

階段昇降機能を持つ4脚車輪車いす

赤見坂 篤記[†] 長尾 確[‡]

名古屋大学 大学院情報学研究科^{†‡}

1. はじめに

車いすは足腰が不自由な人々にとって重要な移動手段である。しかし、車いすは移動に車輪を使用するため、階段のような、車輪では移動が難しい経路を移動することはできない。この解決策としてクローラ機構を採り入れるという方法がある。クローラ機構は車輪よりも地面との接地領域を広くすることで不整地における移動を実現しており、直線的な階段であれば対応可能である。しかし、螺旋階段のように内側と外側で踏面の長さが異なる場合は、内側と外側でクローラの設置角度と回転速度を変える必要があるため走行が難しくなる。近年、4脚ロボットの技術は大きく発展している。4脚ロボットであれば螺旋階段のような環境でも移動することができる。そこで、車いすに4脚機構を採り入れた4脚車輪車いすを提案し、4脚車輪車いすの実現性を検証する。第一段階として階段昇降機能の実現を目指し、第二段階として螺旋階段の昇降を目指す。今回は第一段階の実験に取り組んだ。

2. 4脚車輪車いす

近年、様々な4脚ロボットが登場している[1]。更に、4脚機構と車輪機構を組み合わせた4脚車輪ロボット[2,3]も登場しており、不整地と平地における両方の移動性の高さを兼ね備えることが可能となりつつある。本研究では、4脚車輪ロボットに注目し、車いすと合体させた4脚車輪車いすを提案する。シミュレーション実験に向けて設計した4脚車輪車いすの構成を図1に示す。

各脚には5つの自由度があり、内訳は歩行移動で使用する3つの関節と、車輪移動で使用する1つの関節および1つの車輪となっている。車輪は全て駆動輪で各脚の膝に固定されている。車輪の向きは変更可能で、前後移動の他、左右への平行移動や、その場回転も可能な構造である。椅子には座席位置と向きの変更、リクライニングのための可動性を実現した。これは、歩行環境に応じて搭乗者の重心位置を調節可能にするためである。

また、外界を計測するためのセンサとして、左右に半球型の3D LiDARを、胴体にIMUを、各脚先に力覚センサを設置した。

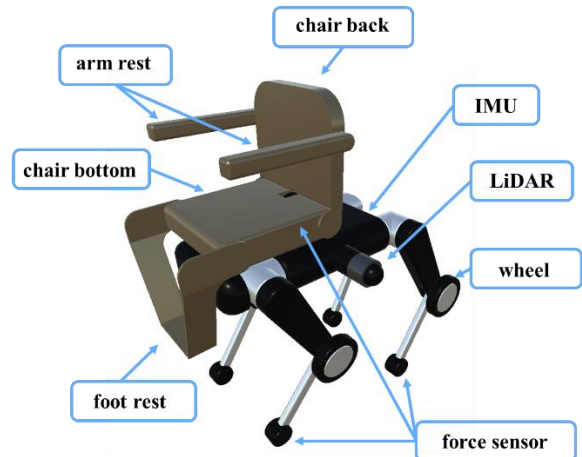


図1 4脚車輪車いすの構成

3. 制御および強化学習モデル

4脚車輪車いすの脚の制御および強化学習モデルについて説明する。4脚ロボットの脚の制御方法には一般にルールベース、学習ベース、ルールベースと学習ベースを組み合わせたハイブリッドの3種類がある。ルールベース手法では脚先位置の軌道を人手により調節するため、膨大な人的および時間的コストが掛かる。学習ベース手法では脚先位置の軌道を強化学習により自動で獲得するためコストは少ないが必ずしも望ましい動作を獲得できる保証はない。そこで使用されるのがハイブリッド手法である。この手法では大まかな軌道を人手で決定し、細かな微調整を強化学習で行う。この手法はPMTG (Policies Modulating Trajectory Generators) [4]と呼ばれる。本研究ではPMTGを使用する。

図2に4脚車輪車いすの制御および強化学習モデルの概要を示す。図中の左に記載されて機構がPMTGである。PMTGは軌道生成器 (Trajectory Generator: TG) と方策ネットワーク (Policy Network: PN) で構成される。方策ネットワークはTGの一部のパラメータと出力に加算する値を最適化することで最適な動作を獲得する。計算された軌道は逆運動学を用いて4脚車輪車いすの各脚の目標関節角度へと変換される。また、4脚車輪車いすから方策ネットワークへは、4脚歩行に関与する12個の関節角度と、左右のLiDAR、胴体のIMU、各脚先の力センサからの計測値がそのまま入力される。

Four-Legged Wheelchair with Up-and-Down Stairway Function
[†] AKAMISAKA, Atsuki (akamisaka@nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp)

[‡] NAGAO, Katashi (nagao@i.nagoya-u.ac.jp)

^{†‡} Graduate School of Informatics, Nagoya University

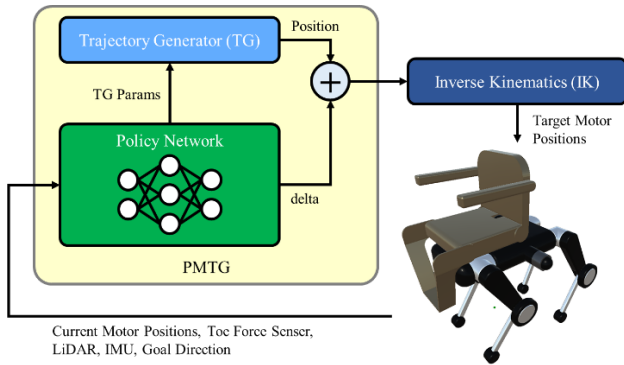


図2 制御および強化学習モデル

4. シミュレーション実験

人型の 3D モデルを乗せた 4 脚車輪車いすと階段を配置したシミュレーション環境を Unity[5]上に構築したシミュレータ内に作成し、MLAgents[6]と呼ばれる Unity 向けの強化学習ツールで強化学習を実施した。

