

Transfer Report

by

Joshua Greenhalgh

May 16, 2017

Abstract

by [Joshua Greenhalgh](#)

The Thesis Abstract is written here (and usually kept to just this page). The page is kept centered vertically so can expand into the blank space above the title too...

Contents

Abstract	i
List of Figures	iv
List of Tables	v
Symbols	vi
1 Introduction	1
2 Literture	3
2.1 X-Ray CT	3
2.2 Non-Linear Optimisation	4
2.3 Deep Learning	7
2.3.1 Autoencoder	7
2.3.2 Convolutional Layers	7
2.3.3 Pooling Layers	7
2.3.4 Instance and Batch Normalisation	7
2.3.5 Activation Functions	7
2.3.6 Skip Connections	7
3 Non-Linear Optimisation	11
3.1 Methods	11
3.2 Results	13
3.3 Discussion	15
4 Deep Learning	20
4.1 Methods	20
4.1.1 U-Net Architecture	20
4.1.2 Sparse Angle reconstruction - Image Domain	22
4.1.3 Sparse Angle reconstruction - Projection Domain	24
4.1.4 Polychromatic Artefact removal	25
4.2 Results	28
4.2.1 Sparse Angle reconstruction - Image Domain	28
4.2.2 Sparse Angle reconstruction - Projection Domain	32
4.2.3 Polychromatic Artefact removal	32
4.3 Discussion	34

5 Conclusion	40
---------------------	-----------

Bibliography	42
---------------------	-----------

List of Figures

4.1	Training sample: fifty projections input and one thousand projections target	22
4.2	Training sample: twenty projections input and one thousand projections target	23
4.3	Training sample: ten projections input and one thousand projections target	23
4.4	Training sample: every 64 th projection kept for input and 512 projections for target	24
4.5	Training sample: every 32 nd projection kept for input and 512 projections for target	25
4.6	Training sample: every 16 th projection kept for input and 512 projections for target	26
4.7	Training sample: every 8 th projection kept for input and 512 projections for target	27
4.8	Unseen test result from network trained on fifty projections	29
4.9	Profile through centre of output image and input image compared with target for network trained on fifty projections	29
4.10	Unseen test result from network trained on twenty projections	29
4.11	Profile through centre of output image and input image compared with target for network trained on twenty projections	30
4.12	Unseen test result from network trained on ten projections	30
4.13	Profile through centre of output image and input image compared with target for network trained on ten projections	30
4.14	This is some figure side by side	35
4.15	Generic	35
4.16	Price regulation	35
4.17	Some general caption of all the figures. In (??) you can see a green square....	35

List of Tables

Symbols

Chapter 1

Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus

ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Chapter 2

Litrature

2.1 X-Ray CT

[\[1\]](#) [\[2\]](#) [\[3\]](#) [\[4\]](#) [\[5\]](#) [\[6\]](#) [\[7\]](#) [\[8\]](#) [\[9\]](#) [\[10\]](#) [\[11\]](#)

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis

bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

2.2 Non-Linear Optimisation

[12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34]

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque

gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla

commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit.

Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna

2.3 Deep Learning

2.3.1 Autoencoder

2.3.2 Convolutional Layers

2.3.3 Pooling Layers

2.3.4 Instance and Batch Normalisation

2.3.5 Activation Functions

2.3.6 Skip Connections

[\[35\]](#) [\[36\]](#) [\[37\]](#) [\[38\]](#) [\[39\]](#) [\[40\]](#) [\[41\]](#) [\[42\]](#) [\[43\]](#) [\[44\]](#) [\[45\]](#) [\[46\]](#) [\[47\]](#) [\[48\]](#) [\[49\]](#) [\[50\]](#) [\[51\]](#) [\[52\]](#) [\[53\]](#) [\[54\]](#)
[\[55\]](#) [\[56\]](#) [\[57\]](#) [\[58\]](#) [\[59\]](#) [\[60\]](#)

1. A general historical Intro
 - (a) Initial biological inspiration
 - (b) discussion of dark ages and inability to train large networks
 - (c) modern resurgence
 - (d) some discussion of state of the art models and results.
2. Convolutional networks
 - (a) skip connections
 - (b) relu
 - (c) batch normalisation
 - (d) GPU's
3. Applications to image restoration
 - (a) Noise removal
 - (b) inpainting
4. early applications to CT

5. recent applications to CT
 - (a) The u-net architecture
 - (b) Discussion of the papers
6. future possibilities with reference to full reconstruction from projections

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis

ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus

ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Chapter 3

Non-Linear Optimisation

3.1 Methods

1. Nine Month stuff
2. Regularisation TV + Wavelets
3. Basis functions
4. Multi filter (small problem + possibly simple on true ims)

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Pellentesque laoreet maximus ex, ac rutrum nibh porta sit amet. Fusce fringilla neque in vulputate bibendum. In accumsan sapien velit, vitae interdum augue ullamcorper eget. Proin eu elit neque. Curabitur convallis sed dui in posuere. Nulla nec volutpat urna, a scelerisque nulla. Praesent viverra nisl purus, eu ullamcorper ex lacinia viverra. Maecenas viverra, ex ac sollicitudin elementum, purus enim vehicula leo, non faucibus elit metus ut odio. In et elit arcu. Duis eu scelerisque lacus. Nulla quis nunc pretium, sagittis leo in, vestibulum massa. Integer vulputate quam turpis, vitae bibendum quam rhoncus quis. Integer mollis leo nec est convallis tempus. Nunc a imperdiet massa. Donec sit amet rhoncus lacus, eu semper eros. Fusce bibendum maximus finibus.

Duis quis sapien convallis, viverra libero sed, ultrices tortor. Pellentesque turpis erat, posuere in eros vitae, ullamcorper accumsan massa. Donec justo nibh, maximus vel maximus quis, aliquet in tellus. Aliquam viverra suscipit ultricies. In tortor metus, maximus sed nulla ornare, bibendum mattis enim. Duis eu tortor tempor quam tincidunt semper id tempor sapien. Morbi est massa, maximus quis lacus ac, tincidunt vulputate urna. Nulla facilisi. Etiam aliquet consectetur mi et mollis. Praesent faucibus iaculis ultricies. Ut suscipit felis eros, eget sagittis nunc sollicitudin in. Phasellus interdum

quam magna, at vulputate tortor pulvinar sit amet. Aenean pulvinar velit vel malesuada dictum. Donec congue fermentum metus, sit amet ultricies nunc rhoncus ut.

Nam pulvinar, augue et semper pretium, tellus tortor mollis orci, sit amet cursus neque nunc nec purus. Proin at vehicula libero, auctor aliquet orci. Duis congue sagittis malesuada. Curabitur pharetra, nulla eu bibendum sagittis, urna quam pharetra dui, eu lobortis dui urna ac ante. Donec id blandit nunc. Donec maximus magna nec enim dignissim dapibus. Nulla at orci vitae tortor eleifend hendrerit. Pellentesque consequat nunc eget sem varius, dapibus malesuada orci feugiat. Nunc sed arcu id elit maximus commodo. Integer vel tellus non lacus elementum scelerisque et sed elit. Proin sagittis risus eget tortor sagittis pharetra. Vestibulum porta neque eget sapien auctor, id porttitor libero accumsan. Aliquam erat volutpat. Duis vel varius diam. Fusce non neque sed ante scelerisque laoreet. Maecenas tempus lorem ac sem rutrum, ac consequat nisl congue.

Vivamus quis blandit nisl. Vestibulum interdum nisl nec blandit aliquam. Etiam dignissim, ex et facilisis maximus, quam enim vestibulum ipsum, ac rutrum mauris dolor non lacus. Aliquam ac euismod mi, dictum tempus lectus. Fusce a risus vehicula, vulputate enim at, dictum magna. Aliquam ultricies nec libero a fringilla. Praesent sed neque dapibus risus facilisis dignissim in eu velit. Vestibulum libero tortor, ultrices vel diam aliquam, tincidunt feugiat dolor. Donec quis laoreet velit, a pellentesque diam. Mauris a pellentesque metus. Proin at tristique mi, pulvinar suscipit dolor.

