

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00316

研究課題名(和文) 普遍的性質の発見による汎化能力の獲得と学習による状態行動空間の分化

研究課題名(英文) Generalization using properties of the real world and autonomous division of state-action space

研究代表者

伊藤 一之 (ITO, Kazuyuki)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：90346411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「汎化機能を実現しているものは、学習により得られる内部モデルではなく、実世界に最初から存在している普遍的性質である」との仮説をたて、この「実世界の普遍的性質を利用した適応的な振る舞いの生成」ならびに、「学習により状態・行動空間を分化させ、振る舞いの精度を向上させてゆく新しい学習の枠組み」について検討した。

前者は、生物の生得的な適応の仕組みに相当するものであり、主にロボットの身体の柔軟性を用いて実現する方法を提案した。また、後者の後得的な学習は試行錯誤をもとにした教師なし学習により実現した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focus on properties of the real world, and we propose a framework to realize adaptive behavior of a robot using properties of the real world. In addition, we propose a learning algorithm to improve the behavior by dividing the state-action space.

As an example, we develop flexible robots, and an learning algorithm based on trial-and-error.

研究分野：知能ロボット

キーワード：汎化 柔軟性 ソフトロボット

1. 研究開始当初の背景

未知環境において適応的かつ自律的に振る舞うことが可能なロボットを実現することは極めて難しく、くしくも、福島第一原子力発電所の事故処理では、世界最高水準の技術を結集したとしても、ロボットは、遠隔操作によって簡単な作業をこなす程度にしか機能しないことが明らかになった。これは、工場などの既知環境を前提とする従来のロボット技術が未知環境においては有効に機能しないことを示しており、未知環境を前提とした新たな枠組みが求められている。

この問題は、ロボットの持つ限られた知覚能力および計算資源を用いて、複雑な実世界にいかにして対処するかという問題に起因するものであり、学習能力を有するロボットでは特に P1「実時間学習の問題」、P2「汎化能力の欠如の問題」の二つの問題として表面化する。

一般に、複雑な実環境において適応的に振る舞うためには、ロボットには多くの自由度が必要とされる。従って、ロボットの状態および行動を記述するための空間は、組み合わせ爆発により指数的に増加し、この広大な空間において学習を行うためには、膨大な試行回数が必要とされる。しかし、時間的制約により、多数の試行を行わせることは困難であり、実時間で学習を完了させることは事実上不可能である。

また、実環境では、全く同一の状況に再び遭遇することは極めてまれであり、過去の経験をもとに、類似した異なる状況において適切に動作するための汎化能力が必要とされる。汎化能力を持たないロボットは、遭遇する全ての状況を異なる新たな状況と認識してしまうため、学習が進展せず、適切に動作することができない。したがって、未知環境を対象とした場合には、わずかに数十回程度の試行回数で、さまざまな状況に適応可能な汎化された方策を獲得する必要があり、これは、従来の「コンピュータおよびアルゴリズムの改良による高速化」の枠組みでは事実上実現不可能な極めて困難な課題である。

そこで、本研究では、コンピュータによる計算に代わって、環境とロボットの身体との相互作用を利用して汎化を行う枠組みを提案し、この問題の解決を図る。

2. 研究の目的

本研究では、「汎化機能を実現しているものは、学習により得られる内部モデルではなく、実世界に最初から存在している普遍的性質である」との仮説をたて、この「普遍的性質を発見し汎化を実現するためのプロセス」と、「学習により状態・行動空間を分化させ、振る舞いの精度を向上させてゆくプロセス」の2つのプロセスからなる新しい学習の枠組みについて検討する。

提案する新しい学習の枠組みとは、「タスクを達成するために利用可能な実世界の普

遍的な性質を探索する行為」であり、従来の「多数の試行によって環境を同定する行為」とは本質的に異なる。提案する枠組みでは、普遍的な性質の使い方を一度発見すれば、その性質が成り立つ限り、どのような場所においても、たとえそこが初めて訪れる未知の場所であったとしても、既知の環境で振る舞うのと同様に、普遍的な性質を利用してタスクを達成することができる。

