

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Gabriel Barbosa Martinz

**USE OF GENERATIVE NEURAL NETWORKS FOR
INSTANCE SPACE CODIFICATION AND
GENERATION OF DATA WITH SPECIFIC
PROPERTIES**

Final Paper
2023

Course of Computer Engineering

Gabriel Barbosa Martinz

**USE OF GENERATIVE NEURAL NETWORKS FOR
INSTANCE SPACE CODIFICATION AND
GENERATION OF DATA WITH SPECIFIC
PROPERTIES**

Advisor

Prof^ª. Dr^ª. Ana Carolina Lorena (ITA)

COMPUTER ENGINEERING

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2023

Cataloging-in Publication Data
Documentation and Information Division

Barbosa Martinz, Gabriel

Use of generative neural networks for instance space codification and generation of data with specific properties / Gabriel Barbosa Martinz.

São José dos Campos, 2023.

22f.

Final paper (Undergraduation study) – Course of Computer Engineering– Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2023. Advisor: Prof^ª. Dr^ª. Ana Carolina Lorena.

1. Neural networks. 2. Instance space. 3. GAN. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
II. Title.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

BARBOSA MARTINZ, Gabriel. **Use of generative neural networks for instance space codification and generation of data with specific properties**. 2023. 22f. Final paper (Undergraduation study) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSION OF RIGHTS

AUTHOR'S NAME: Gabriel Barbosa Martinz

PUBLICATION TITLE: Use of generative neural networks for instance space codification and generation of data with specific properties.

PUBLICATION KIND/YEAR: Final paper (Undergraduation study) / 2023

It is granted to Instituto Tecnológico de Aeronáutica permission to reproduce copies of this final paper and to only loan or to sell copies for academic and scientific purposes. The author reserves other publication rights and no part of this final paper can be reproduced without the authorization of the author.

Gabriel Barbosa Martinz
Rua H8B, 203
12.228-461 – São José dos Campos–SP

USE OF GENERATIVE NEURAL NETWORKS FOR INSTANCE SPACE CODIFICATION AND GENERATION OF DATA WITH SPECIFIC PROPERTIES

This publication was accepted like Final Work of Undergraduation Study

Gabriel Barbosa Martinz

Author

Ana Carolina Lorena (ITA)

Advisor

Prof. Dr. Marcos Máximo

Course Coordinator of Computer Engineering

São José dos Campos: June 23, 2023.

Aos amigos da Graduação do ITA
por motivarem tanto a criação deste
template pelo Fábio Fagundes Silveira
quanto por motivarem a mim e out-
ras pessoas a atualizarem e aprimorarem
este excelente trabalho.

Acknowledgments

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Dr. Donald E. Knuth, por ter desenvolvido o T_EX.

Ao Dr. Leslie Lamport, por ter criado o L^AT_EX, facilitando muito a utilização do T_EX, e assim, eu não ter que usar o Word.

Ao Prof. Dr. Meu Orientador, pela orientação e confiança depositada na realização deste trabalho.

Ao Dr. Nelson D'Ávila, por emprestar seu nome a essa importante via de trânsito na cidade de São José dos Campos.

Ah, já estava esquecendo... agradeço também, mais uma vez ao T_EX, por ele não possuir vírus de macro :-)

*"If I have seen farther than others,
it is because I stood on the shoulders of giants."*

— SIR ISAAC NEWTON

Abstract

One topic of study in Machine Learning is the study of algorithmic performance and which methodologies may be used to assess this performance. A methodology known as Instance Space Analysis has been used to relate predictive performance in classification algorithms to instance hardness (how hard an instance is for an algorithm to classify). The original methodology has been defined with the instance being an entire dataset, but further work has been made to make the instance as fine-grained as an individual observation. In this work we will build upon this methodology and we propose the creation of a generative neural network model to generate new observations for a classification algorithm with predefined hardness properties.

List of Figures

FIGURE A.1 – Uma figura que está no apêndice	21
--	----

List of Tables

TABLE 2.1 – Exemplo de uma Tabela	16
---	----

List of Abbreviations and Acronyms

CTq	computed torque
DC	direct current
EAR	Equação Algébrica de Riccati
GDL	graus de liberdade
ISR	interrupção de serviço e rotina
LMI	linear matrices inequalities
MIMO	multiple input multiple output
PD	proporcional derivativo
PID	proporcional integrativo derivativo
PTP	point to point
UARMII	Underactuated Robot Manipulator II
VSC	variable structure control

List of Symbols

a	Distância
\mathbf{a}	Vetor de distâncias
\mathbf{e}_j	Vetor unitário de dimensão n e com o j -ésimo componente igual a 1
\mathbf{K}	Matriz de rigidez
m_1	Massa do cumpim
δ_{k-k_f}	Delta de Kronecker no instante k_f

