
Interpretation of neural networks and advanced image augmentation for visual end-to-end control of drones

Master's Thesis submitted to the
Faculty of Informatics of the *Università della Svizzera Italiana*
in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Master of Science in Informatics

presented by
Marco Ferri

under the supervision of
Prof. Alessandro Giusti
co-supervised by
Dr. Dario Mantegazza

February 2021

I certify that except where due acknowledgement has been given, the work presented in this thesis is that of the author alone; the work has not been submitted previously, in whole or in part, to qualify for any other academic award; and the content of the thesis is the result of work which has been carried out since the official commencement date of the approved research program.

Marco Ferri
Lugano, 22 February 2021

To someone

“Sometimes it is the people no one
can imagine anything of, who do
the things no one can imagine.”

The Imitation Game

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Aliquam vulputate erat quis justo varius vehicula. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia curae; In ut placerat velit. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. In elementum egestas turpis et auctor. Vestibulum gravida lorem nec egestas ornare. Duis varius arcu imperdiet, feugiat odio in, facilisis est. Quisque interdum vitae odio ut vehicula. Etiam molestie enim non risus maximus, vitae efficitur mauris sollicitudin. Phasellus consequat nulla at nulla tempus varius. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.

Nulla faucibus aliquam nisl, vel luctus arcu semper vel. Aliquam ipsum risus, feugiat quis nulla ac, aliquet imperdiet ante. Ut et massa sem. Donec eu ex augue. Nam urna nunc, commodo ac nunc et, auctor mattis nunc. Nam pellentesque laoreet purus, a tristique nisi auctor non. Integer sed congue lorem. Maecenas faucibus turpis nec ultrices tempor. Vivamus condimentum nibh sit amet molestie tempor. Pellentesque cursus diam maximus nisi gravida, sed consequat mauris malesuada. Fusce eget nisl vehicula, porta enim sit amet, ornare massa. Nunc et ex a eros tempor mattis in quis quam. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis volutpat ex nec ante tempus, quis bibendum nisi posuere. Cras augue nulla, ornare vel risus quis, vulputate bibendum sem.

Proin placerat euismod cursus. Nulla ornare lobortis ligula et pellentesque. Nullam cursus neque ut fermentum euismod. Sed sit amet luctus orci. Nunc convallis urna id nisl vestibulum ullamcorper. Aliquam ullamcorper porta dui et aliquam. Pellentesque urna nibh, finibus sed condimentum eget, interdum ut tellus. Morbi aliquet, erat et rhoncus cursus, lectus nibh vulputate nisl, eu interdum dui dolor quis ipsum. Donec id libero sit amet orci gravida pretium. Mauris in magna non nunc posuere consequat. Donec diam tortor, viverra posuere velit et, convallis commodo massa. Fusce consectetur posuere ex, nec tincidunt neque posuere tempus. Vivamus vitae accumsan ligula. Nulla facilisi. Donec pellentesque commodo lorem ac semper.

Acknowledgements

Thanks to...

Contents

Abstract	IV
List of Figures	VII
List of Tables	VIII
1 Introduction	1
2 Conclusion and perspectives	4
2.1 Concluding thoughts	4
2.2 Future works	4
3 Test features	5
A List of Acronyms	8
Bibliography	9

Figures

3.1	Visualisation of the simulation of the first task.	5
3.2	Non-holonomic differential drive mobile robot.	6

Tables

Chapter 1

Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus

tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Outline

The thesis is composed of 6 chapters, whose main points are presented as follows:

- Chapter ?? summarises the previous research on the topic, evaluating the approaches adopted by the authors;
- Chapter ?? provides the background knowledge needed to properly understand the research contents;
- Chapter ?? presents the tools used for the data collection and all the additional frameworks we relied on;

- Chapter ?? thoroughly illustrates the methodology used, their benefits and limitations, also including descriptions of the kind of data used and how they are collected;
- Chapter ?? explores the analysis conducted and shows evaluation results;
- The Conclusion addresses the results of the experiments, concludes the thesis by discussing the implications of our findings, possible improvements and outlines future works.

Chapter 2

Conclusion and perspectives

This chapter presents first, in Section 2.1, our concluding thoughts and finally suggestions for possible future research lines in Section 2.2.

2.1 Concluding thoughts

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

2.2 Future works

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Chapter 3

Test features

In this work we consider cooperative multi-agent scenarios, in which multiple robots collaborate, and possibly communicate, to achieve a common goal [?]. Let's try this¹. Homogeneous Multi-Agent Systems (MAS) are composed of N interacting agents, which have the same physical structure and observation capabilities, so they can be considered to be interchangeable and cooperate to solve a given task [??]. This system is characterised by a state S — which can be decomposed in sets of local states for each agent and the set of possible observations O for each agent — obtained through sensors and the set of possible actions A for each agent.

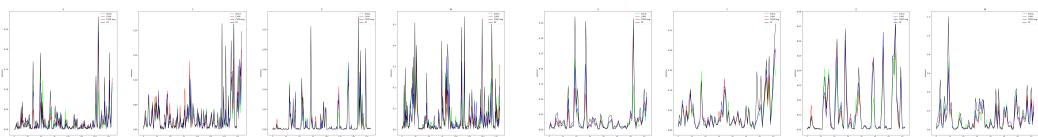


Figure 3.1: Visualisation of the initial and final configurations obtained simulating the first task.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae

¹this is a footnote

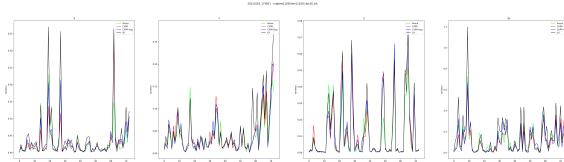


Figure 3.2: Configuration of a non-holonomic differential drive mobile robot [?].

ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

```
c_left, c_right = get_received_communication(state)

if N % 2 == 1: # if the number of robots is odd

    # Case 1: no communication received from left
    if c_left == 0:
        if c_right > N // 2:
            # the agent is in the first half of the row, so its colour is blue
            message = c_right - 1
            colour = 1
        elif c_right == N // 2:
            # the agent is the central one, so its colour is blue
            message = c_right + 1
            colour = 1
```

Listing 3.1: Protocol used by the manual controller to decide, for each robot, the message to transmit and the colour.

Numpy Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Keras Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Appendix A

List of Acronyms

Bibliography

Raúl Gómez. Understanding categorical cross-entropy loss, binary cross-entropy loss, softmax loss, logistic loss, focal loss and all those confusing names. 2018.
URL https://gombru.github.io/2018/05/23/cross_entropy_loss.

Arthur Juliani. ML-Agents Toolkit v0.3 Beta released: Imitation Learning, feedback-driven features, and more., 2018. URL <https://blogs.unity3d.com/2018/03/15/ml-agents-v0-3-beta-released-imitation-learning-feedback-driven-features-and-more/>.

Guillaume Sartoretti, William Paivine, Yunfei Shi, Yue Wu, and Howie Choset. Distributed learning of decentralized control policies for articulated mobile robots. *IEEE Transactions on Robotics*, 35(5):1109–1122, 2019.