

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19894

研究課題名（和文）半自律的遠隔操作のための自己増殖型ニューラルネットワークに基づく知覚モジュール

研究課題名（英文）Perceptual Module based on Self-Growing Neural Network for Semi-Autonomous Remote Operation

研究代表者

戸田 雄一郎（Toda, Yuichiro）

岡山大学・自然科学学域・助教

研究者番号：70806083

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、移動ロボットの人にやさしい遠隔操作システムを実現するためのロボットの知覚モジュールの実現を目的として研究を遂行した。知覚モジュール実現のための手法として、未知な物体にも適用可能な自己増殖型ニューラルネットワークに基づく方法論を提案し、操作者が興味がある対象に対して密なモデリングをそれ以外の周辺環境に対して疎なモデリングを行う集中・分散的な知覚を実現する手法を提案した。確立した方法論を半自律的遠隔操作システムの経路計画などに活用することで、人にやさしい遠隔操作システムを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における学術的意義は、自己増殖型ニューラルネットワークに基づき方法論を構成することで、未知な環境・対象に対しても認識可能なロボットの知覚モジュールを構築することにある。このような方法論は、現在普及している深層学習とは異なり、膨大なデータを必要せず学習を行うため、学術的な価値は非常に高いと考えられる。

また、本方法論を用い人にやさしい半自律的遠隔操作システムを実現することで、操作者の負担を軽減し、現在遠隔操作システムを導入している産業に対して、省力化や負担軽減を行うことに大きな社会的な意義があると考えている。

研究成果の概要（英文）：In this research, the objective is to realize a perceptual module for robots to achieve a human-friendly remote operation system for mobile robots. As a method for realizing the perceptual module, we proposed an approach based on a self-growing neural network that can be applied to unknown objects. We also proposed a technique to achieve concentrated and distributed perception, where dense modeling is performed for objects of interest to the operator while sparse modeling is applied to the surrounding environment. By applying the established methodology to tasks such as path planning in a semi-autonomous remote operation system, we successfully realized a human-friendly remote operation system.

研究分野：知能ロボット

キーワード：自己増殖型ニューラルネットワーク 半自律的遠隔操作 空間知覚

1. 研究開始当初の背景

近年、移動ロボットの遠隔操作システムは、災害現場や原子炉の点検、床下の点検など人が立ち入ることが困難な現場などで、利用され始めている。このような環境下で、ロボットが、環境の探索・調査を効率良く行っていくためには、操作者の過負荷にならないような遠隔操作ロボットの知能化技術と人にやさしい遠隔操作インタフェースの開発が必要となる。しかしながら、現在開発されている多くの遠隔操作ロボット/インタフェースは、高度なスキルが操作者に求められており、遠隔操作に集中すると、情報収集に集中することができず、状況理解が困難になるといった問題が存在している。そのような状態になるのを防ぐために、半自律移動ロボットには、操作者が必要な対象物の情報を密に収集しながら、それ以外の障害物などの情報も同時に認識するといった柔軟な知覚能力が求められる。国内外を問わず、このような遠隔操作ロボットの研究として、3次元地図の構築や被災者の探索に関する研究などが行われているが、操作者の意図にあわせてロボットが探索の粒度や方向性を変えながら、情報提示を行うような研究はほとんど行われていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、動的・未知環境における半自律移動ロボットを用いた遠隔操作システムの開発を通し、自律/半自律ロボットのための状況に応じて探索の粒度と方向性を変化させる新たな知覚モジュールに関する方法論を確立することである。また、科学的には、生物の適応的な知覚能力の仕組みを構成論的に明確にすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、移動ロボットの遠隔操作システムの開発(遠隔操作システムの開発) 自己増殖型ニューラルネットワークに基づく知覚モジュールの構築(知覚モジュールの構築)に関する研究から構成され、研究を実施した。

遠隔操作システムの開発

操作者と協調して走行する遠隔操作システムを実現するためには、可視性・操作性の高い遠隔操作インタフェースを実現する必要がある。申請者がこれまで、遠隔操作システムに関する知見を活かし、これまでに開発を行ってきた遠隔操作インタフェースを拡張した。具体的には、ロボットが構築した3次元地図情報や計測した画像をタブレット端末上で描画し、タッチインタフェースを用いて、操作者がより詳細に可視化したい対象物の選択を容易に行うことが可能な可視インタフェースや地図情報を用いた半自律的遠隔操作が行えるシステムを構築した。

知覚モジュールの構築

本研究では、3次元の距離データとカメラ画像が同時取得可能なRGB-Dセンサを用いて環境を計測し、計測されたデータから、操作者の意図とロボットの状況に応じて各対象物体の粒度と探索の方向性を調整する知覚モジュールを構築することを目標とした。具体的な知覚モジュールの方法論としては、教師なし学習でデータの位相構造を学習する自己増殖型ニューラルネットワークに関する方法論を用いた。