Contents

1	INTRODUCTION	13
1.1	Motivation	13
1.2	Objective	13
1.3	Scope	14
1.4	Outline of this work	14
1.4.1	Sub-organização	14
2	METHODOLOGY	16
2.1	Instance Space Analysis	16
3	RESULTS	18
3.1	Controle combinado	18
4	CONCLUSION	19
	BIBLIOGRAPHY	20
	APPENDIX A – TÓPICOS DE DILEMA LINEAR	21
A.1	Uma Primeira Seção para o Apêndice	21
	ANNEX A – EXEMPLO DE UM PRIMEIRO ANEXO	22
A.1	Uma Seção do Primeiro Anexo	22

1 Introduction

1.1 Motivation

Often in a problem being tackled with Machine Learning techniques the most important part of the solving process is the algorithm selection. Each one has a specific bias which makes it more suitable for some classes of problems than others (PAIVA *et al.*, 2022).

It is desirable, then, that we may have a way of measuring the relationship of the performance of a given algorithm in a problem with the problem's characteristics, since knowing which data is easy or difficult for a given model to classify is useful in the way that we may make changes to the original model and iterate it knowing what has been difficult in the past and if it has become more or less difficult in the new model.

In (MUÑOZ *et al.*, 2018) we have been introduced to a novel way of performance evaluation in classifiers mapping the statistical properties of an instance (an entire dataset) into how difficult the instance is for the classification algorithm to perform. Further, in (PAIVA *et al.*, 2022), the methodology has been modified to have a more fine-grained analysis, with the instance being reduced to an individual observation.

Given this, we can map each observation into a hardness metric and have another variable that depends upon the observation. We may feed this data into a new model and get new information of the original model. One type of model that may give us new information is a Generative Adversarial Network (GAN) architecture as defined by (GOODFELLOW *et al.*, 2014). Using this, we can create data with specific hardness metrics and set a difficulty of classification for an entire dataset.

1.2 Objective

This work's objective lies in providing a framework for data generation based on the relationship between instance hardness and classification performance using the GAN architecture.

1.3 Scope

The scope of this work will be limited to exploring a GAN implementation for the generation of data, creating a Generator and a Discriminator. The modeling will be made entirely using Python, with the PyTorch (PASZKE *et al.*, 2019) framework.

1.4 Outline of this work

1.4.1 Sub-organização

O capítulo 1 contém a introdução do trabalho, onde são expostos o objetivo, a motivação do mesmo, a descrição do sistema e a formulação do problema com a nomenclatura utilizada; além de uma revisão bibliográfica da literatura relacionada ao tema do trabalho.

1.4.1.1 SubSub-organização

No capítulo 2 apresentamos a modelagem dinâmica de um manipulador subatuado e o conceito de índice de acoplamento para medir o acoplamento dinâmico entre as juntas ativas e passivas. Este índice é utilizado para a análise e projeto de uma metodologia de controle subótimo do manipulador.

1.4.1.2 Outra subsub-organizacao

O capítulo 3 apresenta o controle subótimo de manipuladores através de redundância de atuação. Descreve-se a técnica de controle ponto a ponto de manipuladores subatuados. A seguir mostramos a linearização destes por realimentação, cujo efeito é linearizar e desacoplar o sistema não linear. Finalmente é proposta uma sequência de controle subótimo local das juntas passivas visando a minimização de certos critérios como torque, velocidade e em particular a energia consumida pelo sistema. Este é de fato o tema principal deste mestrado.

É também apresentado no capítulo 4 um resumo do projeto de controladores H_2 e H_∞ , cuja principal vantagem é a robustez na presença de incertezas paramétricas e distúrbios externos.

O capítulo 5 mostra as características e a operação do robô e do ambiente de simulação utilizados nos testes e experimentação da metodologia apresentada.

Os procedimentos da metodologia e os resultados obtidos para algumas configurações e diferentes controladores encontram-se no capítulo 6.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho.

Quatro apêndices fazem parte do trabalho. O apêndice A apresenta alguns tópicos de álgebra linear que são a base do método proposto. No apêndice B são mostradas as equações da matriz de inércia e do vetor de torques não-inerciais utilizados na modelagem dinâmica do manipulador. No apêndice C temos as expressões literais dessas equações feitas no software MAPLE e no apêndice D alguns programas feitos no software MATLAB utilizados no projeto (NADA, a)(NADA, b).