Vestibulum sollicitudin interdum porttitor. Donec facilisis turpis in vestibulum ultrices. Morbi erat diam, pharetra nec lectus sed, scelerisque accumsan augue. Morbi aliquam dui nec urna auctor pretium. Pellentesque eu dignissim ante. Nulla imperdiet diam at odio auctor scelerisque. Aliquam erat volutpat. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed bibendum, tellus nec gravida sagittis, lacus mi fermentum neque, at finibus risus ipsum at ante.

Pellentesque rutrum urna accumsan ligula ultricies ornare. Nulla sollicitudin nibh vitae odio dignissim suscipit. Fusce aliquam posuere consectetur. Sed sit amet congue elit, quis aliquam purus. Sed dolor eros, molestie sit amet scelerisque tempus, consequat at nibh. Suspendisse faucibus nibh ut leo placerat, eu suscipit lorem malesuada. Vivamus eleifend vulputate ante. Ut et viverra arcu. Phasellus rutrum in elit sit amet fringilla. Vestibulum vestibulum magna ut tincidunt ultrices. Aliquam eu nibh sed nunc tristique finibus et id ex.

Nam eget dolor condimentum nisl aliquet rutrum. Integer volutpat, mauris in ullamcorper rutrum, sapien ligula euismod urna, ac scelerisque eros ipsum at nulla. Vestibulum

auctor suscipit facilisis. Vivamus pharetra eget est at pulvinar. Aenean facilisis consequat orci vel tincidunt. Duis vitae leo mauris. Nunc laoreet molestie nulla et molestie. Etiam gravida tempus laoreet. Vivamus at eros molestie, semper ex in, pulvinar neque. In quam ex, placerat ac ipsum sit amet, pretium bibendum eros. Duis feugiat laoreet diam, a rhoncus tellus dignissim quis. Suspendisse pretium, sapien sed fringilla aliquam, mauris nisl elementum tortor, a feugiat leo nisl nec ipsum. Suspendisse orci mi, luctus in rutrum in, pulvinar sit amet tortor. Morbi suscipit arcu arcu, eu consequat metus tempus vel. Praesent convallis, orci et finibus euismod, magna odio ornare ligula, sed congue erat ipsum quis lacus.

Fusce ut fringilla ante. Etiam ac interdum dui. Curabitur mattis ac tellus non tempus. Pellentesque et ex vitae felis dapibus cursus. Aliquam erat.

3.2 Results

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin

mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla

eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

3.3 Discussion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor,

mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis

ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Chapter 4

Deep Learning

4.1 Methods

1. Image 2 Image, limited angle / limited dose
2. Sino 2 Sino
3. Poly 2 Mono
4. GAN???

Here will be an outline of what is to come in this section

4.1.1 U-Net Architecture

In this section the structure of the U-Net architecture will be described. This network structure is used with variations for all the models which follow. The underlying structure is based on the standard architecture used in classification problems with the addition of an expansive path which upsamples the features. There exist similarities with the structure found in autoencoders. The initial half of the network can be thought of as an encoding structure followed by a decoding structure in the second half. In contrast to the usual compressive nature of an autoencoder the U-Net downsamples the image dimension but increases the number of channels and so in the centre of the architecture there is not a decrease in the number of features. A schematic of the network can be seen in figure ??.

The first half of the network is structured in the following way;

- Stage 1: Input image of size $256 \times 256 \times 1$ is passed through three layers of $3 \times 3 \times 64$ padded convolutions resulting in an output of size $256 \times 256 \times 64$. Before each layer instance normalisation is applied and following each layer the output is passed through a ReLU activation function. After the three convolution layers a 2×2 max pooling operation is applied in order to downsample the image by a factor of two resulting in an output of size $128 \times 128 \times 64$.
- Stages 2-4 : Each stage consists of 2 layers of $3 \times 3 \times k$ padded convolutions, such that k doubles at each stage. Instance normalisation is applied before each layer and ReLU activation is applied after each layer. The final layer in each stage is 2×2 max pooling operation. After stage four the output is of size $32 \times 32 \times 512$.
- Stage 5 : The same as in stages 2-4 without a final max pool layer. The resulting output size is $16 \times 16 \times 1024$.

In a standard classification network the above would be followed by a fully connected layer which would be used to give class probabilities. However in the U-Net a symmetric expansive path is now added. The second half of the network is structured as follows;

- Stage 1 : A transposed convolution layer is now applied to upsample the image to be of size $32 \times 32 \times 1024$. Instance normalisation is then applied followed by skip connecting via concatenation of the output with the corresponding output from stage 4 of the first half of network resulting in an output of size $32 \times 32 \times 1024 + 512$. This is now followed by 2 layers of standard padded $3 \times 3 \times 512$ convolutions. Instance normalisation is applied before each layer and ReLU activation is applied after each layer.
- Stage 2-4 : Each stage begins with an upsampling transposed convolution followed by a skip concatenation from the corresponding stage of the first half of the network. This is followed by two layers of standard convolutions. Instance normalisation is applied before each layer and ReLU activation is applied after each layer. At the end of stage four the output is of size $256 \times 256 \times 64$.
- Stage 5 : The final stage of the network is a $1 \times 1 \times 1$ convolution layer without a nonlinearity applied. The final output is of size $256 \times 256 \times 1$ matching the initial network input size.

The various models in the next sections have slight variations on the above structure, mainly focused on the final stage of the second half of the network, which will be described below. All networks are however trained using Adam optimisation algorithm with a simple least squares loss between network outputs and target.

4.1.2 Sparse Angle reconstruction - Image Domain

In this model the aim is to train the network to learn a mapping between reconstructions with sparse angular projections and reconstructions with more densely sampled angular projections. The data used to train this network consists of five hundred pairs of FBP reconstructions, along with a validation set of one hundred pairs and a test set of a further five hundred image pairs. Each training sample given to the network (x_i, y_i) such that $x_i, y_i \in \mathbb{R}^{256 \times 256 \times 1}$, where x_i is the input a sparsely sampled reconstruction and y_i is the target a densely sampled reconstruction. Samples are passed into the network one at a time with weight update applied after each sample.

Three training sets were constructed which had successively sparser angular sampling. The first set consisted of reconstructions calculated, using ODL, from fifty projections equally spaced between 0 and 2π radians consisting of five hundred detector elements. The second and third had twenty and ten equally spaced projections respectively. Examples of training pairs can be seen in figures 4.1, 4.2 and 4.3. The projections were calculated based on a simulated phantom consisting of two materials. A main square region made of one material with a series of random circular regions of various sizes and locations. Materials used were not chosen with any physical properties in mind. Projections were implemented using Astra's parallel geometry projection operator on the GPU.

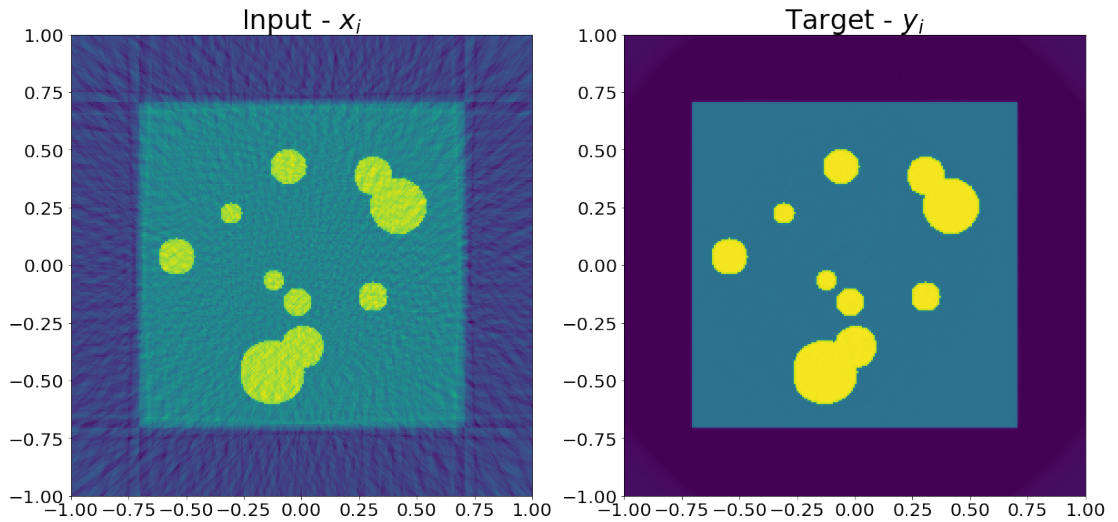


FIGURE 4.1: Training sample: fifty projections input and one thousand projections target

