



Title	Generative locomotion models to understand and realize robot locomotion with a unified probabilistic perspective
Author(s)	Hwang, Yoon-Kyu
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/92938
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (HWANG YOON-KYU)	
Title	Generative locomotion models to understand and realize robot locomotion with a unified probabilistic perspective (ロボットロコモーションの理解と実現のための統一された確率的観点に基づく生成的ロコモーションモデル)
Generative models describe mechanisms that data is generated. In recent decade, the generative modeling in machine learning have advanced dramatically. By exploiting universal model basis (such as deep neural networks) and massive datasets (or simulators cheap to execute), many applications that are automated in end-to-end fashion competitively have encouraged and accelerated one to generate interesting samples such as images, documents, musics, graphs, or character animations. On the other hand, our understanding on the principles or reasons behind the impressive generation results is not yet enough elaborated. Probabilistic perspective has been considered as a unified tool to formulate, learn, and understand recent modern generative models. Especially, prior information is an important clue to calculate and update probability in Bayesian inference. In this thesis, we focused on curating, reflecting, and validating the diverse types, levels, and amounts of prior information, with the special focus on the robot locomotion generation problems. First, we provided a unified probabilistic perspective by comparing priors existing in the representative probabilistic models, from regularization, Bayesian, and evolutionary views. Also, to further deepen understanding the probabilistic models, we proposed a new systematical interpretation of generative models called as balanced variational closed loop. Second, we proposed a method to integrate multiple pieces of prior information. The prior on simple, linear dynamical systems was integrated with flexible, non-linear data-driven machines. We call the moderate integration as a soft prior, and the multiple soft priors were further aggregated in the probabilistic chains that we call distributed knowledge chains. For the robot locomotion test generation, we analyzed the effects of the diverse prior combination reflected in the proposed generative locomotion models. Third, we proposed a method to reflect spectral and spatial priors existing in a class of articulated mobile robots. Dedicated data transformation and arrangement was proposed to encode the priors. Hierarchically connected recurrent networks were proposed and trained with sequential variational inference on the transformed data distribution. The trained models were utilized to sample the desired robot locomotion via the disentangled latent representations. Fourth, we proposed an efficient deep locomotion model to reflect infinitely wide priors on deep neural networks. After providing a comprehensive comparison with other generative models so far, we presented a practical application of the efficient deep locomotion models to distill locomotions by real quadruped robot.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (HWANG YOON-KYU)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	石川 将人
	副 査	教授	東森 充
	副 査	教授	佐藤 訓志

論文審査の結果の要旨

本論文は、ロボットのロコモーション（移動）について、機械学習で用いられる生成モデルの方法によって捉えるにあたり、対象についての事前知識を確率的な観点から導入するアプローチを提案するものである。

近年、機械学習における生成モデルの方法は劇的に進歩しており、汎用的なモデル（深層ニューラルネットワークなど）と膨大なデータセット（あるいは低コストで実行できるシミュレータ）を利用することで、さまざまなアプリケーションにおいて成功を収めている。その一方で、生成結果の背後にある原理の理解や説明については、まだ十分に精緻化されているとはいえない。このような背景の中で、本論文は、特にロボットのロコモーションにおける運動生成の問題を題材とし、ロコモーション特有の事前知識を効率的に取り込む方法を提案している。

本論文では、まず第一に、代表的な確率モデルにおける事前情報を比較し、統一的な確率論的視点を提供している。また、確率モデルの構造を制御理論的観点から捉えるために、生成モデルの新しい体系的解釈である Balanced Variational Closed Loop と呼ぶ枠組みを提案している。

第二に、事前情報が線形動的システムの形で得られた場合に、非線形なデータ駆動型プロセスと適切に統合する方法を提案し、これを Soft Prior と名付けている。さらに、複数の Soft Prior が得られているときに、これを確率モデルの連鎖の形に集約する Distributed Knowledge Chain と呼ぶ方法を提案している。この提案法をロボットの運動生成に適用し、さまざまな事前分布の組み合わせが運動生成モデルにどのように反映されるかを解析している。

第三に、ヘビ型のような多関節移動ロボットのクラスで想定される事前知識、すなわち運動の周期性・伝播性の知識に基づく事前分布を反映する方法を提案している。対象の構造をもとにして階層的なリカレントネットワークを構成し、事前知識に基づいて処理されたデータの分布を逐次変分推論を用いて学習することにより、latent 変数（潜在変数）から所望のロボット運動を生成するモデルの構築に成功している。

第四に、深層ニューラルネットワークとガウス過程回帰の組み合わせによるアプローチを用い、無限の幅を有する事前分布を反映させるための効率的な深層ロコモーションモデルを提案している。提案法と従来の生成モデルとの比較を行ったのち、実際の四脚歩行ロボットのデータに基づく運動抽出へと適用している。

以上のように、本論文はロボットロコモーションのための生成的モデルの構築について、事前知識・情報を確率的観点からシステムティックに与えること提案した、学術的に意義深い論文であり、博士論文として価値あるものと認める。