例えば、物の硬さは、叩くことにより、その音および振動を用いて、ある程度推定することが可能である。この周波数特性が実世界の普遍的な性質の一例であり、探索により、「叩くことにより硬さが推定できる」という方策が発見されれば、その方策は、未知の様々な対象の硬さを判断する際にもそのまま適用することができる。さらに、様々な叩き方の中から、最も硬さの違いが顕著に表れる叩き方を発見することで、硬さをより高い精度で求めることができるようになる。つまり、提案手法における分化とは、状態空間を統計処理により細分化することではなく、「状態をより高い精度で観測可能とする行動」を探索する行為である。

本研究では、実世界に存在する様々な性質を探索するための身体および学習アルゴリズムの双方について考え、環境に適した身体を実現するための一般的な設計指針を示すとともに、その身体を有効に利用可能な学習アルゴリズムを提案する。

3. 研究の方法

生物は、生態学的ニッチと呼ばれる、ある限られた環境に生息し、進化の過程においてその環境に対して特化した身体を獲得している。そして、その環境に適した身体を用いて周囲を探索することで、環境に存在する様々な性質のなかから、目的のタスクに必要な実世界の性質を探し出すことが可能となり、汎化された方策を、非常に少ない試行回数で獲得できると考えられる。

本研究では、この枠組みに習い、第一段階として、設計者が、ロボットの活動する範囲を解析し、生物の進化に代わって、ロボットの身体を環境の性質が利用できるように設計する。具体的には、多自由度ロボットの自由度をすべて独立な自由度として設計するのではなく、力学的な拘束や、神経系を模した電子回路による拘束、環境との接触による拘束などを付加することで従属な自由度とし、コンピュータが処理しなければならない独立な自由度の数を削減する。

次に、後得的な知能獲得のメカニズムに注目し、動的な状態を観測して有効な振る舞いを探索するアルゴリズムを提案し、これをロボットに搭載する。またこれに加え、観測される状態の違いがより顕著となるように振る舞いを改善してゆくことで、知覚の分化を行い、より高い精度でタスクを実現する分化アルゴリズムを提案する。

4. 研究成果

ロボットの身体設計については、身体の柔軟性を利用することでこれを実現し、パイプや角柱などの柱状物を昇降可能なロボット並びに、凹凸の存在する壁を昇降可能なロボットを実現し、その有用性を確認した。

図1に、シリコンで作られたソフトロボットが木を登る様子を、図2に受動関節により構成された多脚ロボットがパイプと角柱を登る様子を、図3に吸盤を有する多脚ロボットが壁を登る様子を示す。

これら全ての実験において、環境（柱及び壁）の形状は未知であり、制御器は一定の歩容パターンを繰り返しているにすぎない。それにもかかわらず、提案した枠組みにより、環境に合わせた複雑な振る舞いが、環境との相互作用により創発し、これにより未知環境での移動が可能となっており、この結果から、提案した枠組みの有用性を確認することができる。



