

# 卒業論文

## 視覚と行動の end-to-end 学習により経路追従行動を オフラインで模倣する手法の提案

(複数カメラでデータセットを収集しオフラインで訓練する手法の検証)

A proposal for an online imitation method of path-tracking

behavior by end-to-end learning of vision and action

(Offline training with automatically collected multi-camera datasets)

2025 年 11 月 28 日 提出

指導教員 林原 靖男 教授

千葉工業大学 先進工学部 未来ロボティクス学科

22C1048 小山雄矢



# 概要

## 視覚と行動の end-to-end 学習により経路追従行動を オンラインで模倣する手法の提案

(複数カメラでデータセットを収集しオフラインで訓練する手法の検証)

近年，自律移動ロボットの研究が盛んに行われている．本研究室においても，2D-LiDAR を用いた自律移動システムの出力を教師信号としてロボットに与えて学習させることで，経路追従行動をオンラインで模倣する手法を提案し，実験によりその有効性を確認してきた．

本研究では，従来手法を基に，目標とする経路上およびその周辺のデータを一度に収集し，オフラインで訓練する手法を提案する．提案手法では，経路上にロボットを配置し，カメラ画像と教師データとなる目標角速度を収集する．

それらのデータを基にオフラインで学習を行い，学習後はカメラ画像を入力とした学習器の出力により自律移動させることで，手法の有効性を検証する．結果として，提案手法により経路を周回できることを確認した．

キーワード: end-to-end 学習，ナビゲーション，オフライン

# abstract

A proposal for an online imitation method of path-tracking behavior by end-to-end learning of vision and action  
(Offline training with automatically collected multi-camera datasets)

Recently, autonomous mobile robots have been studied extensively. In our laboratory, we have proposed an online imitation method of path-following behavior by training a robot with the output of a 2D-LiDAR-based autonomous mobile system as a teacher signal, and have confirmed the effectiveness of the proposed method through experiments. In this study, we propose an off-line training method based on the conventional method by collecting data on and around the target path at a time. In the proposed method, the robot is placed on the path, and camera images and target angular velocity are collected as teacher data. The effectiveness of the proposed method is verified by training the robot off-line based on these data, and after training, the robot moves autonomously by using the output of the trainer with camera images as input. As a result, it is confirmed that the proposed method is able to go around the path.

keywords: End-to-End Learning, Navigation, Offline

# 目次

第 1 章 序論	1
1.1 背景 . . . . .	1
1.2 目的 . . . . .	4
1.3 論文構成 . . . . .	4
参考文献	5
付録	7
謝辞	8

# 図目次

1.1	Training the neural network from [1] . . . . .	1
1.2	Map based navigation using navigation indoors from [2] . . . . .	2
1.3	Systems that imitation learning for map-based navigation from [2] . . . .	2
1.4	Procedure for visualizing the output of the learning machine from [3] . .	3

# 表目次

# 第1章

## 序論

### 1.1 背景

近年、様々なセンサを用いた自律移動に関する研究が活発に行われており、その中で視覚を入力とした end-to-end 学習により自律走行した例もある。例えば、Bojarski らは Fig. 1.1 に示すシステムでカメラ画像と人が操作するステアリングの角度を end-to-end 学習することで、自律走行する手法を提案した [1]。

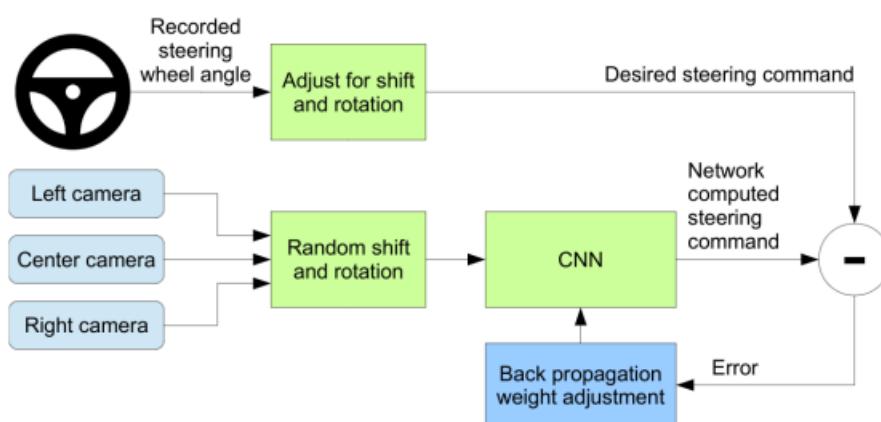


Fig. 1.1: Training the neural network from [1]

岡田らはFig. 1.2 のように地図ベースのナビゲーションによる出力を模倣することで、経路追従行動を獲得した [2]。Fig. 1.3 に示すような、LiDAR、オドメトリを入力としたナビゲーションの出力を end-to-end で模倣学習し、学習後はカメラ画像を入力とした学習器の出力により、一定の経路において周回が可能であることが確認された。



Fig. 1.2: Map based navigation using navigation indoors from [2]