The U-Net architecture previously described was used with the addition of a final skip connection connecting the input layer to the output layer. This connection is not a concatenation as used in lower layers but instead the input image is added elementwise

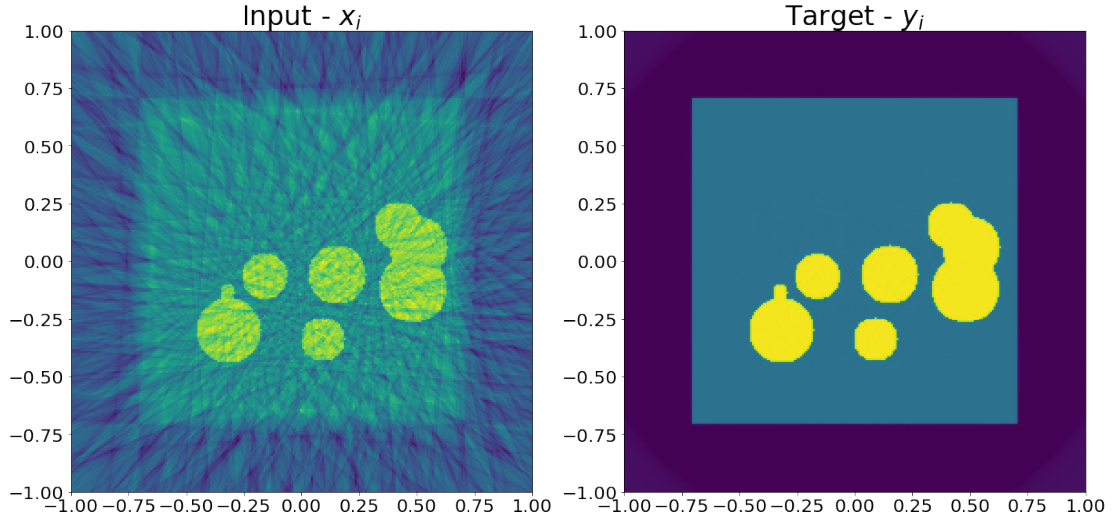


FIGURE 4.2: Training sample: twenty projections input and one thousand projections target

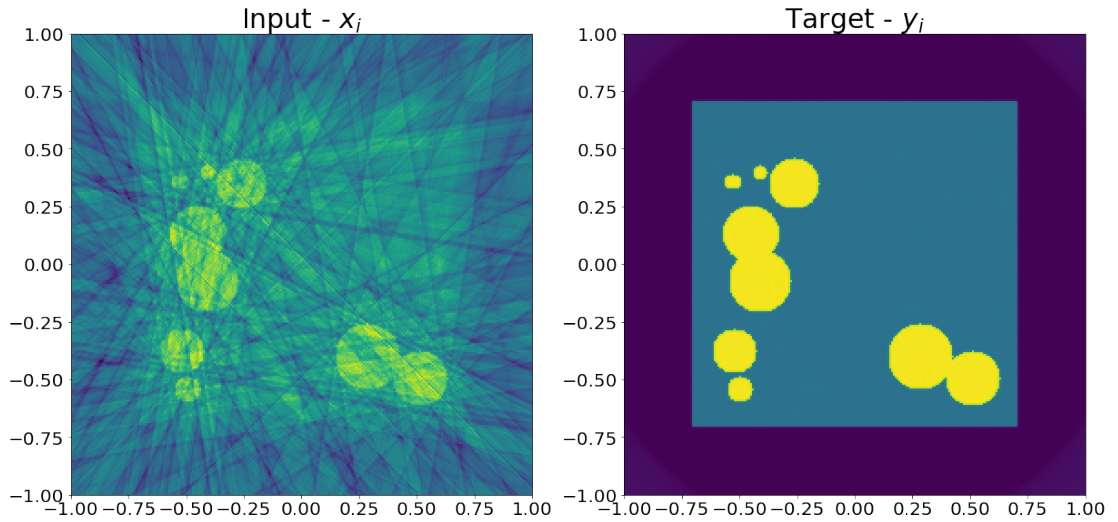


FIGURE 4.3: Training sample: ten projections input and one thousand projections target

to the output of the network. This means that the network is not trying to learn a direct mapping but is instead trying to learn the structure of the negative residual, the noise, between input and label.

The model was trained over ten epochs, full cycles through all training data, using the Adam optimisation algorithm with a fixed learning rate of 0.001.

4.1.3 Sparse Angle reconstruction - Projection Domain

In this section a model with a similar goal as above will be described. The main difference will be that the network will work in the projection, or sinogram, domain rather than in the image domain. The U-Net architecture will be used to learn a mapping from sparsely sampled sinograms to more densely sampled output sinograms. The training data for this model was again constructed using the same phantom as previously described. Now the training samples (x_i, y_i) are such that $x_i, y_i \in \mathbb{R}^{256 \times 256 \times 1}$. The input to the network x_i will be a zero padded $256 \times 256 \times 1$ sinogram, whilst the target y_i will be a densely sampled sinogram. These samples were constructed by calculating projections at 512 equally spaced angles between 0 and 2π radians, this is the target, and then removing all projections apart from every k^{th} for $k = 8, 16, 32, 64$. The projections were calculated using Astra's parallel geometry projection operator on the GPU. Examples of these training samples can be seen in figures 4.4, 4.5, 4.6 and 4.7.

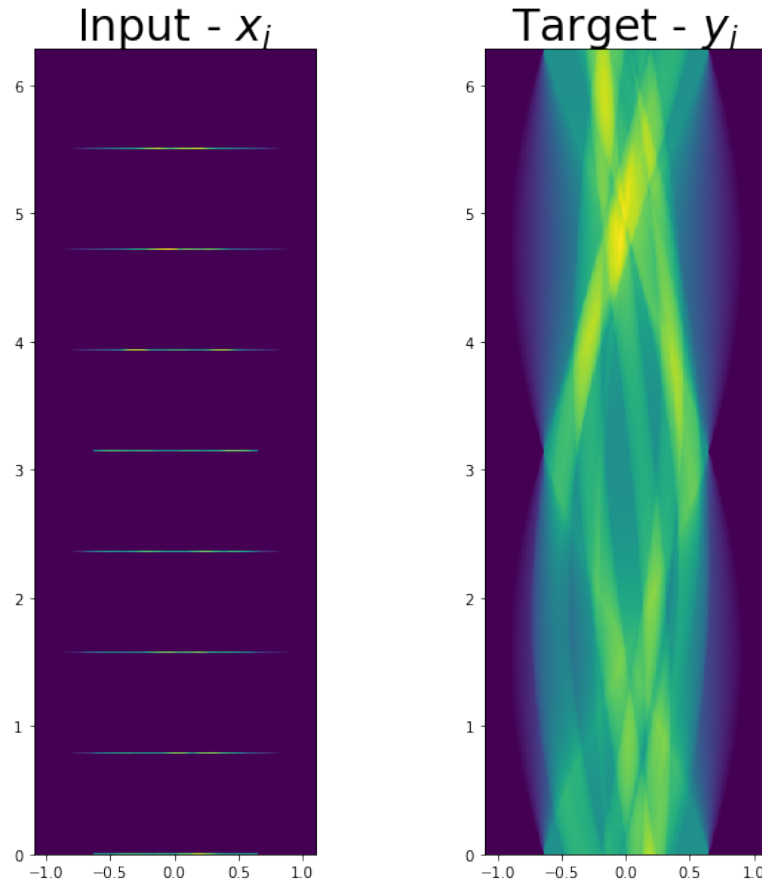


FIGURE 4.4: Training sample: every 64^{th} projection kept for input and 512 projections for target