図1 木を登るソフトロボット

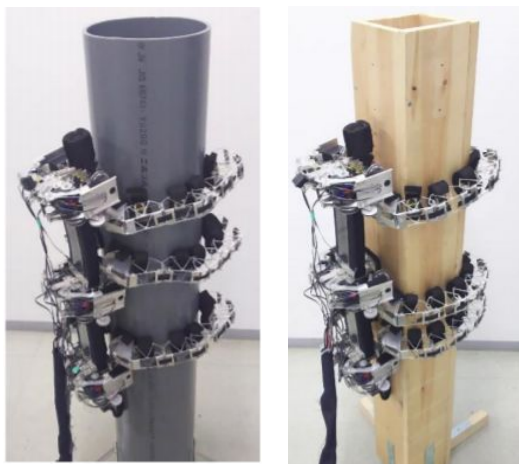


図2 パイプおよび角柱を登る多脚ロボット

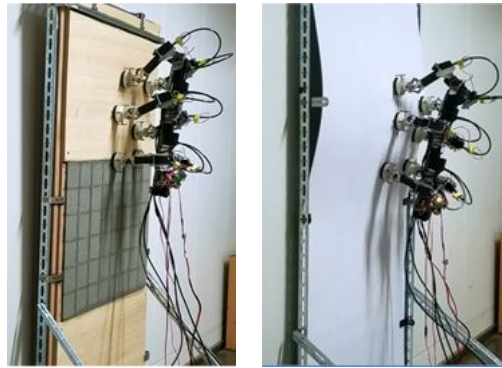


図3 壁を登る吸盤多脚ロボット

有効な振る舞いを探索するアルゴリズムの提案については、未知の物体が封印された缶の中身を判別するタスクを例に、図4に示すロボットを開発し、その有用性を検証した。

現在、このアルゴリズムをパイプの昇降を行うロボットの歩行制御に適用すべく改良を行っているところである。

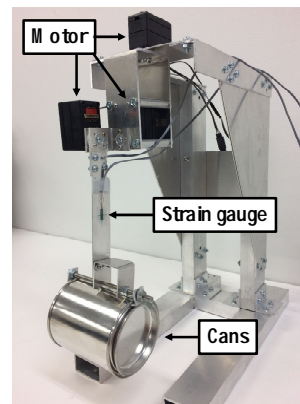


図4 間の中身を判別するロボット

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 9 件)

1. Asuki Saito, Kazuki Nagayama, Kazuyuki Ito, Takeo Oomichi, Satoshi Ashizawa, and Fumitoshi Matsuno “Semi-Autonomous Multi-Legged Robot with Suckers to Climb a Wall”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 30, no.1, pp.24-32, 2018, DOI: 10.20965/jrm.2018.p0024 (査読あり)
2. Kazuyuki Ito, Shunsuke Hagimori “Flexible manipulator inspired by octopus: development of soft arms using sponge and experiment for grasping various objects”, *Artificial Life and Robotics*, Vol.22, No. 3, pp. 283-288, 2017, DOI: 10.1007/s10015-017-0360-7 (査読あり)
3. Kazuyuki Ito, Soichiro Kimura,

“Semicircular duplex manipulator for rescue operation: size and weight reduction”, Advanced Mechatronic Systems, Vol. 7, No. 2, pp. 104-113, 2016, DOI: 10.1504/IJAMECHS.2016.082628 (査読あり)

4. Kazuyuki Ito, Naoyuki Sakuraba, Kei Yamaguchi “A control law for vehicle merging inspired by dragonfly behavior”, Artificial Life and Robotics, Vol.22, No. 2, pp. 153-162, 2016, DOI: 10.1007/s10015-016-0342-1 (査読あり)
5. Kazuyuki Ito, Yutaka Takeuchi, “Reinforcement learning in dynamic environment: abstraction of state-action space utilizing properties of the robot body and environment”, Artificial Life and Robotics, Vol. 21, Issue 1, pp. 11-17, 2016, DOI: 10.1007/s10015-015-0258-1 (査読あり)
6. Kazuyuki Ito, Haruo Maruyama, "Semi-autonomous serially connected multi-crawler robot for search and rescue", Advanced Robotics, Vol. 30, Issue 7, pp. 489-503, 2016, DOI: 10.1080/01691864.2015.1122553 (査読あり)

〔学会発表〕(計 14件)

1. Kazuki Aihara, Kazuyuki Ito, “Adaptive switching mechanism of leg stiffness for multi-legged robot”, Proc. of the 6th International Electrical Engineering Congress (iEECON), pp.759-762, 2018 (査読あり)
2. Ryushi Aoyagi, Yoshihiro Homma, Kazuyuki Ito, “Six-legged robot capable of climbing various columnar objects”, Proc. of the International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS), pp. 24-29, 2017 (査読あり)
3. Yoshihiro Homma, Ryushi Aoyagi, Kazuyuki Ito, Fumitoshi Matsuno, “Four-legged robot capable of moving in a three-dimensional environment - Developing a robot capable of climbing unknown columnar objects -”, Proc. of the International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM), 2017 (査読あり)
4. Yuzo Chojin, Kazuyuki Ito, “Perception using properties of the real world –Task to distinguish objects in cans–”, Proc. of the International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB), pp. 288-291, 2017 (査読あり)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 一之 (ITO, Kazuyuki)
法政大学・理工学部・教授
研究者番号：90346411