4. 研究成果

本研究では、知覚モジュールの核となる自己増殖型ニューラルネットワークのGrowing Neural Gas (GNG)に関して、実時間に空間的な位相構造を学習しながら色情報などの他の属性値を同時に学習可能なGNG with Different Topologies (GNG-DT)を始めとして、注目する物体とそれ以外の対象に対してノード密度を調整することが可能なRegion of Interest GNG (ROI-GNG)に関する手法や学習の安定性と精度を向上させた手法であるBatch Learning GNG (BL-GNG)をはじめとした様々な方法論をこれまで確立した。

特に、GNG-DTは、本研究で用いたRGB-Dカメラのように複数の特徴量から構成される入力ベクトルに対して、複数の属性の位相構造が学習可能な方法論であり、自律移動ロボットの知覚システムに大きな貢献を与える方法論が確立できたと考えている。具体的に、GNG-DTでは図1に示すように位相構造の組み合わせによって多解釈可能な空間知覚を行うことが可能で、その適用範囲が非常に広い。本研究では、GNG-DTによってロボットが構築した2次元環境地図情報を学習することで地図の特徴量を抽出する手法を提案し、半自律的遠隔操作システムに適用することによって、ロボットの未知環境下での経路計画を実現し、遠隔操作者の操作負担の軽減を行った(図2)。さらに、3次元環境地図においてもGNG-DTによって得られた形状や法線ベクトル

などの特徴量による位相構造を組み合わせロボットが走行可能であるか不可能であるかを空間知覚する手法を提案し、未知の不整地環境においてロボットが適応的に空間をクラスタリングし、未知の地点へ経路計画を行う手法を実現した(図3)。