For this model it was necessary to make some alteration to the transposed convolution layers due to the non-square nature of the input, other than this alteration the model is the same as described above. Again the network was attempting to learn a mapping

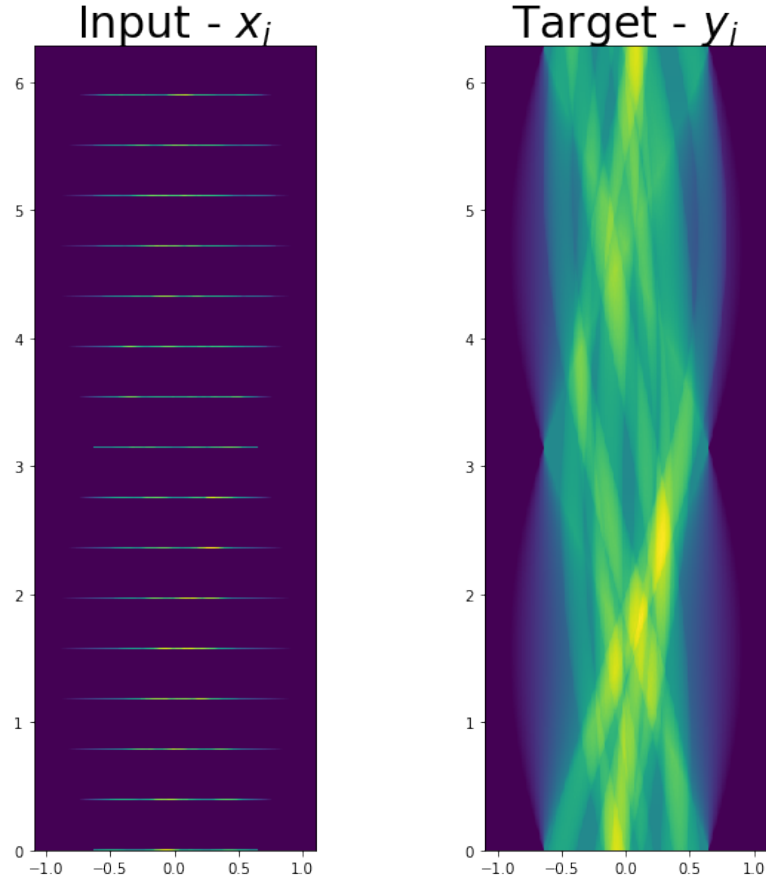


FIGURE 4.5: Training sample: every 32^{nd} projection kept for input and 512 projections for target

from the input to the residual, the output of the network should be what is needed to add elementwise to the input to obtain the target. This is essentially the task of imputing the missing projections.

As above this model was trained over ten epochs using the Adam optimisation algorithm with a fixed learning rate of 0.001.

4.1.4 Polychromatic Artefact removal

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Pellentesque laoreet maximus ex, ac rutrum nibh porta sit amet. Fusce fringilla neque in vulputate bibendum. In accumsan sapien velit, vitae interdum augue ullamcorper eget. Proin eu elit neque. Curabitur convallis sed dui in posuere. Nulla nec volutpat urna, a scelerisque nulla. Praesent viverra nisl purus, eu ullamcorper ex lacinia viverra. Maecenas viverra, ex ac sollicitudin elementum, purus enim vehicula leo, non faucibus elit metus ut odio. In et elit arcu. Duis eu scelerisque lacus. Nulla quis nunc pretium, sagittis leo in, vestibulum massa. Integer vulputate quam turpis, vitae bibendum quam rhoncus quis. Integer

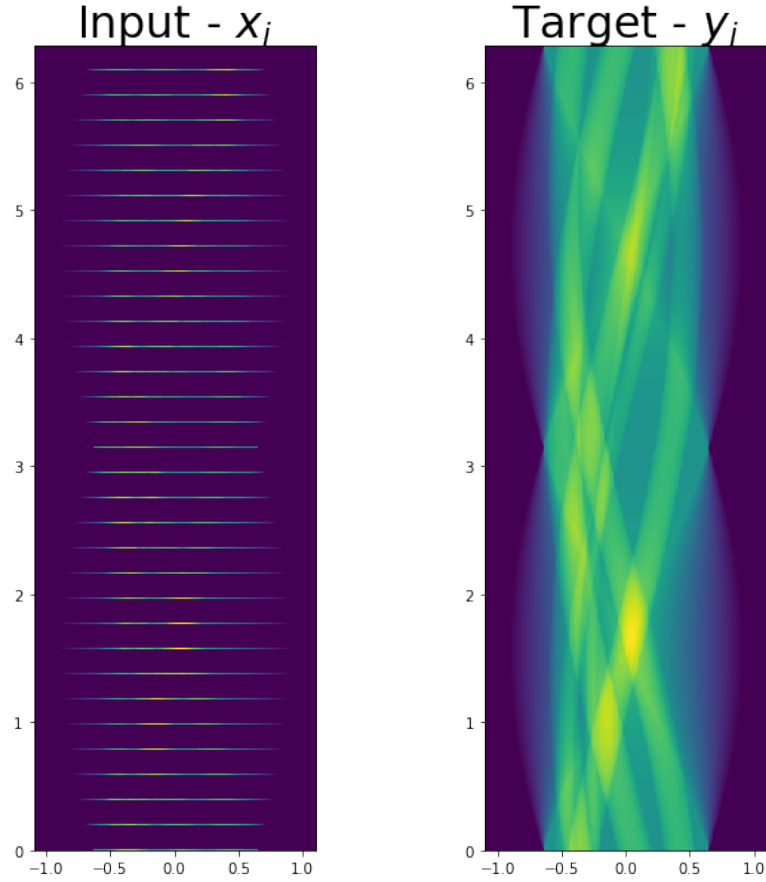


FIGURE 4.6: Training sample: every 16th projection kept for input and 512 projections for target

mollis leo nec est convallis tempus. Nunc a imperdiet massa. Donec sit amet rhoncus lacus, eu semper eros. Fusce bibendum maximus finibus.

Duis quis sapien convallis, viverra libero sed, ultrices tortor. Pellentesque turpis erat, posuere in eros vitae, ullamcorper accumsan massa. Donec justo nibh, maximus vel maximus quis, aliquet in tellus. Aliquam viverra suscipit ultricies. In tortor metus, maximus sed nulla ornare, bibendum mattis enim. Duis eu tortor tempor quam tincidunt semper id tempor sapien. Morbi est massa, maximus quis lacus ac, tincidunt vulputate urna. Nulla facilisi. Etiam aliquet consectetur mi et mollis. Praesent faucibus iaculis ultricies. Ut suscipit felis eros, eget sagittis nunc sollicitudin in. Phasellus interdum quam magna, at vulputate tortor pulvinar sit amet. Aenean pulvinar velit vel malesuada dictum. Donec congue fermentum metus, sit amet ultricies nunc rhoncus ut.

Nam pulvinar, augue et semper pretium, tellus tortor mollis orci, sit amet cursus neque nunc nec purus. Proin at vehicula libero, auctor aliquet orci. Duis congue sagittis malesuada. Curabitur pharetra, nulla eu bibendum sagittis, urna quam pharetra dui, eu lobortis dui urna ac ante. Donec id blandit nunc. Donec maximus magna nec enim dignissim dapibus. Nulla at orci vitae tortor eleifend hendrerit. Pellentesque

