

Determining the Influence of Papyrus Characteristics and Data Augmentation on Fragments Retrieval with Deep Metric Learning

Master's Thesis in Computer Science

submitted
by

Gunzenhause Bohnstedt
born 17.02.1992 in Erlangen

Written at

Lehrstuhl für Mustererkennung (Informatik 5)
Department Informatik
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Advisor: Dr.-Ing. V. Christlein, Prof. Dr.-Ing. habil. A. Maier, Mathias Seuret M. Sc.

Started: Start

Finished: Ende

Ich versichere, dass ich die Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen wurde. Alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

Die Richtlinien des Lehrstuhls für Studien- und Diplomarbeiten habe ich gelesen und anerkannt, insbesondere die Regelung des Nutzungsrechts.

Erlangen, den 8. Dezember 2021

Zusammenfassung

Lorem Ipsum is simply dummy text of the printing and typesetting industry. Lorem Ipsum has been the industry's standard dummy text ever since the 1500s, when an unknown printer took a galley of type and scrambled it to make a type specimen book. It has survived not only five centuries, but also the leap into electronic typesetting, remaining essentially unchanged. It was popularised in the 1960s with the release of Letraset sheets containing Lorem Ipsum passages, and more recently with desktop publishing software like Aldus PageMaker including versions of Lorem Ipsu. Lorem Ipsum is simply dummy text of the printing and typesetting industry. Lorem Ipsum has been the industry's standard dummy text ever since the 1500s, when an unknown printer took a galley of type and scrambled it to make a type specimen book. It has survived not only five centuries, but also the leap into electronic typesetting, remaining essentially unchanged. It was popularised in the 1960s with the release of Letraset sheets containing Lorem Ipsum passages, and more recently with desktop publishing software like Aldus PageMaker including versions of Lorem Ipsu. It has survived not only five centuries, but also the leap into electronic typesetting, remaining essentially unchanged. It was popularised in the 1960s with the release of Letraset sheets containing Lorem Ipsum passages, and more recently with desktop publishing software like Aldus PageMaker including versions of Lorem Ipsu.

Abstract

Lorem Ipsum is simply dummy text of the printing and typesetting industry. Lorem Ipsum has been the industry's standard dummy text ever since the 1500s, when an unknown printer took a galley of type and scrambled it to make a type specimen book. It has survived not only five centuries, but also the leap into electronic typesetting, remaining essentially unchanged. It was popularised in the 1960s with the release of Letraset sheets containing Lorem Ipsum passages, and more recently with desktop publishing software like Aldus PageMaker including versions of Lorem Ipsu. Lorem Ipsum is simply dummy text of the printing and typesetting industry. Lorem Ipsum has been the industry's standard dummy text ever since the 1500s, when an unknown printer took a galley of type and scrambled it to make a type specimen book. It has survived not only five centuries, but also the leap into electronic typesetting, remaining essentially unchanged. It was popularised in the 1960s with the release of Letraset sheets containing Lorem Ipsum passages, and more recently with desktop publishing software like Aldus PageMaker including versions of Lorem Ipsu. It has survived not only five centuries, but also the leap into electronic typesetting, remaining essentially unchanged. It was popularised in the 1960s with the release of Letraset sheets containing Lorem Ipsum passages, and more recently with desktop publishing software like Aldus PageMaker including versions of Lorem Ipsu.

Contents

List of Figures

List of Tables

Chapter 1

Introduction

Ancient papyri are frequently torn into several fragments, and the task of papyrologists is to assemble and decipher these fragments. Once successfully reconstructed, ancient papyrus offers the opportunity to gather crucial information about past times. However, reassembling by hand is time-consuming because fragments differ in color, structure, and shape. Since the phrase puzzling is used, it implies that those fragments are perfectly designed puzzle pieces. Usually, it is the opposite. That means that non-professionals can not tell if two images belong together at all. An example is shown in Figure ?? . It can be observed from the Figure that the fibers, the color, and the structure of the two fragments do not fit perfectly into each other. Nevertheless, they belong to the same papyrus. It is hard to tell whether fragments belong together or not because they age differently. Environmental local factors such as exposure to sunlight determine the altering process differently. For example, the medium color of two fragments is inconsistent if one fragment was buried and the second fragment was not. That implies that color is not a good feature for matching fragments.