2 Methodology

2.1 Instance Space Analysis

Manipuladores subatuados diferem dos totalmente atuados pois são equipados com um número de atuadores que é sempre menor que o número de graus de liberdade (GDL). Portanto, nem todos os GDL podem ser controlados ativamente ao mesmo tempo (NADA, c). Por exemplo, com um manipulador planar de 3 juntas equipado com dois atuadores, ou seja, duas juntas ativas e uma passiva, pode-se controlar ao mesmo tempo duas das juntas a qualquer instante, mas não todas. Para controlar todas as juntas de um manipulador subatuado, deve-se usar um controle sequencial. Este princípio foi provado pela primeira vez por arai usando argumentos dinâmicos linearizados (NADA, d), e é a base para a modelagem no espaço das juntas e no espaço Cartesiano. A Tabela 2.1 apresenta os resultados (NADA, e; NADA, f; MUÑOZ *et al.*, 2018).

Devido ao fato de que no máximo n_a coordenadas generalizadas (ângulos das juntas ou variáveis cartesianas) podem ser controladas num dado instante, o vetor de coordenadas generalizadas é dividido em duas partes, representando as coordenadas generalizadas ativas e as coordenadas generalizadas passivas (NADA, g).

Considerando um robô manipulador rígido, malha aberta, e de n -juntas em série. Seja q a representação de seu vetor de posição angular das juntas e τ a representação de seu vetor de torque. A equação dinâmica pelo método de Lagrange é dada por:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}}\right) - \frac{\partial L}{\partial q} = \tau^T. \quad (2.1)$$

O Lagrangiano L é definido como a diferença entre as energias cinética e potencial do

TABLE 2.1 – Exemplo de uma Tabela

Parâmetro	Unidade	Valor da simulação	Valor experimental
Comprimento, α	m	8, 23	8, 54
Altura, β	m	29, 1	28, 3
Velocidade, v	m/s	60, 2	67, 3

sistema:

$$L = T - P \quad (2.2)$$

A energia cinética total dos ligamentos é representada:

$$T = \frac{1}{2} \dot{q}^T M(q) \dot{q} \quad (2.3)$$

3 Results

3.1 Controle combinado

Conforme vimos na seção 3.1 podemos controlar um sistema nao linear como através da técnica do torque computado, usando um controlador PD dado por:

$$\tau' = \ddot{q}_d + K_v(\dot{q}_d - \dot{q}) + K_p(q_d - q) , \quad (3.1)$$

sendo q_d , \dot{q}_d e \ddot{q}_d a posição desejada, a velocidade desejada e a aceleração desejada; K_p e K_v são matrizes diagonais $n \times n$, sendo que cada elemento da diagonal é um ganho positivo e escalar.

Aqui M_{est} e b_{est} são modelos estimados da matriz de inércia, M , e do vetor de torques não inerciais, b , do robô real, respectivamente. A equação de malha fechada do sistema é:

$$\ddot{e} + K_v\dot{e} + K_pe = M_{est}^{-1}[(M - M_{est})\ddot{q} + (b - b_{est})] . \quad (3.2)$$

Em um manipulador real, podem existir distúrbios externos tais como atrito, variação de torque dos atuadores, e perturbações em virtude das cargas no robô. Se a soma destes distúrbios for definida como d_{ext} e adicionada à (3.2), teremos

$$\ddot{e} + K_v\dot{e} + K_pe = M_{est}^{-1}[(M - M_{est})\ddot{q} + (b - b_{est}) + d_{ext}] . \quad (3.3)$$

4 Conclusion

Neste trabalho realizou-se o projeto de uma metodologia de controle subótimo redundante da junta passiva de um manipulador com três graus de liberdade instantaneamente. Para este propósito usou-se nas formulações o vetor gradiente de uma função escalar que estima o acoplamento entre a junta passiva e as ativas desse manipulador. Aqui a redundância foi usada da melhor maneira possível sem focalizar o efeito global. Portanto, este método deve ser denominado de *controle ótimo local por redundância*. A principal vantagem dessa formulação é a computação em tempo real, que é necessária para o controle do manipulador experimental. Além disso esse método pode ser usado com diferentes tipos de controladores, uma vez que as alterações são feitas nas equações dinâmicas do manipulador.

A consequência direta observada nessa formulação é a redução dos torques na fase de controle da junta passiva, e consequente redução da energia elétrica gasta. Isso ocorre devido ao fato de que ao longo da trajetória do manipulador o índice de acoplamento de torque tende a ser maximizado, e portanto, menor é o torque necessário nos atuadores para se conseguir o posicionamento da junta passiva do manipulador.

Outros resultados indiretos obtidos são: um movimento mais uniforme e suave do manipulador e um tempo de acomodação menor tanto no posicionamento da junta passiva quanto das ativas, conforme podemos observar nos gráficos de desempenho dos resultados apresentados. Isso ocorre porque a maximização do acoplamento entre as juntas facilita o controle. Assim ocorrem menos picos de torque, e como as juntas ativas tem “menos trabalho” para posicionar a passiva estas se movem menos na direção contrária ao movimento daquelas, diminuindo assim as velocidades alcançadas e os tempos de posicionamento.

