



**university of
 groningen**

**faculty of science
 and engineering**

**Credit Assignment for
 Surrogate Gradient Learning Rules
 in Spiking Neural Networks**

Manvi Agarwal



**university of
groningen**

**faculty of science
and engineering**

University of Groningen

**Credit Assignment for Surrogate Gradient
Learning Rules in Spiking Neural Networks**

Master's Thesis

To fulfill the requirements for the degree of
Master of Science in Artificial Intelligence
at University of Groningen under the supervision of
Prof. dr. L.R.B. Schomaker (Artificial Intelligence, University of Groningen)
and
Prof. dr. Tamalika Banerjee (Zernike Institute for Advanced Materials, University of Groningen)

Manvi Agarwal (s1234567)

January 10, 2021

Contents

	Page
Acknowledgements	4
Abstract	5
1 Introduction	6
1.1 Research Questions	6
1.2 Thesis Outline	6
2 Background Literature	7
2.1 A subsection	7
2.2 Another subsection	7
2.2.1 A subsubsection	8
3 Methods	10
3.1 Simulation Environment and Task Description	10
3.2 Other Interesting Things You Want To Talk About	10
4 Experimental Setup	11
4.1 Tools and Technologies	11
4.2 Experimental Configurations and Hyperparameter Optimization	11
4.3 Performance Criteria	11
4.4 Extensions to the MNIST task	11
5 Results	12
5.1 Task 1	12
5.2 Task 2	12
5.3 Task 3	12
6 Conclusion	13
6.1 Summary of Main Contributions	13
6.2 Future Work	13
Bibliography	14
Appendices	15
A More Stuff To Say	15
B Even More Stuff To Say	16

Acknowledgments

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.

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.

Abstract

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.

1 Introduction

This is the template of my thesis. References appear like this [1] and also this [2]. Below, I show briefly how the thesis looks filled with text. I also give some useful headings that you can reuse for sections in your own thesis!

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.

Etiam ac leo a risus tristique nonummy. Donec dignissim tincidunt nulla. Vestibulum rhoncus molestie odio. Sed lobortis, justo et pretium lobortis, mauris turpis condimentum augue, nec ultricies nibh arcu pretium enim. Nunc purus neque, placerat id, imperdiet sed, pellentesque nec, nisl. Vestibulum imperdiet neque non sem accumsan laoreet. In hac habitasse platea dictumst. Etiam condimentum facilisis libero. Suspendisse in elit quis nisl aliquam dapibus. Pellentesque auctor sapien. Sed egestas sapien nec lectus. Pellentesque vel dui vel neque bibendum viverra. Aliquam porttitor nisl nec pede. Proin mattis libero vel turpis. Donec rutrum mauris et libero. Proin euismod porta felis. Nam lobortis, metus quis elementum commodo, nunc lectus elementum mauris, eget vulputate ligula tellus eu neque. Vivamus eu dolor.

1.1 Research Questions

To summarize, this thesis focuses on the following problems:

- Q1. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.
Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis.
- Q2. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.
Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis.

1.2 Thesis Outline

2 Background Literature

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.

2.1 A subsection

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas aliquet consequat risus sit amet ultrices. Donec id tellus non nibh lobortis condimentum varius eget erat. Sed id gravida tellus. Pellentesque ultrices purus scelerisque viverra dignissim. Phasellus dictum justo ac dolor ornare sodales.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Pellentesque in lectus risus. Fusce metus mi, consequat sed lorem sed, cursus placerat ante. In lobortis at est quis dignissim. Nulla nec libero lacus. Curabitur eu magna odio. Nulla eu elit cursus, consequat nisi a, sagittis neque. Mauris efficitur aliquet lorem, ac tempor tellus pellentesque at. In tincidunt leo vel leo tincidunt facilisis. Nulla dignissim, nunc ut fringilla finibus, lacus mauris convallis mi, at rhoncus libero turpis ut turpis. In tincidunt tristique congue. In in sapien vehicula purus luctus luctus. Quisque vitae diam non diam venenatis sodales sed at eros. Donec maximus nisi nec lobortis cursus. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Etiam eget viverra lorem. Nam laoreet dolor eu libero commodo porta. Curabitur aliquam sed sapien pulvinar semper. Nam diam felis, volutpat in risus non, pharetra hendrerit enim. Morbi volutpat nunc id eleifend faucibus. Quisque in dolor diam. Quisque scelerisque ultrices odio. Etiam volutpat dictum purus a condimentum.