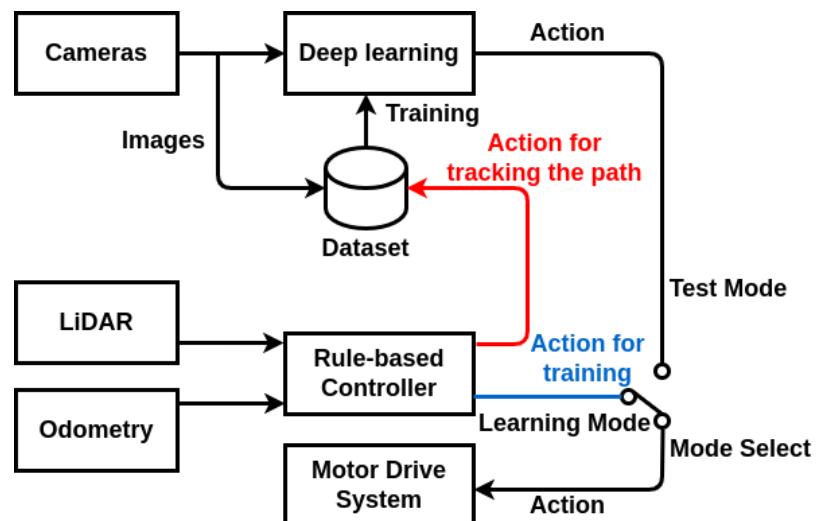


Fig. 1.3: Systems that imitation learning for map-based navigation from [2]

また、清岡ら [3] により、Fig. 1.4 に示すような手法を用いて、経路上だけでなく経路から離れた状態も学習することが、経路追従行動を模倣する上で有効であることが示された。

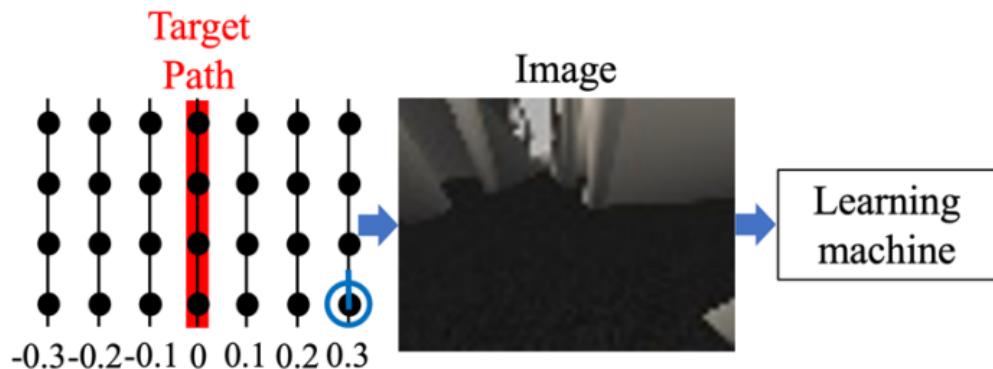


Fig. 1.4: Procedure for visualizing the output of the learning machine from [3]

これらの研究では、カメラ画像を入力とした学習器の出力により、ロボットが学習した経路を周回可能であることが示されている。

しかし、岡田らと清岡ら（以下「従来手法」と称する）の提案手法は、カメラ画像を入力とした学習器の出力で自律走行をするのに、何周もロボットを走行させて学習する必要がある。これでは、走行中にコースアウトしないか監視する必要や、学習の時間が長くなるといった問題点がある。そこで、本研究では、従来手法を基に目標経路上及びその周辺のデータを一度に収集してオフラインで訓練する手法を提案する。

## 1.2 目的

本研究では、従来手法を基に目標経路上及びその周辺のデータを一度に収集してオンラインで訓練する手法を提案する。さらに訓練後に、カメラ画像を入力とした学習器の出力で自律走行させることで手法の有効性を検証することを目的とする。

## 1.3 論文構成

本論文の構成は以下に述べる通りである。第1章では、研究を行う背景や目的を述べた。第2章では、研究に関連する要素技術、第3章では、従来手法について説明する。第4章では、提案手法について説明し、第5章では、実験について説明する。そして、第6章では、本研究の結論を述べる。

# 参考文献

- [1] Mariusz Bojarski et al. ””end to end learning for self-driving cars.””. arXiv: 1604.07316(2016).
- [2] 岡田眞也, 清岡優祐, 上田隆一, 林原靖男. ”視覚と行動の end-to-end 学習により経路追従行動をオンラインで模倣する手法の提案”. 計測自動制御学会 SI 部門講演会 SICE-SI2020 予稿集, pp.1147-1152(2020).
- [3] 清岡優祐, 岡田眞也, 岩井一輝, 上田隆一, 林原靖男. ”視覚と行動の end-to-end 学習により経路追従行動をオンラインで模倣する手法の提案- “データセットと生成された経路追従行動の解析”. 計測自動制御学会 SI 部門講演会 SICE-SI2021 予稿集, pp.1072-1075(2021).
- [4] ros-planning, navigation.  
<https://github.com/ros-planning/navigation>.  
最終閲覧日 2025 年 11 月 28 日.
- [5] The mnist database of handwritten digits.  
<http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>.  
最終閲覧日 2025 年 11 月 28 日.
- [6] 岡田眞也, 清岡優祐, 春山健太, 上田隆一, 林原靖男. ”視覚と行動の end-to-end 学習により経路追従行動をオンラインで模倣する手法の提案- “経路追従行動の修正のためにデータセットを動的に追加する手法の検討”. 計測自動制御学会 SI 部門講演会 SICE-SI2021 予稿集, pp.1066-1070(2021).
- [7] gazebo.  
<http://gazebosim.org/>.  
最終閲覧日 2025 年 11 月 28 日

- [8] Koenig, Nathan, and Andrew Howard. "design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator.". 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566). Vol. 3. IEEE, pp.2149-2154(2004).

最終閲覧日 2025 年 11 月 28 日.

- [9] Turtlebot3 robotis emanual.robotis.

<https://emanual.robotis.com/docs/>.

最終閲覧日 2025 年 11 月 28 日.

# 付録

## 謝辞

本研究を進めるにあたり，1年に渡り，熱心にご指導を頂いた林原靖男教授に深く感謝いたします。