Finding meaningful features (semi) automatically on historical documents and reassembling them has become a popular challenge in the computer vision community. The researchers apply machine learning algorithms to the data and train a model. Those models can then find potential matching candidates for a specific fragment. Deep Learning algorithms are among the commonly discussed types of algorithms when it comes to supporting papyrologists. Research has shown that the use of Deep Learning can increase the efficiency of papyrologists. However, even though the results are promising, there are still many unanswered questions that we do not understand. Once a better understanding of the features is obtained, the algorithms can increase the papyrologist's efficiency by a greater chance.

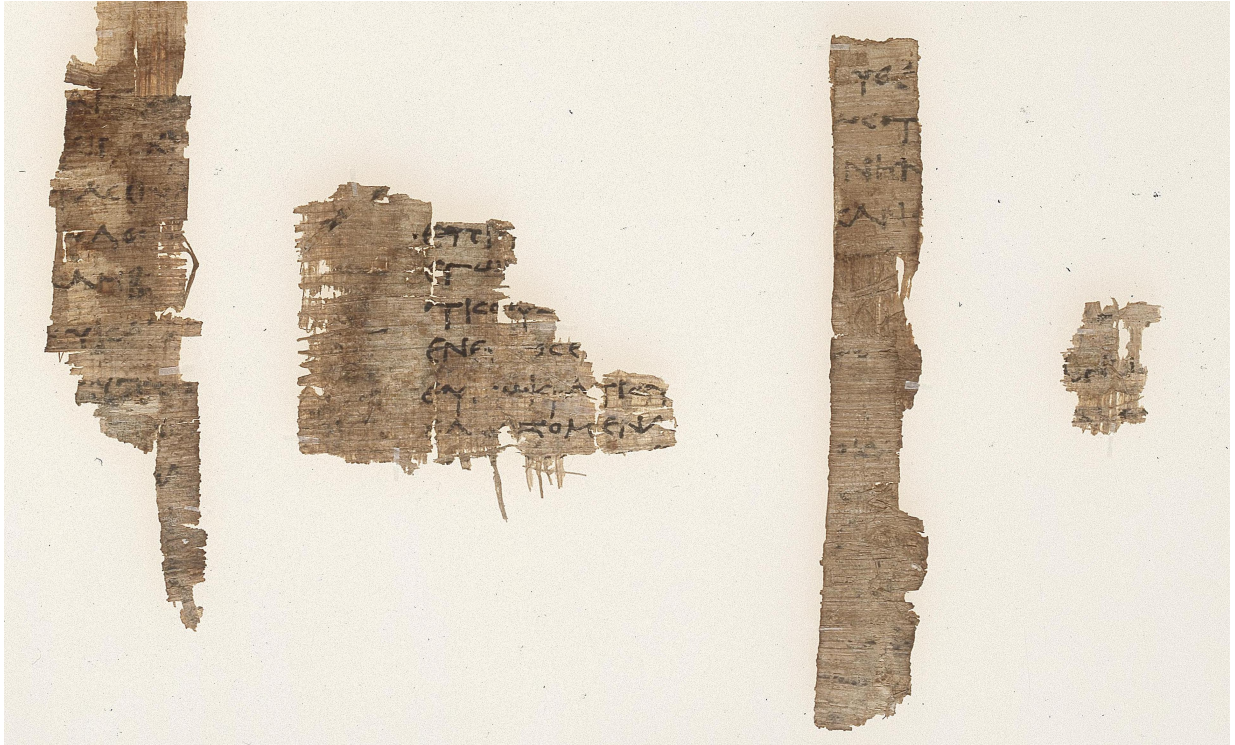


Figure 1.1: A papyri torn into several fragments

1.1 Contribution

The general objective of this thesis is to make the work of papyrologists easier and increase their efficiency by partially automating the reassembling process. To this end, an algorithm is designed to infer a smaller sub-selection of fragments with a high likelihood of being a potential fit. In the following, this algorithm is called puzzle-helper. Additionally, the thesis explores the use of papyrus fibers to determine an accurate spatial position of two potential matching fragments. Also, using deep learning implies that a vast amount of (labeled) data is required. The database from the University of Michigan offers plenty of it. Once the data is downloaded, it must be correctly preprocessed, like removing low contrast images or labeling the data. In particular, this thesis is centered around the following research questions:

RQI: Does the puzzle-helpers-accuracy differ significantly when only the text or only the fibers are used as input as opposed to the unprocessed data?

RQII: With the help of papyrus fibers, is it possible to determine the position of a fragment out of several matching candidates?