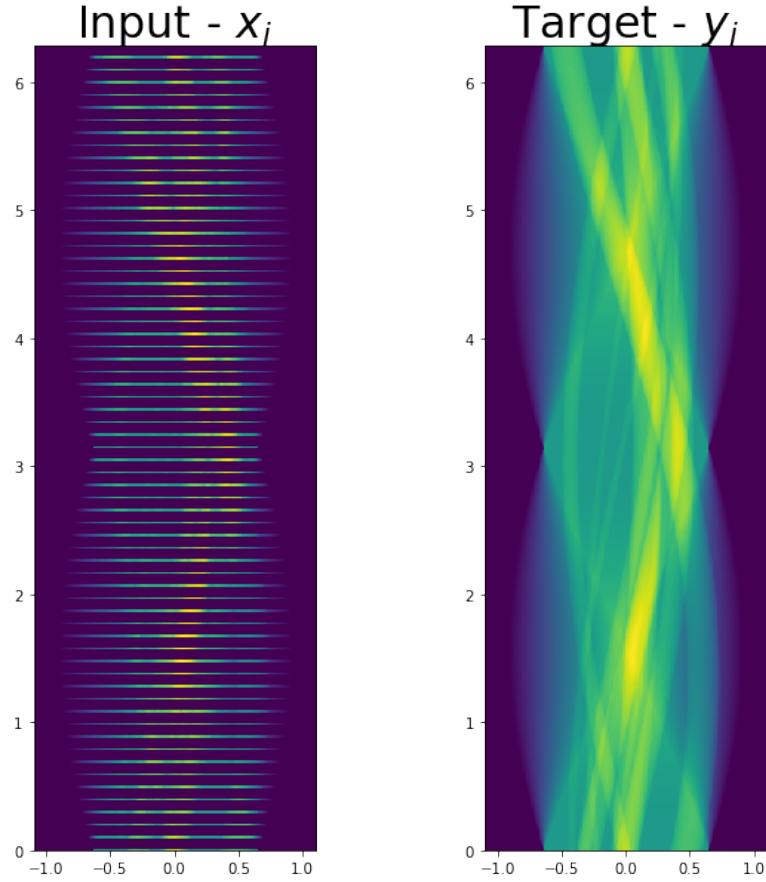


FIGURE 4.7: Training sample: every 8th projection kept for input and 512 projections for target

consequat nunc eget sem varius, dapibus malesuada orci feugiat. Nunc sed arcu id elit maximus commodo. Integer vel tellus non lacus elementum scelerisque et sed elit. Proin sagittis risus eget tortor sagittis pharetra. Vestibulum porta neque eget sapien auctor, id porttitor libero accumsan. Aliquam erat volutpat. Duis vel varius diam. Fusce non neque sed ante scelerisque laoreet. Maecenas tempus lorem ac sem rutrum, ac consequat nisl congue.

Vivamus quis blandit nisl. Vestibulum interdum nisl nec blandit aliquam. Etiam dignissim, ex et facilisis maximus, quam enim vestibulum ipsum, ac rutrum mauris dolor non lacus. Aliquam ac euismod mi, dictum tempus lectus. Fusce a risus vehicula, vulputate enim at, dictum magna. Aliquam ultricies nec libero a fringilla. Praesent sed neque dapibus risus facilisis dignissim in eu velit. Vestibulum libero tortor, ultrices vel diam aliquam, tincidunt feugiat dolor. Donec quis laoreet velit, a pellentesque diam. Mauris a pellentesque metus. Proin at tristique mi, pulvinar suscipit dolor.

Vestibulum sollicitudin interdum porttitor. Donec facilisis turpis in vestibulum ultrices. Morbi erat diam, pharetra nec lectus sed, scelerisque accumsan augue. Morbi aliquam dui nec urna auctor pretium. Pellentesque eu dignissim ante. Nulla imperdiet diam at

odio auctor scelerisque. Aliquam erat volutpat. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed bibendum, tellus nec gravida sagittis, lacus mi fermentum neque, at finibus risus ipsum at ante.

Pellentesque rutrum urna accumsan ligula ultricies ornare. Nulla sollicitudin nibh vitae odio dignissim suscipit. Fusce aliquam posuere consectetur. Sed sit amet congue elit, quis aliquam purus. Sed dolor eros, molestie sit amet scelerisque tempus, consequat at nibh. Suspendisse faucibus nibh ut leo placerat, eu suscipit lorem malesuada. Vivamus eleifend vulputate ante. Ut et viverra arcu. Phasellus rutrum in elit sit amet fringilla. Vestibulum vestibulum magna ut tincidunt ultrices. Aliquam eu nibh sed nunc tristique finibus et id ex.

Nam eget dolor condimentum nisl aliquet rutrum. Integer volutpat, mauris in ullamcorper rutrum, sapien ligula euismod urna, ac scelerisque eros ipsum at nulla. Vestibulum auctor suscipit facilisis. Vivamus pharetra eget est at pulvinar. Aenean facilisis consequat orci vel tincidunt. Duis vitae leo mauris. Nunc laoreet molestie nulla et molestie. Etiam gravida tempus laoreet. Vivamus at eros molestie, semper ex in, pulvinar neque. In quam ex, placerat ac ipsum sit amet, pretium bibendum eros. Duis feugiat laoreet diam, a rhoncus tellus dignissim quis. Suspendisse pretium, sapien sed fringilla aliquam, mauris nisl elementum tortor, a feugiat leo nisl nec ipsum. Suspendisse orci mi, luctus in rutrum in, pulvinar sit amet tortor. Morbi suscipit arcu arcu, eu consequat metus tempus vel. Praesent convallis, orci et finibus euismod, magna odio ornare ligula, sed congue erat ipsum quis lacus.

Fusce ut fringilla ante. Etiam ac interdum dui. Curabitur mattis ac tellus non tempus. Pellentesque et ex vitae felis dapibus cursus. Aliquam erat.

4.2 Results

4.2.1 Sparse Angle reconstruction - Image Domain

Average Test loss : 2.12240107143

Average Test loss : 2.34353055954

Average Test loss : 10.7825043774

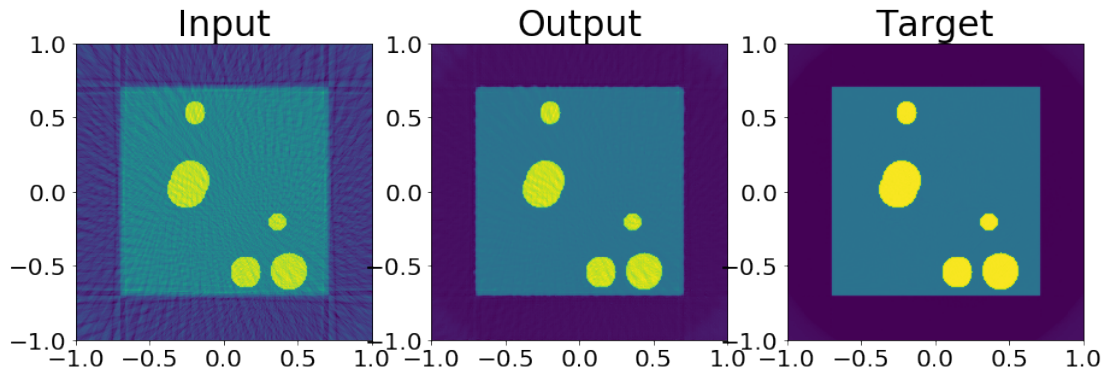


FIGURE 4.8: Unseen test result from network trained on fifty projections

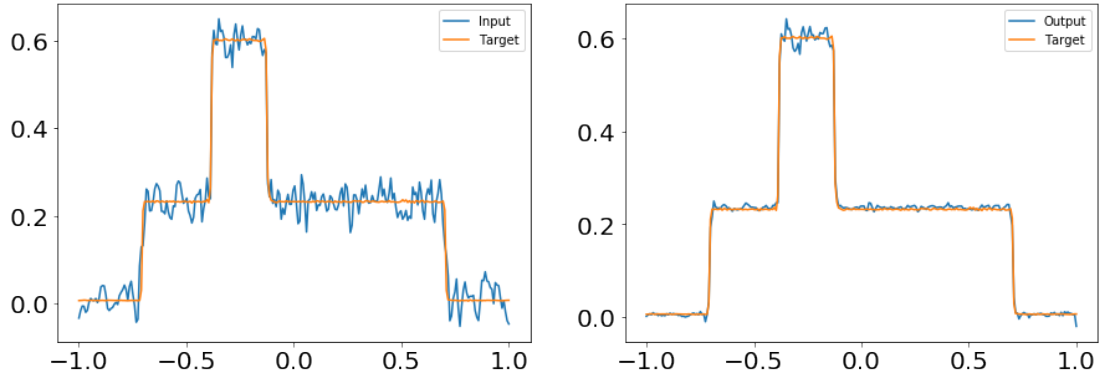


FIGURE 4.9: Profile through centre of output image and input image compared with target for network trained on fifty projections