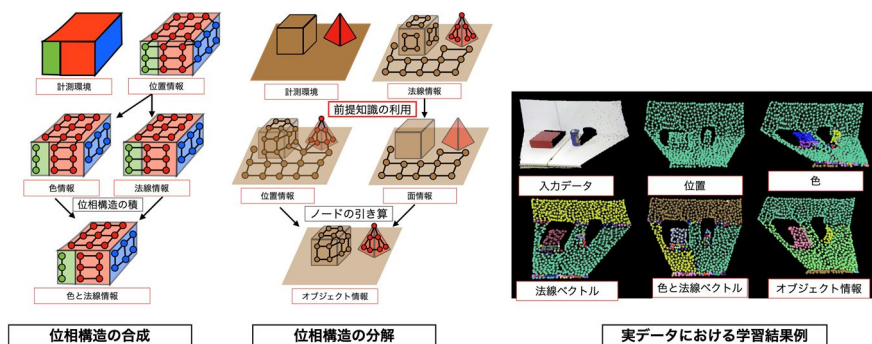


図1 GNG-DTに基づくクラスタリング概念図と学習結果例

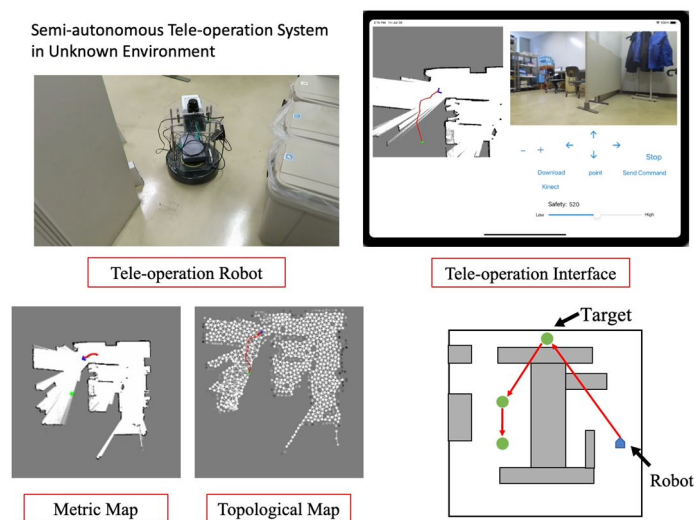


図2 GNG-DTに基づく未知環境における経路計画と半自律遠隔操作システム

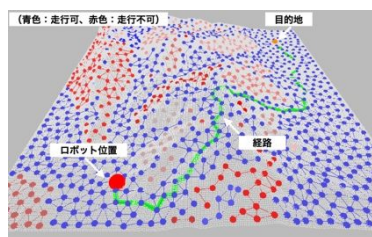


図3 GNG-DTに基づく走行可能性知覚と経路計画例

また、ROI-GNGでは、注目物体に対して密なノード密度をそれ以外の物体に対して疎なノード密度を保持する位相構造を学習するために、各クラスタ内でのノード密度を推定する必要がある。そこで、GNG-DTによってクラスタリングされたオブジェクト情報の位相構造からオブジェクトの体積を推定し、推定されたノード密度に基づきROI-GNGにおける積算誤差の減衰率を調整する手法を提案することによって、着目する対象が変化した場合にも、適切にノード密度の調整を行うことが可能な方法論を確立することができた。これらの研究成果により、課題期間中に5本の投稿論文を出版している。また、本課題に関連するGNGを用いたロボットのための知覚システムに関して、国内外の学会において5つの賞を受賞するなどの研究成果をあげている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Toda Yuichiro, Ozasa Koki, Matsuno Takayuki	4. 巻 28
2. 論文標題 Growing neural gas based navigation system in unknown terrain environment for an autonomous mobile robot	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 76 ~ 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-022-00826-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Toda Yuichiro, Wada Akimasa, Miyase Hikari, Ozasa Koki, Matsuno Takayuki, Minami Mamoru	4. 巻 12
2. 論文標題 Growing Neural Gas with Different Topologies for 3D Space Perception	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1705 ~ 1705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app12031705	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Toda Yuichiro, Okayama University 3-1-1 Tsushima-Naka, Kita-Ku, Okayama, Okayama 700-8530, Japan, Matsuno Takayuki, Minami Mamoru	4. 巻 25
2. 論文標題 Multilayer Batch Learning Growing Neural Gas for Learning Multiscale Topologies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 1011 ~ 1023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jaciii.2021.p1011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 戸田 雄一郎, 宮瀬 光梨, 岩朝 睦美, 和田 亮雅, 竹田 宗馬, 松野 隆幸, 久保田 直行, 見浪 護	4. 巻 33
2. 論文標題 Growing Neural Gasに基づく環境のトポロジカルマップの構築と未知環境における経路計画	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 知能と情報	6. 最初と最後の頁 872 ~ 884
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3156/jssoft.33.4_872	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 戸田 雄一郎, 和田 亮雅, 松野 隆幸, 見浪 護	4. 巻 57
2. 論文標題 複数属性から構成される特徴ベクトルにおける Growing Neural Gasに基づく空間構造の学習	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 209 ~ 218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.57.209	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Yudai Furuta
2. 発表標題 Contour Detection Method using Growing Neural Gas from 3D Point Cloud
3. 学会等名 2022 Joint 12th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 23rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qi Li
2. 発表標題 A method for estimating the volume of clusters built by Growing Neural Gas
3. 学会等名 2022 Joint 12th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 23rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qi Li
2. 発表標題 Environmental Map Learning Method based on Growing Neural Gas for a Mobile Robot
3. 学会等名 2022 International Joint Conference on Neural Networks (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuichiro Toda
2. 発表標題 Growing Neural Gas based Space Perception for Semi-autonomous Teleoperation System
3. 学会等名 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 室本達也
2. 発表標題 不整地走行可能なクローラロボットの開発とファジィ制御に基づく制御系の構築
3. 学会等名 第30回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小笹航輝
2. 発表標題 自律走行のためのGrowing Neural Gasを用いた走行可能領域の判定
3. 学会等名 第38回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾圭介
2. 発表標題 Growing Neural Gas を用いた半自律遠隔操作システムの開発
3. 学会等名 第26回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuichiro Toda
2. 発表標題 Growing Neural Gas based Space Perception for Semi-autonomous Teleoperation System
3. 学会等名 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qi Li
2. 発表標題 Growing Neural Gas based Topological Map Building for Autonomous Mobile Robots
3. 学会等名 the 22nd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuichiro Toda
2. 発表標題 Modified Region of Interest Growing Neural Gas for Point Cloud data processing
3. 学会等名 22nd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小笹航輝
2. 発表標題 Growing Neural Gasに基づく3次元不整地環境の学習と未知環境における経路計画
3. 学会等名 第27回ロボティクスシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾圭介
2. 発表標題 Growing Neural Gas を用いた半自律遠隔操作システムの開発
3. 学会等名 第26回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長尾圭介
2. 発表標題 トポロジカルマッピングに基づく未知環境の経路探索と半自律遠隔操作システム
3. 学会等名 第22回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田雄一郎
2. 発表標題 Growing Neural Gas with Different Topologiesを用いたクラスタのトラッキング手法に関する検討
3. 学会等名 インテリジェント・システム・シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 李琪
2. 発表標題 トポロジカルマップを用いた経路計画と移動ロボットの行動制御
3. 学会等名 第37回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田雄一郎
2. 発表標題 Growing Neural Gas におけるノード密度調整手法
3. 学会等名 第37回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸田雄一郎
2. 発表標題 色情報を含む点群データの位相構造学習における重みつき距離尺度に関する検討
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田亮雅
2. 発表標題 自律移動ロボットのための競合学習を用いた 3 次元点群の高速クラスタリング
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

岡山大学 研究者総覧
https://soran.cc.okayama-u.ac.jp/html/cac1b12ce6403c4a74506e4da22f6611_ja.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------