1.2 Outline

In the Chapter ??, the context of this master thesis was explained, and the research questions got defined. In the following, it is explained how the thesis is structured. Chapter ?? presents groundbreaking work in all areas that are relevant for this thesis. That includes binarization, inpainting, and deep metric learning. The chapter's goal is to show the reader a quick overview of actual results in the field of historical fragment retrieval. Chapter ?? aims to explain how a ground truth is computed with the help of Deep Metric Learning (DML) for comparison later results. In Chapter ?? the reader will learn how different datasets are obtained with the help of binarization and inpainting techniques. Furthermore, it is stated how results differ if the DML algorithm of the previous chapter is evaluated onto the different datasets. The results of the best-performing dataset from the previous chapter are used to determine spatial positions of potential matching candidates. That approach is explained in the Chapter ??. A discussion about how the results of the different chapters determine the other results is stated in Chapter ??. Finally, a conclusion is presented in Chapter ??, where the reader will be informed about lessons learned and potential future work.

Chapter 2

State of the Art

In this chapter, we present an overview of the state-of-the art for this thesis. The common research field is computer vision and pattern recognition for cultural heritage. State-of-the-art presents the results of recent publications. Since numbers alone are not meaningful, the methods and exact contexts are also discussed. This includes approaches based on deep unsupervised metric learning, graph theory and data argumentation. Table ?? summarizes the key results and characteristics.

2.1 Deep Metric Learning

As indicated in the introduction, DML is a comparison-based algorithm and is therefore well suited for a field in which there is little ground truth. Pirone and his colleagues were the first who used DML in domain of papyri fragment retrieval. In their 2019 paper "Papy-S-Net : A Siamese Network to match papyrus fragments", they presented a so-called Siamese network that was able to correctly match 79% of the papyri fragments. In 2021, they further improved their approach. A dataset under a public domain was generated to better evaluate their results. Through certain experiments with different models and preprocessing steps, a top-1 accuracy of 0.73% was achieved. Because the authors communicated clearly what data was used, how it was prepared, and what metrics were used, the results from 2021 are much more reliable.

2.2 Graph Neural Networks

even nice results it seems that it is supervised on artificial data was just.

Task	Publication	Year	Method	Dataset	Public	Train Data	Val Data	Test Data	Metric	Result
Fragment Retrieval	Self-supervised deep metric learning for ancient papyrus fragments retrieval	2021	Self-supervised deep metric learning	Michigan	yes	800 papyri	100 papyri	100 papyri	Top-1 Accuracy	0.73
Fragment Retrieval	Self-supervised deep metric learning for ancient papyrus fragments retrieval	2021	Self-supervised deep metric learning	Hisfrag	yes	9000 papyri	1000 papyri	100 papyri	Top-1 Accuracy	0.87
Fragment Retrieval	Papy-S-Net: A Siamese Network to match papyrus fragments	2019	Siamese Network	B500	no	8500 patches	2000 patches	1000 patches (50 fragments)	True Pos. / Accuracy	0.79
Position Estimation	Using Graph Neural Networks to Reconstruct Ancient Documents	2021	Graph Neural Networks	B500 (subset)	no	3394 imgs	500 images	200 images	Accuracy	0.85
Data Augmentation	Data Augmentation Generative Adversarial Networks	2018	Generative Adversarial Networks	EMNIST	yes	-	-	-	Accuracy	+0.13

Table 2.1: The table summarizes the state-of-the-art publications for this thesis. In addition to the results and metrics used, other features are also presented.

2.3 Data Augmentation

Until now there is no specific paper about that topic. But its suggested by prirone et al to do it.

Chapter 3

Algorithms as Puzzle Helper

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

3.1 Goals and Questions

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

3.2 Methods

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

3.3 Results

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

3.4 Evaluation

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat.

Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

Chapter 4

Separating Text and Papyrus Fibers

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

4.1 Goals and Questions

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

4.2 Methods

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

4.3 Results

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

4.4 Evaluation

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat.

Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

Chapter 5

Generating Historical Documents

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

5.1 Goals and Questions

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

5.2 Methods

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

5.3 Results

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

5.4 Evaluation

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat.

Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

Chapter 6

Exploding Papyrus Fibers

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

6.1 Goals and Questions

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

6.2 Methods

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

6.3 Results

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

6.4 Evaluation

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat.

Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

Chapter 7

Discussion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

7.1 Impact of Text and Fiber Separation

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

7.2 Impact of Generating Artificial Data

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

7.3 Impact of Exploiting the Fibers

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

Chapter 8

Conclusion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

8.1 Learnings and Findings

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

8.2 Future Work

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

Appendix A

Appendix

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nam volutpat gravida nulla eu suscipit. Nulla hendrerit erat lectus, ac finibus ligula ornare nec. Donec mattis ultricies varius. Sed maximus fermentum ipsum, vitae vulputate urna molestie ac. Duis hendrerit accumsan mattis. Donec condimentum, velit quis ultrices mattis, quam nulla tincidunt risus, a iaculis est nulla quis urna. Morbi vel ligula fringilla, pharetra metus vitae, posuere sem. Vestibulum rutrum auctor nibh eget tincidunt. Sed molestie sollicitudin erat et venenatis. Morbi sollicitudin id nisl non feugiat. Nunc ipsum metus, semper nec varius sit amet, vulputate tincidunt nisl. Praesent eget arcu lacus. Fusce nec libero in elit pretium posuere. In cursus vel purus in congue. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Praesent ultricies et turpis vitae pharetra.

Integer porta, libero laoreet tristique vehicula, nisi nisl eleifend metus, suscipit laoreet nibh sapien nec nulla. Mauris facilisis sodales massa, eu fermentum leo suscipit sit amet. Vestibulum vel massa dolor. Integer scelerisque dictum tortor ac sollicitudin. Duis sem orci, vehicula vitae ex sed, porttitor mattis nisl. Proin rhoncus libero quis pharetra congue. Donec leo neque, pulvinar non ultricies sit amet, consequat vitae magna. Morbi eu turpis vel purus luctus porta. Suspendisse non congue felis. Nulla et orci eros. Praesent elementum tellus turpis, at ultricies quam porta faucibus. Suspendisse potenti. Suspendisse id viverra dolor. Sed tristique massa vitae urna ornare aliquam. Mauris malesuada, mi nec fringilla sodales, libero justo porta enim, a posuere diam nunc in elit.

Duis risus diam, dapibus id neque ut, ultricies fermentum orci. Aenean porta semper eros, id porttitor risus efficitur at. Praesent ut dolor ante. Curabitur nec sem nibh. Phasellus a ligula suscipit, ornare sapien a, pharetra sem. Duis euismod, massa ut vulputate finibus, justo orci egestas urna, eget mattis odio sapien vel tellus. Sed ac augue cursus, vulputate orci vitae, porttitor

risus. Sed vitae nunc in justo bibendum malesuada ac nec libero. Sed ac dolor elit. Praesent blandit nisl ut velit varius, vitae posuere elit lobortis. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia curae; Morbi non finibus sem. Maecenas sit amet est ut enim blandit facilisis at non purus. Maecenas dapibus orci eu felis posuere, nec fermentum dui porttitor.

Vivamus eget accumsan quam. Quisque vehicula est et ornare lacinia. Suspendisse mollis eros a malesuada aliquet. Vestibulum porta, lacus eget varius tempor, enim nunc accumsan nulla, sed viverra quam elit sed risus. Etiam commodo rutrum arcu, vitae semper enim interdum et. In aliquet venenatis erat. Vivamus nisl sem, gravida a ante et, interdum elementum ex. In tellus sem, cursus ut massa nec, luctus pellentesque nunc. Donec nunc nisi, porta a pulvinar sit amet, auctor ac orci. Mauris tincidunt erat a lectus aliquet elementum. Suspendisse vitae lorem eros. Nulla dapibus ex in malesuada porta.

Praesent ac enim massa. Aenean dignissim consequat dolor egestas dapibus. Pellentesque et magna ullamcorper, malesuada lectus a, ultricies ante. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Curabitur euismod id velit ac mattis. Mauris nec ipsum sed nisl iaculis consectetur. Nam ipsum lacus, luctus id ullamcorper non, maximus nec erat. Nunc tempor eu dui vitae suscipit. Maecenas facilisis libero ac malesuada sodales. Morbi ac neque nisl. Vestibulum vehicula tortor lorem, a vestibulum justo porttitor pulvinar. Ut ligula dolor, ullamcorper eget dui nec, tincidunt interdum leo. Aliquam tincidunt laoreet lectus non convallis. Proin lacinia, mauris ut imperdiet ullamcorper, lorem libero ornare lectus, in dictum purus justo in nulla.