Pellentesque vitae nisl et enim gravida pellentesque et ut nunc. Ut facilisis feugiat tincidunt. Donec pharetra nisi risus, at pharetra massa posuere in. Proin faucibus purus id odio malesuada mollis. Etiam non tincidunt mauris. Quisque et vehicula sem. Sed lorem lorem, tincidunt at molestie posuere, finibus eu purus. Etiam sed leo ut nisl posuere eleifend tempus a neque.

Pellentesque vitae nisl et enim gravida pellentesque et ut nunc. Ut facilisis feugiat tincidunt. Donec pharetra nisi risus, at pharetra massa posuere in. Proin faucibus purus id odio malesuada mollis. Etiam non tincidunt mauris. Quisque et vehicula sem. Sed lorem lorem, tincidunt at molestie posuere, finibus eu purus. Etiam sed leo ut nisl posuere eleifend tempus a neque.

2.2 Another subsection

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

0.9	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9
0.8	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8
0.7	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7
0.6	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6
0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5
0.4	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4
0.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3
0.2	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2
0.1	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1
0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0

Figure 1: Example of a floating figure that appears alongside wrapped text.

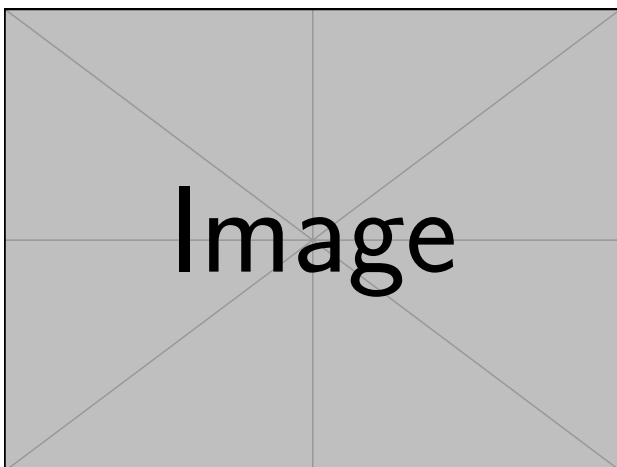
sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui 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.

2.2.1 A subsection

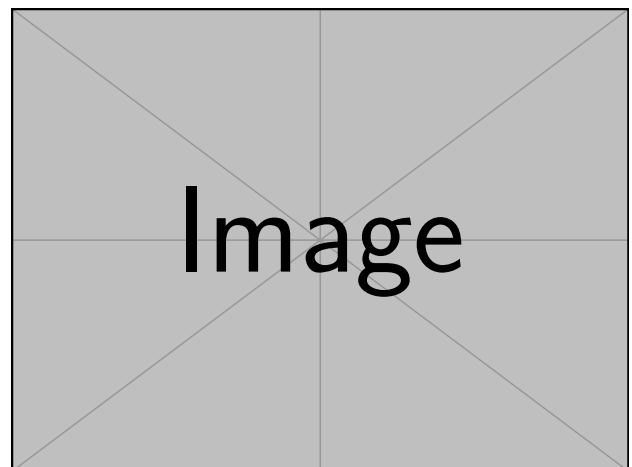
Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.



(a) I am a caption.



(b) I am a caption.

Figure 2: Figure should be placed at the top or bottom of a page by using ‘b!’ or ‘t!’ respectively. This is an example of an image that is aligned to the bottom of the page.

Etiam ac leo a risus tristisque nonummy. Donec dignissim tincidunt nulla. Vestibulum rhoncus molestie odio. Sed lobortis, justo et pretium lobortis, mauris turpis condimentum augue, nec ultricies nibh arcu pretium enim. Nunc purus neque, placerat id, imperdiet sed, pellentesque nec, nisl. Vestibulum imperdiet neque non sem accumsan laoreet. In hac habitasse platea dictumst. Etiam condimentum facilisis libero. Suspendisse in elit quis nisl aliquam dapibus. Pellentesque auctor sapien. Sed egestas sapien nec lectus. Pellentesque vel dui vel neque bibendum viverra. Aliquam porttitor nisl nec pede. Proin mattis libero vel turpis. Donec rutrum mauris et libero. Proin euismod porta felis. Nam lobortis, metus quis elementum commodo, nunc lectus elementum mauris, eget vulputate ligula tellus eu neque. Vivamus eu dolor.