Uma extensão deste trabalho pode ser a implementação de um *controle ótimo global por redundância* da junta passiva do manipulador. Para isto pode-se fazer o planejamento *off-line* da trajetória das juntas de modo a minimizar a energia consumida. Alguns estudos foram feitos nesse sentido, usando o Princípio Mínimo de Pontryagin, mas sem resultados satisfatórios até o momento.

Bibliography

[S.l.].

Thesis (Doutorado).

In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.].

In: . Proceedings [...]. [S.l.: s.n.].

[S.l.: s.n.].

[S.l.].

GOODFELLOW, I.; POUGET-ABADIE, J.; MIRZA, M.; XU, B.; WARDE-FARLEY, D.; OZAIR, S.; COURVILLE, A.; BENGIO, Y. Generative adversarial nets. *In: GHAHRAMANI, Z.; WELLING, M.; CORTES, C.; LAWRENCE, N.; WEINBERGER, K. (Ed.). Advances in Neural Information Processing Systems. Proceedings [...]. Curran Associates, Inc., 2014. v. 27. Available at: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2014/file/5ca3e9b122f61f8f06494c97b1afccf3-Paper.pdf.*

MUÑOZ, M. A.; VILLANOVA, L.; BAATAR, D.; SMITH-MILES, K. Instance spaces for machine learning classification. **Machine Learning**, v. 107, n. 1, p. 109–147, Jan 2018. ISSN 1573-0565. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10994-017-5629-5>.

PAIVA, P. Y. A.; MORENO, C. C.; SMITH-MILES, K.; VALERIANO, M. G.; LORENA, A. C. Relating instance hardness to classification performance in a dataset: a visual approach. **Machine Learning**, v. 111, n. 8, p. 3085–3123, Aug 2022. ISSN 1573-0565. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10994-022-06205-9>.

PASZKE, A.; GROSS, S.; MASSA, F.; LERER, A.; BRADBURY, J.; CHANAN, G.; KILLEEN, T.; LIN, Z.; GIMELSHEIN, N.; ANTIGA, L.; DESMAISON, A.; KÖPF, A.; YANG, E.; DEVITO, Z.; RAISON, M.; TEJANI, A.; CHILAMKURTHY, S.; STEINER, B.; FANG, L.; BAI, J.; CHINTALA, S. **PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library**. 2019.

Appendix A - Tópicos de Dilema Linear

A.1 Uma Primeira Seção para o Apêndice

A matriz de Dilema Linear M e o vetor de torques inerciais b , utilizados na simulação são calculados segundo a formulação abaixo:

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \quad (\text{A.1})$$



FIGURE A.1 – Uma figura que está no apêndice

Annex A - Exemplo de um Primeiro Anexo

A.1 Uma Seção do Primeiro Anexo

Algum texto na primeira seção do primeiro anexo.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 23 de junho de 2023	3. DOCUMENTO Nº DCTA/ITA/DM-018/2015	4. Nº DE PÁGINAS 22
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Use of generative neural networks for instance space codification and generation of data with specific properties			
6. AUTOR(ES): Gabriel Barbosa Martinz			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Cupim; Cimento; Estruturas			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Cupim; Dilema; Construção			
10. APRESENTAÇÃO:		(X) Nacional () Internacional	
Trabalho de Graduação, ITA, São José dos Campos, 2015. 22 páginas.			
11. RESUMO: Aqui começa o resumo do referido trabalho. Não tenho a menor idéia do que colocar aqui. Sendo assim, vou inventar. Lá vai: Este trabalho apresenta uma metodologia de controle de posição das juntas passivas de um manipulador subatuado de uma maneira subótima. O termo subatuado se refere ao fato de que nem todas as juntas ou graus de liberdade do sistema são equipados com atuadores, o que ocorre na prática devido a falhas ou como resultado de projeto. As juntas passivas de manipuladores desse tipo são indiretamente controladas pelo movimento das juntas ativas usando as características de acoplamento da dinâmica de manipuladores. A utilização de redundância de atuação das juntas ativas permite a minimização de alguns critérios, como consumo de energia, por exemplo. Apesar da estrutura cinemática de manipuladores subatuados ser idêntica a do totalmente atuado, em geral suas características dinâmicas diferem devido a presença de juntas passivas. Assim, apresentamos a modelagem dinâmica de um manipulador subatuado e o conceito de índice de acoplamento. Este índice é utilizado na sequência de controle ótimo do manipulador. A hipótese de que o número de juntas ativas seja maior que o número de passivas ($n_a > n_p$) permite o controle ótimo das juntas passivas, uma vez que na etapa de controle destas há mais entradas (torques nos atuadores das juntas ativas), que elementos a controlar (posição das juntas passivas).			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO			