倒立二輪型移動ロボットによる蹴球動作の模倣学習を行った。

(4) (2)で行う人間のボディリンクからロボットのリンクへのマッピングのパラメータが模倣学習にどのように影響があるのかを調査し、自律的にマッピングパラメータを学習する手法を開発した。

(5) 近年安価で手に入るようになった簡易モーションキャプチャシステムを使い、人間のリンクの姿勢角時系列データを取得し、(2)と同様にロボットへのリンクへマッピングし、模倣学習するシステムを構築した。

(6) (4)と同様に(5)で得られるマッピングが模倣学習に与える影響を調査した。

4. 研究成果

(1) H22年度では実現的かつ簡便に模倣学習を行うために、呈示者に何も装着せず動作抽出できる背景差分とフレーム間差分を用いることで呈示者の負担を軽減し、人間の動作を比較的簡便かつロバストな手法で抽出し、適切にロボット自身のリンクにマッピングすることで目標姿勢角を推定し、行動学習の初期値として利用する手法を提案した。図1に模倣学習の流れを示す。

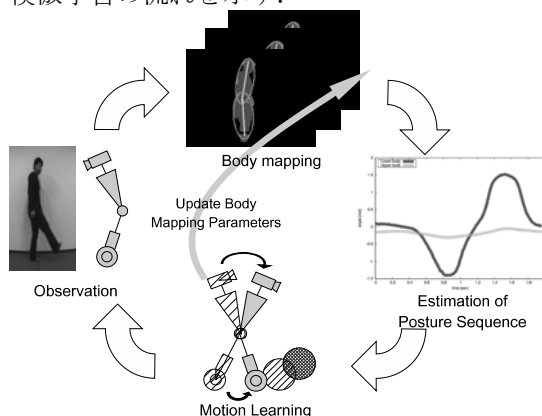


図 1 カメラを使った模倣学習の流れ

(2) 提案手法で蹴球動作を模倣学習した結果、設計者が手動で学習の初期パラメータを調整したときに比べ、人間の動きを観察し、これ

を学習書既知として利用して模倣学習することで学習後の蹴球動作の評価値の方が有意に高く、模倣学習が有効であることを示した。図2に学習中の蹴球動作の評価値の遷移を示す。

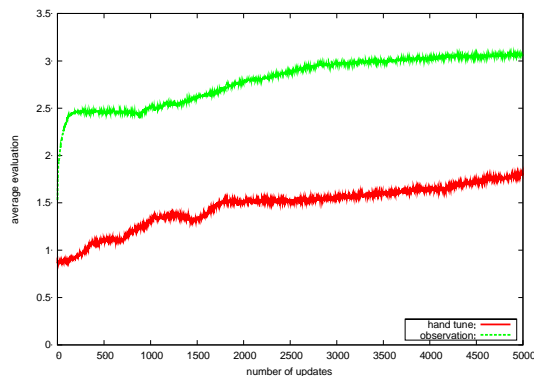


図 2 学習中の蹴球動作評価値の遷移

(3) 動作認識において人間の写っている領域をロボットの上半身にマップし、得られた各リンクの姿勢角の軌道から蹴球動作模倣のための初期値を得る。マッピングパラメータによって模倣学習の初期値が異なり、方策勾配法で得られる学習結果が異なることを確認した。より良い動作を学習するため、マッピングパラメータを学習動作の性能に基づいて勾配法で更新する手法を提案した。図3にマッピングパラメータを変化させたときの学習行動の評価値を示す。

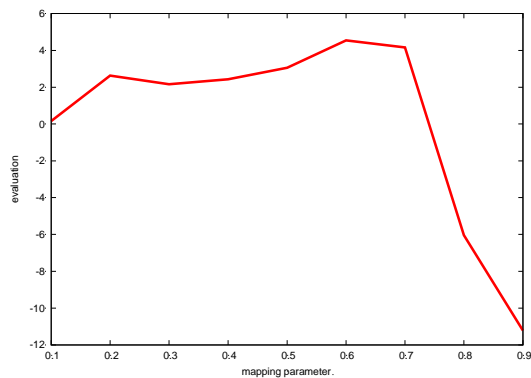


図 3 マッピングパラメータを変化させたときの学習行動の評価値

以上の詳細については5. 主な発表論文等の雑誌論文①を参照して欲しい。

(4) H23年度では人間動作の認識をマーカやセンサ類を装着せずに距離と画像を同時に取得できる簡易モーションキャプチャを用い、呈示者の関節座標を取得し、呈示者の体の各リンクを2リンクの倒立二輪型移動ロボットの各リンクにマッピングし、模倣動作の目標姿勢角を推定する手法を提案した。各関節リンクの姿勢角時系列データが似ている度合いでクラスタリングを行い、倒立二輪型移動ロボ

ットの模倣に適した身体部位マッピングを行った。身体部位マッピングを行ったリンクの目標姿勢角時系列の初期値を求め、これをもとに模倣学習を行った。図4に模倣学習の流れを示す。基本的には図1と同じであるが、入力がカメラ画像から簡易モーションキャプチャシステムになり、より詳細な人間のリンク姿勢角を推定できる。

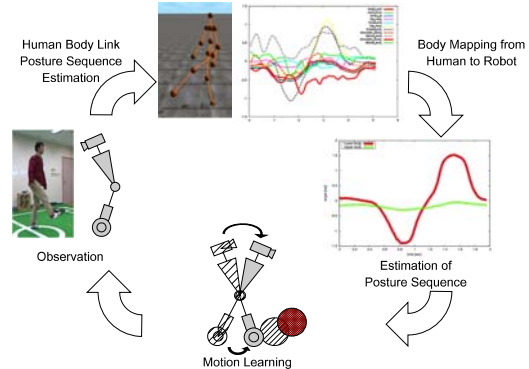


図 4 簡易モーションキャプチャシステムを用いた模倣学習の流れ

(5) 人間の11個のリンクの姿勢角を倒立二輪型移動ロボットの上半身と下半身の二つのリンクにマップするために、姿勢角の時系列データの距離を基準に上半身、下半身、その他に分類する手法を提案し、分類のパラメータを変化させたときの模倣学習している行動の評価値を調査した(図6)。この結果によれば、人間の11のリンクを大まかに分類して上下半身に分類した場合、模倣学習はすぐに収束の様子を見せるが、学習した蹴球動作はそれほど高い評価を得られない。一方で細かく分類して上下半身に分類した場合は学習が不安定になるものの、学習後の蹴球動作は評価が高いことがわかった。適切な分類を行えば、学習初期の評価が低いが、比較的安定した学習を行い、学習後も蹴球動作の評価は高いことがわかった。

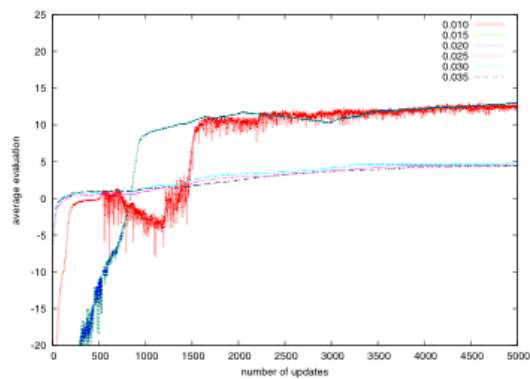


図 6 上下半身への分類の仕方による模倣学習曲線

(6)実ロボットでの実験へ向けて倒立二輪型台車を制作した。また、より人間動作の模倣を行いやすいように、小型ヒューマノイドロボットを導入し、その制御器を構築した。現在、これを組み合わせて実ロボットでダイナミックな運動を模倣学習できるよう、全体のシステムを構築中である。

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)

〔雑誌論文〕(計1件)

① Sataya TAKAHASHI, Yasutake TAKAHASHI, Yoichiro MAEDA, Takayuki NAKAMURA, Kicking Motion Imitation of Inverted-Pendulum Mobile Robot and Development of Body Mapping from Human Demonstrator, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, Vol.15, No.8, pp.1030-1038

〔学会発表〕(計7件)

① Yasutake TAKAHASHI, Tatsuya KIMURA, Yoichiro MAEDA, and Takayuki NAKAMURA, Body Mapping from Human Demonstrator to Inverted-Pendulum Mobile Robot for Learning from Observation, 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence, 査読有, 2012年6月12日, International Conference Center, Brisbane, Australia

② 高橋 佐多弥, 木村 竜也, 野々下 博昭, 高橋 泰岳, 前田 陽一郎, 中村 恭之, 倒立二輪型移動ロボットによる人間の動的動作模倣のための身体部位マッピング, 第27回フuzzyシステムシンポジウム, 2011年9月13日, 福井大学(福井県)

③ Sataya Takahashi, Yasutake TAKAHASHI, Yoichiro Maeda, Takayuki NAKAMURA, Development of Body Mapping from Human Demonstrator to Inverted-Pendulum Mobile Robot for Imitation, 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2011年6月29日, Grand Hyatt Taipei, Taipei, Taiwan

④ 高橋 佐多弥, 高橋 泰岳, 前田陽一郎, 中村恭之, 倒立二輪型移動ロボットによる人間の動的動作模倣のための身体部位マッピング, 2011年度人工知能学会全国大会(第25回)JSAI2011, 2011年6月3日, アイーナ いわて県民情報交流センター(岩手県)

⑤ Sataya Takahashi, Hiroaki Nonoshita, Yasutake Takahashi, Yoichiro Maeda and Takayuki Nakamura, Inverted-Pendulum Mobile Robot Motion Learning from Human Player Observation, Joint 5th

International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2010年12月9日, 岡山コンベンションセンター(岡山県)

⑥ 野々下 博昭, 高橋 泰岳, 中村 恭之, 前田 陽一郎, 方策勾配法を用いた倒立振り子型移動ロボットの蹴球動作学習, 第28回日本ロボット学会学術講演会, 2010年9月22日, 名古屋工業大学(愛知県)

⑦ Yasutake Takahashi, Hiroaki Nonoshita, Takayuki Nakamura, Yoichiro Maeda, Behavioral Development of Ball Kicking Motion of a Two-wheeled Inverted Pendulum Mobile Robot, 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence, 2010年7月19日, Centre de Convencions Internacional de Barcelona, Spain

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 泰岳 (TAKAHASHI YASUTAKE)
福井大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号: 90324798