

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	生物規範と情報理論規範の混成による適応的匂い源探索行動のモデル化
Title(English)	Modeling adaptive olfactory searches by a hybrid framework based on bio-mimetic and information-theoretic methods
著者(和文)	HernandezReyes Cesar Augusto
Author(English)	Cesar Hernandez Reyes
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12079号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:倉林 大輔,蜂屋 弘之,中島 求,塚越 秀行,中尾 裕也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12079号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	システム制御 システム制御	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of (工学)
学生氏名： Student's Name	Hernandez Reyes Cesar Augusto		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	倉林 大輔
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	

要旨（和文2000字程度）
Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「Modeling adaptive olfactory searches by a hybrid framework based on bio-mimetic and information-theoretic methods」(生物規範と情報理論規範の混成による適応的匂い源探索行動のモデル化)と題し、全7章より構成されている。

第1章「Introduction」では、本論文の研究背景および目的について述べている。化学感覚に基づく匂い源探索問題は、危険物検出・災害時探索・火災発見などに有用である一方、自律型ロボットによるリアルタイムの解決が難しい問題であることを述べている。その上で、本論文では普遍的に匂い源探索能力を持つ生物に注目するとともに、自律ロボットによる匂い源探索のために汎用性の高い情報理論の視点を取り入れ、情報理論規範のアルゴリズムとの統合を図ることで適応的な匂い源探索アルゴリズム実現に貢献することが目的であるとしている。

第2章「Related work」では、従前の匂い源探索研究の主要な流れについて、探索行動モデルと匂い拡散モデルの双方からまとめると共に、本論文で導入するモデル生物であるカイコガBombyx Moriの基礎的な知見、情報エントロピー、マルコフ決定過程、逆強化学習などの情報数理的ツールについてその概要を解説している。

第3章「Problem statement」では、本論文の具体的な実施内容について規定している。すなわち、モデル生物の行動を情報論的指標で計量可能とし、逆強化学習を用いたモデル化によってその行動方をモデル化すること、次いでモデル生物の行動を情報論的最適化の観点から解析し、適応的な行動戦略モデルを明らかにすること、最後に効率的な匂い源探索アルゴリズムを実現する適応的な行動戦略統合の枠組みを示し、従前手法との比較によってその優位点を明らかにすること、が本論文の到達目標であると述べている。

第4章「Modeling animal behavior through estimation of rewards via IRL」では、逆強化学習を用いてモデル生物の行動戦略を情報論的指標で計量する手法を構築している。従前の生物規範アルゴリズムでは、生物が発揮した行動出力自体を参照しているのに対し、本論文では最大エントロピー逆強化学習を用いて報酬関数系を推定することで、行動生起の源となる情報論的枠組みにモデル生物を収めることに成功している。このために、仮想環境計測系を用いたモデル生物の行動計測および適切な状態分割の策定によるモデル生物行動のマルコフ決定過程表現を行うとともに、生成された報酬関数系に基づいて生起される行動がモデル生物の行動を十分に評価できていることを情報量差分で確認している。

第5章「Modeling multi-modal behavior by information entropy analysis」では、モデル生物が発揮する匂い源探索行動が、匂い源位置に関する情報エントロピー減少とどのような関連を持つかについて解析し、モデル生物が性質の異なる行動戦略を適応的に切り替えて用いている可能性を見出した。

第6章「Hybrid algorithms to bridge multiple search modes」では、第5章の知見に基づいて生物規範型の反射定型行動と情報理論規範の情報エントロピー最小化行動を状況依存的に切り替えるアルゴリズムを構築し、その有効性を検証している。始めに、情報エントロピー減少量の推定に基づくアルゴリズム切り替え手法を提案し、実機ロボットを用いた検証実験を介してその有効性を検証した。一方、匂いの知覚誤差やロボットサイズなど事前情報が現実をうまく表現していないと、情報エントロピー減少量の推定に誤差が大きくなり探索効率が下がってしまう。そこでBurstinessと呼ばれる、一定時間当たり匂い情報受容

頻度の平均と分散を用いた指標を用いて行動戦略を切り替える手法を新たに提案した。シミュレーションによる検証の結果、センサノイズやロボットサイズの変動に対して提案手法が頑健な性能を維持することを示した。

第7章「Discussions and conclusions」では、本論文の主要な成果をまとめ、今後の発展について考察している。

以上を要するに、本論文は生物が持つ化学感覚に基づく探索行動について、定型的・記号的な理解から脱して情報理論的な面から定量的・状況適応的モデル化を行い、さらに情報理論規範の行動戦略と統合することで新たなアルゴリズム構築に至らしめ、自律型移動ロボットによる匂い源探索性能の向上に貢献したものである。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース : システム制御 系
Department of, システム制御
Graduate major in システム制御 コース

申請学位 (専攻分 博士
野) : Doctor of (工学)
Academic Degree
Requested

学生氏名 : Hernandez Reyes
Student's Name Cesar Augusto

指導教員 (主) : 倉林 大輔
Academic Supervisor(main)

指導教員 (副) :
Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文300語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis investigates the broad problem of odor source localization (OSL). In the event of a natural disaster, a robot that can track and find the source of dangerous chemicals is desirable. However, OSL is difficult to implement in robots due to turbulent dispersion of chemicals. Therefore, this research investigates the natural OSL behavior of insects, such as the model organism of this thesis, the male silk moth *Bombyx mori*. Furthermore, we analyze such animal behaviors from the viewpoint of information theory. In addition, we devised strategies to combine bio-mimetic and information-theoretic methods, thus achieving more adaptive OSL algorithms.

Chapter 1 describes the broad problem in the field of research and the main contributions of this thesis. Chapter 2 describes related previous studies and introduces the main concepts studied throughout the thesis. Chapter 3 describes the scope of specific problems, their importance, and success criteria.

Chapter 4 describes the modeling of animal behavior by estimating their reward function via inverse reinforcement learning (IRL). We demonstrated that the reconstruction of silk moth behavior by IRL was more effective than a benchmark model. Furthermore, we verified that IRL generated trajectories that were statistically more similar to those of actual moths.

Chapter 5 investigates modeling of a multi-modal olfactory behavior based on analysis of information entropy. Here, we found that silk moths employ two different modes of behavior related to the gain of information about the source location.

Chapter 6 demonstrates strategies to combine two types of behavior policies to achieve efficient olfactory searches in various environments. We demonstrated by experiments in simulations and an actual robot that hybrid strategies resulted in higher success rates than single algorithms.

Finally, chapter 7 discusses the main findings of this thesis. Furthermore, it states their impact in the field of research and possible future research lines.

備考 : 論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).