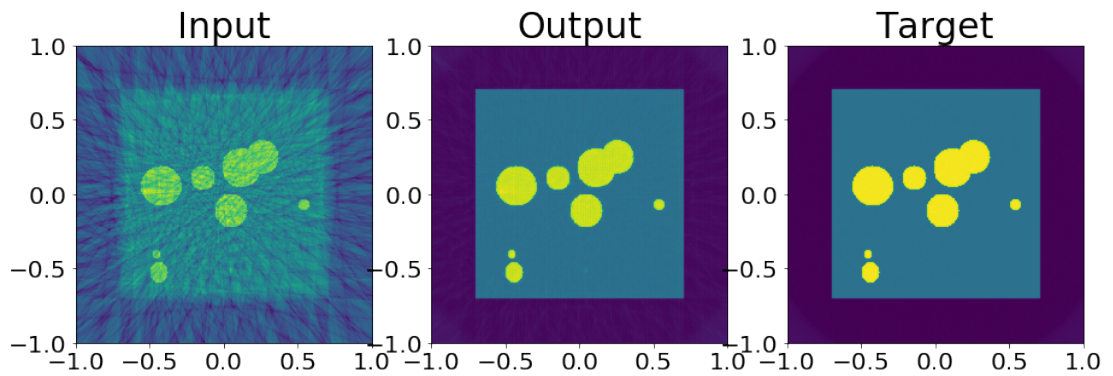


FIGURE 4.10: Unseen test result from network trained on twenty projections

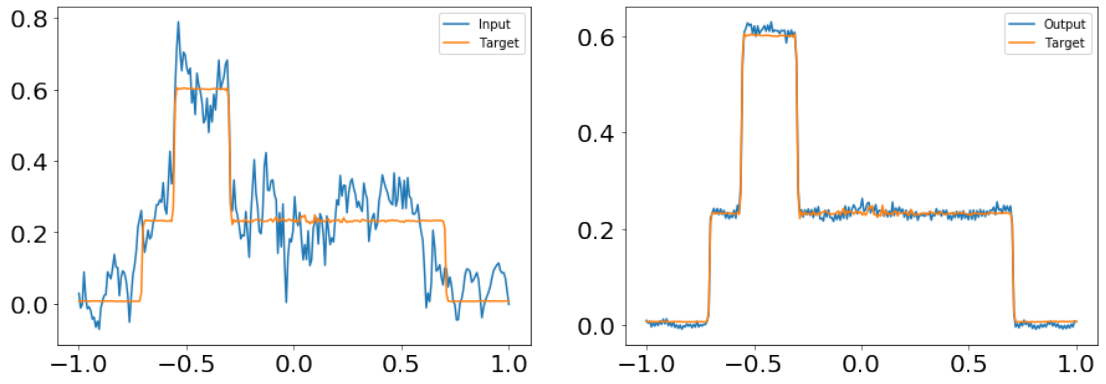


FIGURE 4.11: Profile through centre of output image and input image compared with target for network trained on twenty projections

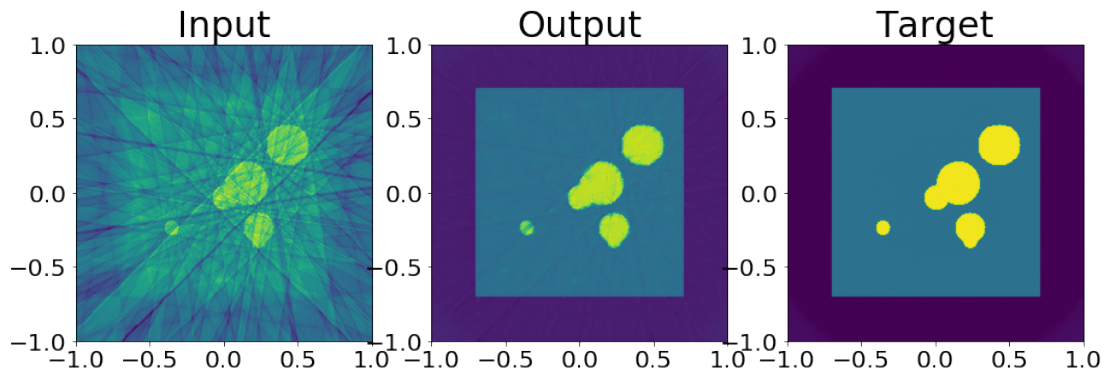


FIGURE 4.12: Unseen test result from network trained on ten projections

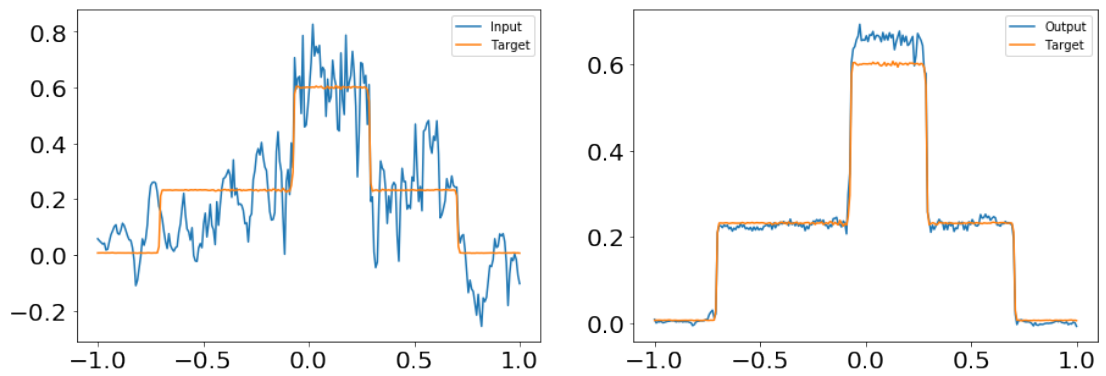
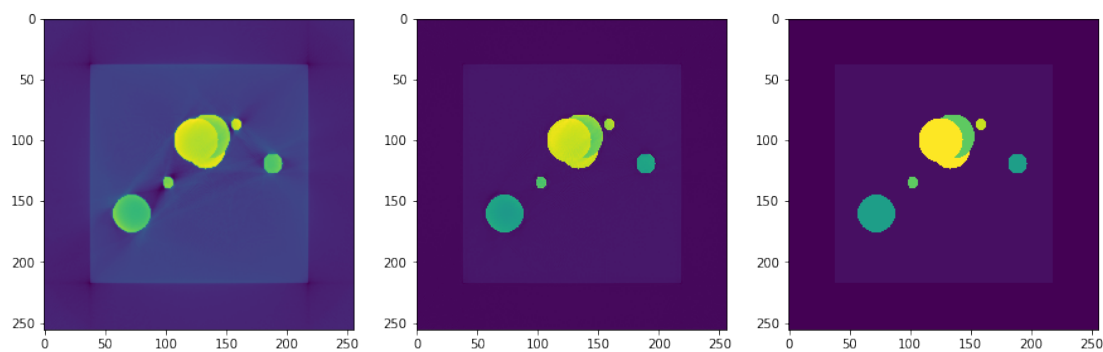
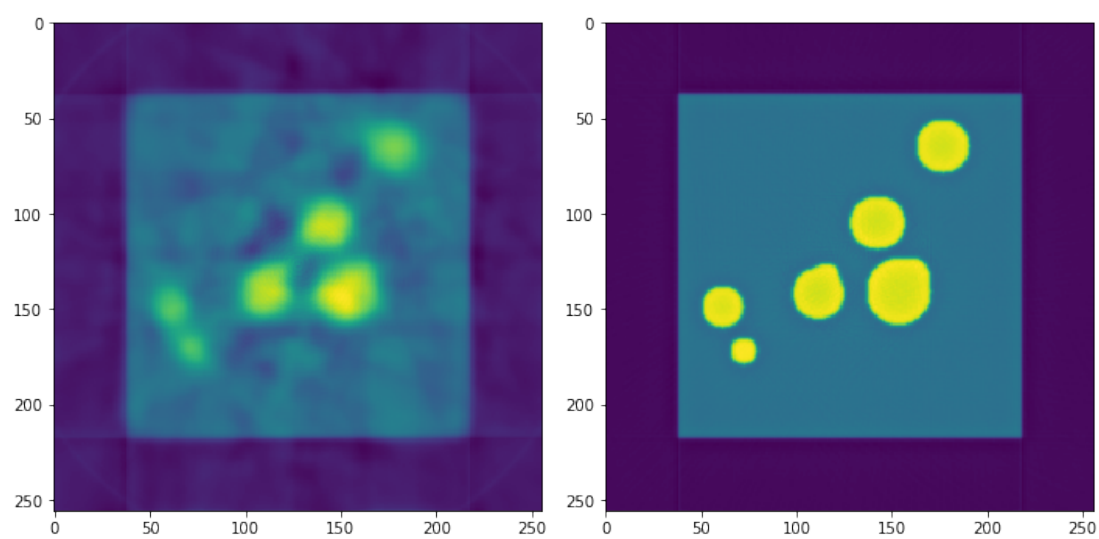
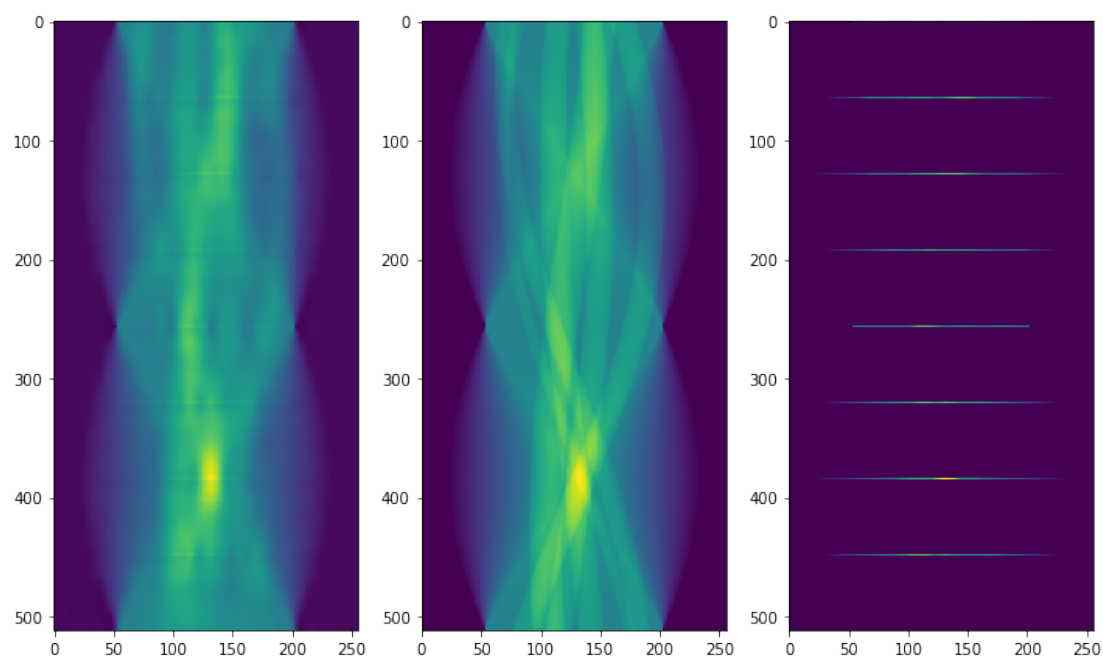