3 Methods

3.1 Simulation Environment and Task Description

3.2 Other Interesting Things You Want To Talk About

4 Experimental Setup

4.1 Tools and Technologies

4.2 Experimental Configurations and Hyperparameter Optimization

4.3 Performance Criteria

4.4 Extensions to the MNIST task

5 Results

5.1 Task 1

5.2 Task 2

5.3 Task 3

6 Conclusion

6.1 Summary of Main Contributions

6.2 Future Work

Bibliography

- [1] K. Hornik, M. Stinchcombe, and H. White, “Multilayer feedforward networks are universal approximators,” *Neural Networks*, vol. 2, no. 5, pp. 359 – 366, 1989.
DOI: 10.1016/0893-6080(89)90020-8.
- [2] J. Park and I. W. Sandberg, “Universal Approximation Using Radial-Basis-Function Networks,” *Neural Computation*, vol. 3, no. 2, pp. 246–257, 1991. DOI: 10.1162/neco.1991.3.2.246.

Appendices

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.

A More Stuff To Say

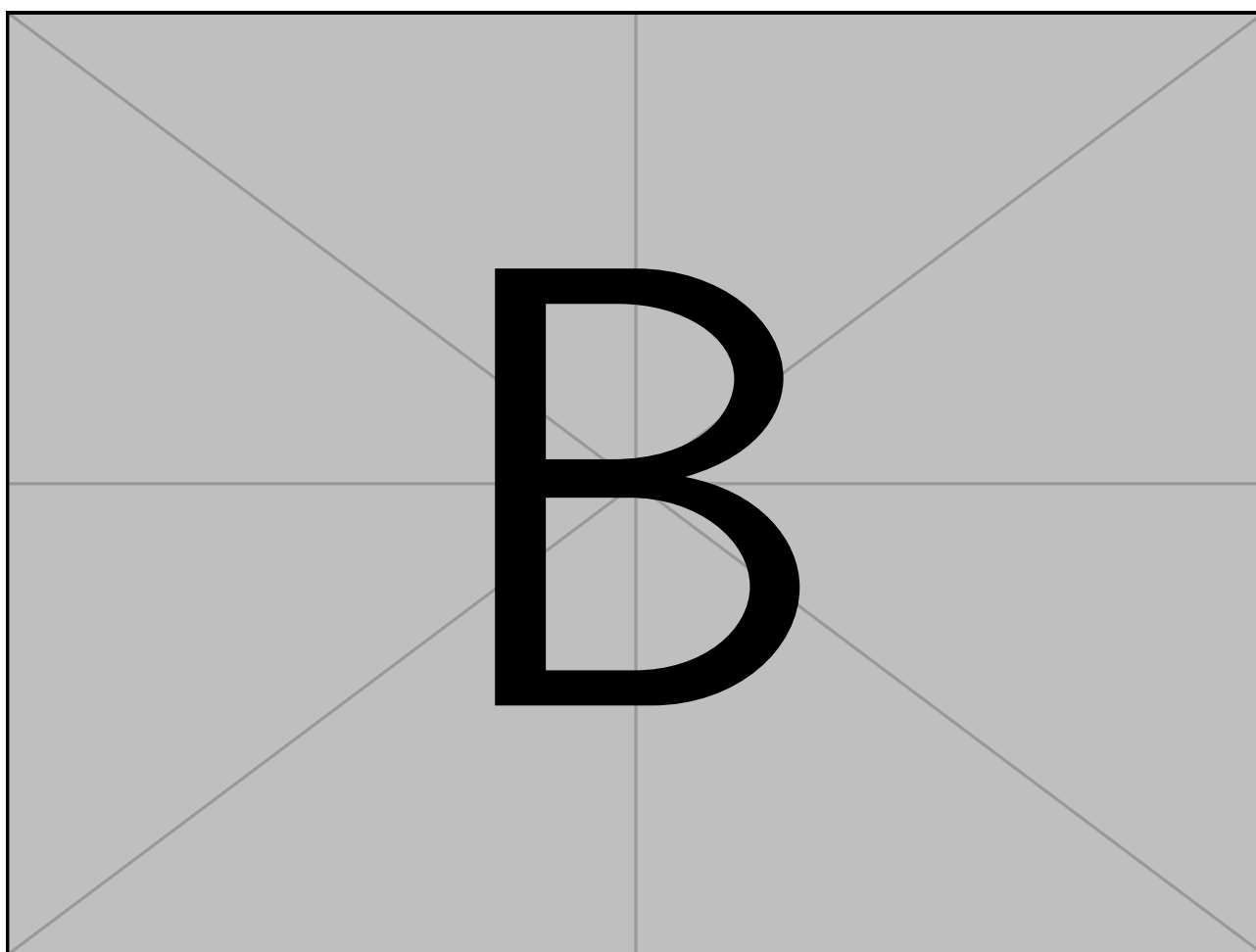


Figure 3: Example of an image in the appendix

B Even More Stuff To Say

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.

