



Title	A hybrid versatile method for state estimation and feature extraction from the trajectory of animal behavior
Author(s)	山崎, 修平
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/73519
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (山 崎 修 平)

論文題名

A hybrid versatile method for state estimation and feature extraction from the trajectory of animal behavior
行動軌跡からの状態推定と特徴抽出のための汎用的解析手法

論文内容の要旨

動物の行動は、脳活動の最終的かつ統合的な出力である。したがって、行動の記録と分析は、根底にある脳機能を理解するために重要である。動物の行動軌跡の記録は小型で安価なビデオカメラやGPSなどの装置の開発により容易になってきている。しかし、記録されたデータからの詳細な行動データ解析は、十分な過去の知見や動物の姿勢のビデオ画像のような高情報量のデータを必要とし、かつ人の手によって行動状態のラベルをつける必要がある。このようなデータ処理を行うことは、マウスやショウジョウバエといった限られたモデル動物の特定の実験環境以外では困難であるため、脳機能を理解するための詳細な行動解析は進んでいない。

そこで本研究では、「軌跡」というシンプルな行動データのみに基づき、効率的に行動状態を推定し、行動の特徴抽出をするための、教師あり/教師なしハイブリッド機械学習を使用したstate estimation and feature extraction (STEFTR)法を開発した。この手法は、状態推定と特徴抽出の2つの部分から構成される。まず状態推定では、動物の行動は複数の状態の組み合わせ（例えば移動や採餌など）により構成され、各行動状態では特定の特徴においてそれぞれ代表的な値をとるとする仮説のもと、その状態を推定することを目指した。まず速度や角度といった基本的な行動特徴を計算し、複数の正規分布の組み合わせと考えられる1つの行動特徴をクラスタリングにより分類した。期待値最大化法 (expectation-maximization algorithm) を用いて、複数のクラスター (正規分布) に分類し、1つのクラスターを1つの行動状態とした。この手法は教師なし学習、すなわち人による行動状態のラベル付けを必要としないので、人の判断による状態分類が困難な微生物や、直接観察が困難な野生動物の行動解析に用いることができる。また2つ目の特徴抽出では、情報利得という指標を用いた。この指標はある1つのパラメータを用いて2条件（例えば学習前と後）の分離を行った際、分離に最適な閾値を網羅的に計算し、その閾値で分けた際に2条件が分離される度合い（エントロピー）を計算する。よって、情報利得を用いることで全てのパラメータを等しく網羅的に評価し、特定の条件に特異的な特徴を抽出することができる。本手法は軌跡のみに基づき行動の状態推定と特徴抽出を行うことができるので、時空間スケールによらずいかなる動物においても汎用的に使用できると考えられる。

開発した解析手法の妥当性を検証するため、実験室内動物として線虫、ハエ、ラット、コウモリの、また野生動物としてはペンギンおよび海鳥の軌跡データを分析した。これらのデータはさまざまな方法で記録され、距離はmm単位から1000 kmまで、また時間は秒以下から数日までといった広範囲の時空間スケールにまたがった多様なデータである。まず行動状態推定のために、線虫の匂い忌避行動およびアデリーペンギンの採餌行動を、期待値最大化法を用いてクラスタリングし、過去の行動状態に関する知見とよく合う行動状態の分離を行うことができることを確認した。また、より長距離移動する海鳥や実験室内で行動するラットの軌跡も複数の行動状態に分離できることを明らかにした。次に情報利得を用いて複数の行動の特徴抽出を行った。まず線虫の匂い忌避行動において、学習前後で変化するパラメータを明らかにし、生理学および遺伝学的実験から、抽出された行動の特徴が特定の神経活動または遺伝子活動を反映していることを明らかにした。さらにハエのメス追跡行動の特徴抽出を行い、時系列変化するパラメータの同定をすることができた。

以上のように、STEFTR法は単純な軌跡データから行動状態推定と特徴抽出を行い、行動状態の遷移が起こる場所を推定することを可能にする。行動状態の変化は特定の刺激（例えば餌など）や内部状態の変化（例えば空腹など）を反映していると考えられるので、動物行動の解析の際に重点的に解析すべき位置や脳活動の変化に関し、重要な手がかりを得ることができる。さらに、軌跡データのみを用いて解析を行うことができるという利点から、動物行動に限らず単細胞生物や分子の運動から自動車の移動軌跡などといったモノの軌跡解析まで幅広く応用することができる。と期待される。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (山崎 修平)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教授	志賀 向子
	副 査	教授	上田 昌宏
	副 査	教授	木村 幸太郎 (名古屋市立大学)
論文審査の結果の要旨 動物の行動は、脳内神経活動が統合された結果として出力される。このため行動の正確な記録と分析は、脳機能を理解する基礎として重要である。これまで動物の行動分析には、過去の知見やそれに基づいて記録した大量のデータを必要とし、膨大な時間と労力が必要であるという問題があった。本論文「A hybrid versatile method for state estimation and feature extraction from the trajectory of animal behavior」は、動物の軌跡というシンプルなデータのみを使い、効率的に行動状態を推定し、行動の特徴を抽出するため、機械学習を使用した state estimation and feature extraction (STEFTR)法を開発し、様々な動物に適用できることを示したものである。 この手法は、状態推定と特徴抽出の 2 つの部分からなる。状態推定のためには、分布を複数の正規分布の組み合わせとしてクラスタリングする期待値最大化法を用い、一つのクラスターを 1 つの行動状態とした。ここでは、その行動状態が何であるかのラベル付けを必要としない。また特徴抽出の指標として、Info gain を用いることにより、あらゆる行動パラメータを等しく網羅的に評価することができる。STEFTR 法を用いて、これまでに記録されている様々な動物行動データの解析を行い、既知の解析結果と照らし合わせた。実験動物としてセンチュウ、ハエ、ラット、コウモリ、野生動物ではペンギンおよびオオミズナギドリの軌跡データが分析された。その結果、実験動物、野生動物ともに STEFTR 法が有効であり、過去の知見とほぼ近い行動状態の分離を行うことができると分かった。また、センチュウの生理学的および遺伝学的実験から、本法により抽出された行動の特徴が特定の神経活動または遺伝子機能に反映されうることを見事に示した。 このように、本論文は、動物行動の解析において、客観的かつ効率的に着目すべき行動形質を抽出し、動物の外的および内的変化の結果起こる行動変化の特徴抽出が可能であること、それに対応した脳機能の解析の重要な手がかりを得ることを示した。これより、この成果は、神経科学、神経行動学研究に大きく寄与すると期待される。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。			