階段昇降において同じ椅子の姿勢で歩行することは難いため、階段に 4 脚車輪車いすを配置したときにバランスを崩さないよう、上りと下りにおける椅子の姿勢をそれぞれ調節した（図3）。

強化学習実験では、初めから大きな蹴上の階段昇降を学習することは難いため、カリキュラム学習[7]により学習の方向性を導く方法を採用した。具体的には、蹴上の高さ与人形の質量を最初は小さく、学習が進むにつれて、蹴上は最大 10cm、人形の質量は最大 50kg の範囲で増加した。

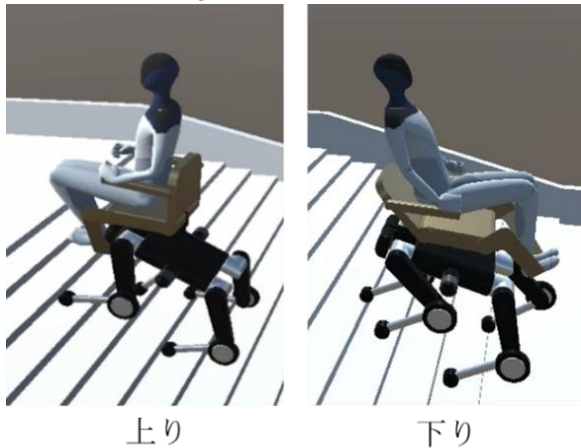


図3 上りと下りの姿勢

5. 実験結果

階段の昇りと降りモデルを分けて学習を実施したときの報酬グラフを図4に示す。グラフは横軸がステップ数、縦軸が 1 エピソードで得られた報酬である。学習は 1500 万ステップ実施した。

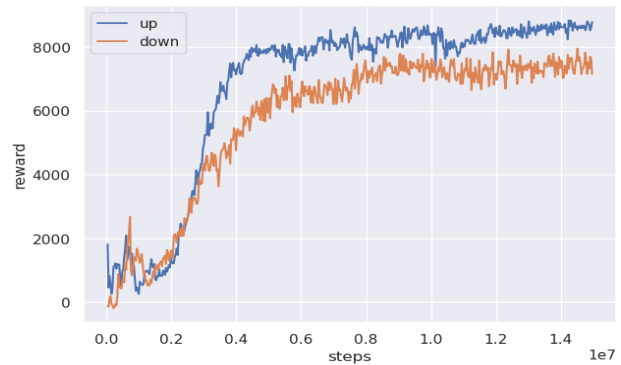


図4 報酬グラフ

青色のグラフは階段を上る動作の学習における報酬遷移を、赤色のグラフは階段を下る動作の学習における報酬遷移を表す。

また、学習が終了した状態の各学習モデルを用いて、階段の昇降タスクの成功率を調査したところ、階段の上りは 0.902、下りは 0.762 となった。更に学習を継続すれば成功率が上昇する可能性がある。

6. まとめと今後の課題

本研究では、4 脚車輪車いすを提案し階段昇降の実験を行った。階段の歩行はカリキュラム学習を用いて徐々に蹴上の高さを高くすることで実現できることが確認できた。より現実的な蹴上に設定した場合でも、カリキュラム学習の延長線として実現できる。今回の実験の課題として、まだ螺旋階段における上り下りが実現できていないこと、人型モデルは車いすに完全に固定されていること、人型モデルが人間の質量分布などを正確に反映していないことが挙げられる。したがって、今後はより高精度に人間を再現したモデルを用いて螺旋階段の昇降を含む実験が必要になる。

参考文献

- [1] Boston Dynamics. “Spot.” <https://www.bostondynamics.com/products/spot>
- [2] Wujing Li, Linchao Wei, and Xiaochen Zhang. “A Wheels-on-Knees Quadruped Assistive Robot to Carry Loads.” *Applied Sciences*, 2022.
- [3] Marko Bjelonic, Prajish K. Sankar, C. Dario Bellicoso, Heike Vallery, and Marco Hutter. “Rolling in the Deep - Hybrid Locomotion for Wheeled-Legged Robots Using Online Trajectory Optimization.” *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2020.
- [4] Atıl İscen, Ken Caluwaerts, Jie Tan, Tingnan Zhang, Erwin Coumans, Vikas Sindhwani, and Vincent Vanhoucke. “Policies Modulating Trajectory Generators.” in *Proc. CoRL*, 2018.
- [5] Unity. “ROBOTICS SIMULATION.” <https://unity.com/solutions/automotive-transportation-manufacturing/robotics>.
- [6] Arthur Juliani, Vincent-Pierre Berges, Ervin Teng, Andrew Cohen, Jonathan Harper, Chris Elion, Chris Goy, Yuan Gao, Hunter Henry, Marwan Mattar, and Danny Lange. “Unity: A general platform for intelligent agents.” *arXiv*, 2020.
- [7] Yoshua Bengio, Jérôme Louradour, Ronan Collobert, and Weston, Jason. “Curriculum Learning.” in *Proc. ICML*, 2009.