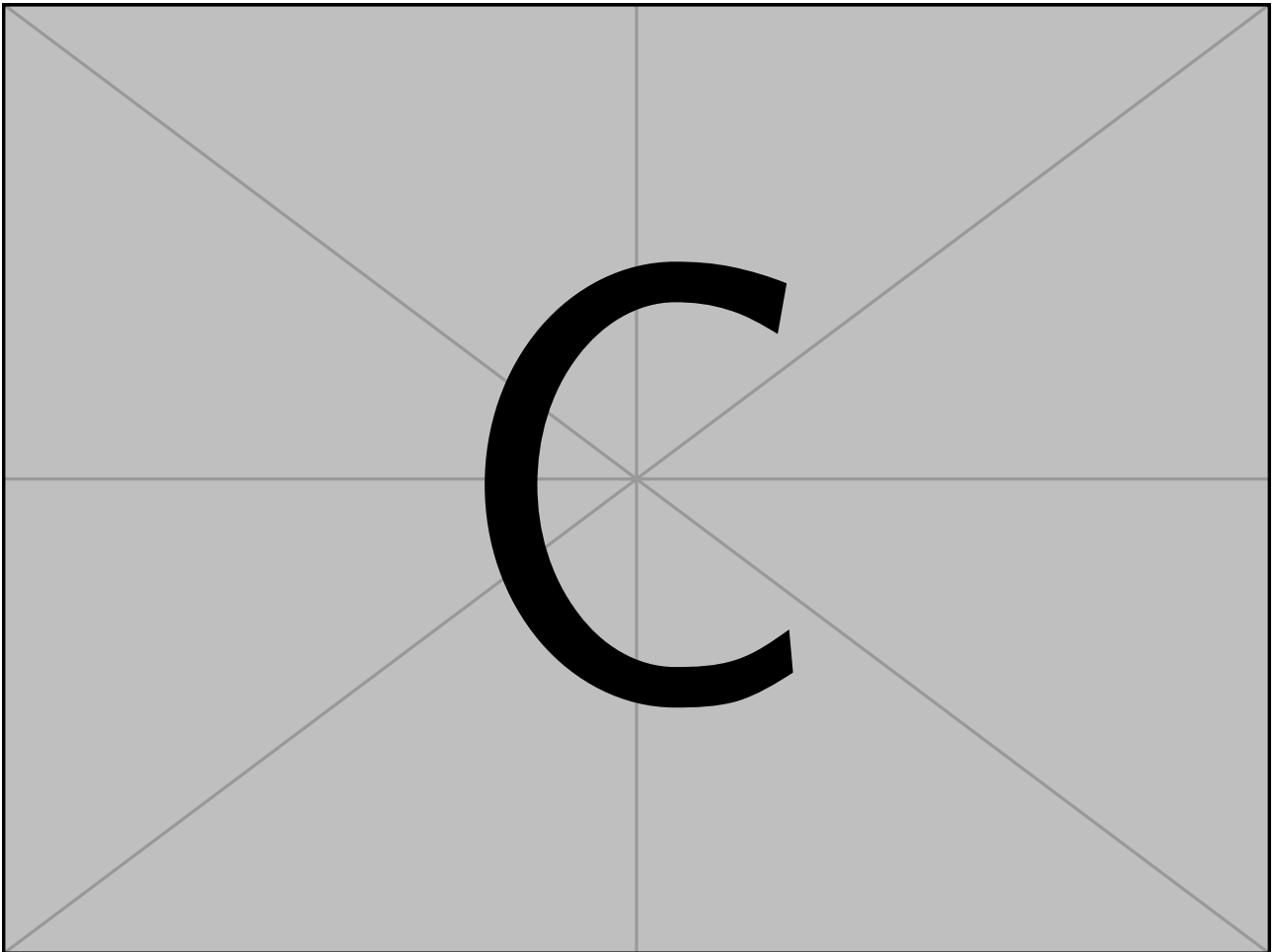


Figure 4: Example of an image in the appendix