FIGURE 4.13: Profile through centre of output image and input image compared with target for network trained on ten projections



4.2.2 Sparse Angle reconstruction - Projection Domain

4.2.3 Polychromatic Artefact removal

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat,

pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non

molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

4.3 Discussion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus.

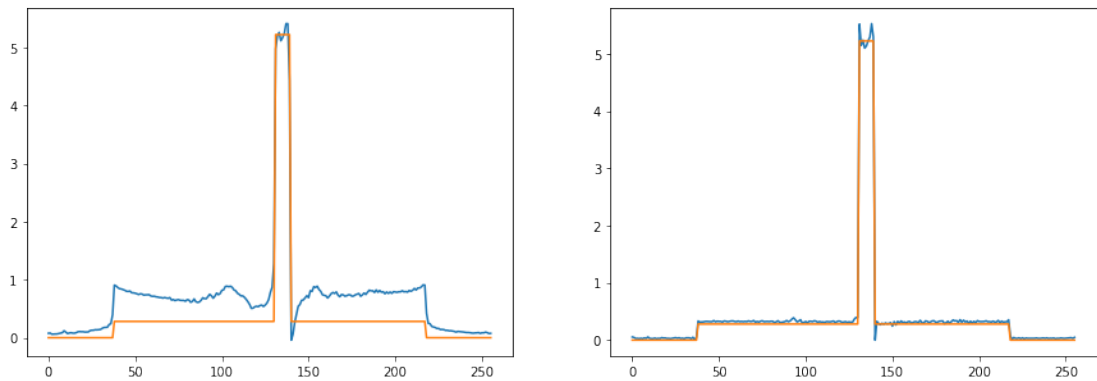


FIGURE 4.14: This is some figure side by side

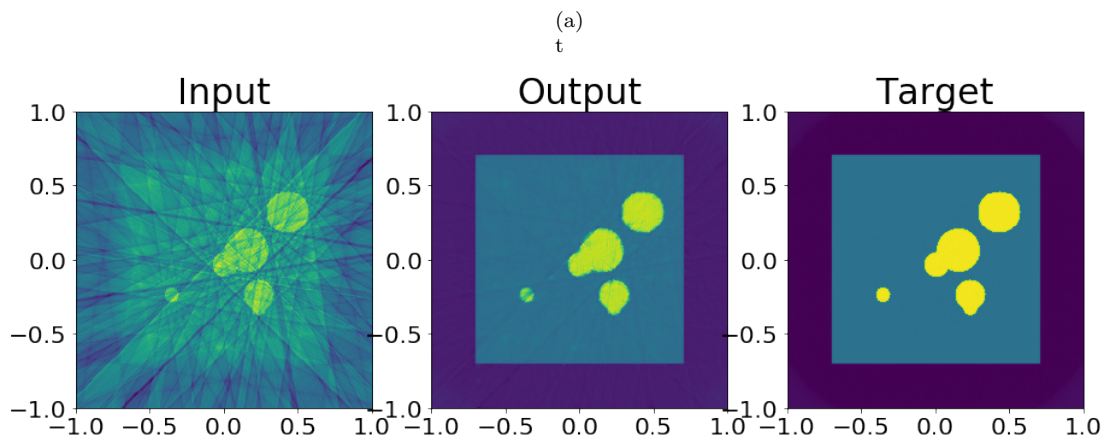


FIGURE 4.15: Generic

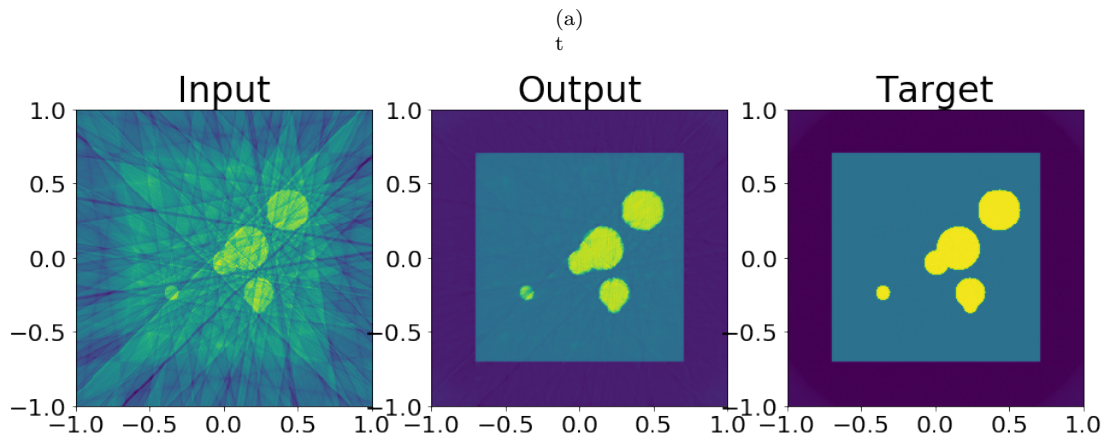


FIGURE 4.16: Price regulation

FIGURE 4.17: Some general caption of all the figures. In (??) you can see a green square....

Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque,

semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero

id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit.

Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Chapter 5

Conclusion

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Phasellus ut libero consequat, egestas ex sed, venenatis odio. Sed dictum cursus cursus. Cras dictum, metus in gravida maximus, ante risus tristique elit, at dignissim ipsum nibh a ex. Aliquam sit amet sodales eros. In lectus enim, feugiat eget massa nec, ultricies aliquam turpis. Nulla facilisi. Nulla commodo imperdiet erat, vitae interdum dolor bibendum a. Morbi feugiat ultrices libero id tincidunt. Vivamus luctus erat in fringilla pellentesque. Vivamus nec lorem tempor, mattis eros vel, egestas dui. Vestibulum scelerisque condimentum dolor. Proin convallis nulla dolor.

Donec eu tortor eget eros tincidunt fringilla. Curabitur fermentum vel magna sit amet consequat. Integer egestas lorem vel purus dictum facilisis. Duis sit amet urna ac neque gravida facilisis. Maecenas et erat ut eros laoreet fringilla. Quisque id turpis scelerisque, semper elit sit amet, consequat dolor. Vestibulum mauris turpis, viverra tempus justo vel, faucibus accumsan quam.

Nulla facilisi. Proin a ornare purus. Suspendisse sit amet sem malesuada, lobortis magna vitae, tincidunt leo. Sed in eros velit. Integer non odio nec arcu pharetra congue. Nulla eleifend tempor arcu. Proin odio nibh, dictum vitae diam sit amet, viverra rhoncus tortor. Nulla facilisi. Mauris id ligula quis ipsum accumsan eleifend. Sed vel neque lectus. Morbi vulputate tellus ut vestibulum bibendum. Etiam eu orci ut arcu porta scelerisque eu vitae turpis. Nullam orci nulla, venenatis quis tellus vel, vehicula bibendum metus.

Nulla placerat augue porttitor, condimentum tellus vel, pellentesque nulla. Ut sodales volutpat mauris. Phasellus facilisis arcu nisi, vitae aliquam augue finibus in. Donec quis bibendum arcu. Nunc viverra massa sed imperdiet tristique. Phasellus vel sollicitudin mi. Sed malesuada egestas sodales. Maecenas feugiat neque vitae vehicula laoreet. Vestibulum quis accumsan lorem. Suspendisse elementum mi a elit sagittis, vel rhoncus

ex viverra. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Cras lacinia, felis malesuada tristique luctus, sem odio iaculis massa, non molestie nulla est sit amet purus. Suspendisse id nisl ante. Donec lacus odio, vestibulum lobortis tristique id, venenatis vel dui.

Nullam vestibulum imperdiet pharetra. Integer venenatis posuere arcu a ultricies. Mauris vulputate elit ac arcu volutpat convallis. Fusce ultricies mauris ligula, vel mattis ex auctor nec. Fusce suscipit lacus id hendrerit condimentum. Praesent porttitor arcu quis tincidunt maximus. Nulla pulvinar mi enim, vel laoreet nunc blandit at. Maecenas volutpat nec magna eget pharetra. Aenean non nunc sagittis, rutrum lacus volutpat, pharetra dolor. Quisque diam lacus, condimentum sed dictum a, ornare in diam. Ut eu ante quis dui ullamcorper varius ut id diam. Aenean sit amet ornare tortor. Etiam mollis convallis odio. Mauris ut pulvinar odio.

Etiam malesuada eros risus, id volutpat mi imperdiet eu. Donec cursus lacus nunc, auctor tincidunt arcu fermentum nec. Donec est velit, eleifend eu fringilla ut, rhoncus et nisi. Aenean libero odio, congue at justo sit amet, volutpat suscipit turpis. Ut at finibus nulla. Fusce tincidunt eu mauris in suscipit. Sed suscipit ultricies risus in hendrerit. Donec et est interdum, tempus purus ac, lobortis elit. Fusce fringilla ex tempor diam tincidunt, cursus laoreet urna.

Bibliography

- [1] J Radon. On the Determination of Functions from Their Integral Values along Certain Manifolds. *IEEE transactions on medical imaging*, 5(4):170–176, 1986. ISSN 0278-0062. doi: 10.1109/TMI.1986.4307775.
- [2] Julia F Barrett and Nicholas Keat. Artifacts in ct: recognition and avoidance 1. *Radiographics*, 24(6):1679–1691, 2004.
- [3] AK Hunter and WD McDavid. Characterization and correction of cupping effect artefacts in cone beam ct. *Dentomaxillofacial Radiology*, 2014.
- [4] Joseph P Hornak. The basics of mri, 2008. URL <http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/index.html>, 68, 2008.
- [5] Adam Alessio and Paul Kinahan. Pet image reconstruction. *Nuclear Medicine*, 2, 2006.
- [6] Richard Gordon. A tutorial on art (algebraic reconstruction techniques). *Nuclear Science, IEEE Transactions on*, 21(3):78–93, 1974.
- [7] Anders H Andersen and Avinash C Kak. Simultaneous algebraic reconstruction technique (sart): a superior implementation of the art algorithm. *Ultrasonic imaging*, 6(1):81–94, 1984.
- [8] A Van der Sluis and HA Van der Vorst. Numerical solution of large, sparse linear algebraic systems arising from tomographic problems. In *Seismic tomography*, pages 49–83. Springer, 1987.
- [9] Thorsten M Buzug. *Computed tomography: from photon statistics to modern cone-beam CT*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [10] Godfrey N Hounsfield. Computerized transverse axial scanning (tomography): Part 1. description of system. *The British journal of radiology*, 46(552):1016–1022, 1973.
- [11] Andrew Lippman. A Unifying View of Image Similarity. (September):1–5, 2000.

- [12] Theano Development Team. Theano: A Python framework for fast computation of mathematical expressions. *arXiv e-prints*, abs/1605.02688, May 2016. URL <http://arxiv.org/abs/1605.02688>.
- [13] Wim van Aarle, Willem Jan Palenstijn, Jan De Beenhouwer, Thomas Altantzis, Sara Bals, K. Joost Batenburg, and Jan Sijbers. The {ASTRA} toolbox: A platform for advanced algorithm development in electron tomography. *Ultramicroscopy*, 157:35 – 47, 2015. ISSN 0304-3991. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultramic.2015.05.002>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304399115001060>.
- [14] W.J. Palenstijn, K.J. Batenburg, and J. Sijbers. Performance improvements for iterative electron tomography reconstruction using graphics processing units (gpu). *Journal of Structural Biology*, 176(2):250 – 253, 2011. ISSN 1047-8477. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsb.2011.07.017>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1047847711002267>.
- [15] Tom Schoonjans, Antonio Brunetti, Bruno Golosio, Manuel Sanchez del Rio, Vicente Armando Sol, Claudio Ferrero, and Laszlo Vincze. The xraylib library for x-raymatter interactions. recent developments. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 66(1112):776 – 784, 2011. ISSN 0584-8547. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sab.2011.09.011>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0584854711001984>.
- [16] Laurens Van der Maaten and Geoffrey Hinton. Visualizing data using t-sne. *Journal of Machine Learning Research*, 9(2579-2605):85, 2008.
- [17] SC Kheruka, UC Naithani, AK Maurya, NK Painuly, LM Aggarwal, S Gambhir, et al. A study to improve the image quality in low-dose computed tomography (spect) using filtration. *Indian Journal of Nuclear Medicine*, 26(1):14, 2011.
- [18] Gabor T Herman and Sushma S Trivedi. A comparative study of two postreconstruction beam hardening correction methods. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, 2(3):128–135, 1983.
- [19] Robert E Alvarez and Albert Macovski. Energy-selective reconstructions in x-ray computerised tomography. *Physics in medicine and biology*, 21(5):733, 1976.
- [20] MJ Berge, JH Hubbell, SM Seltzer, J Chang, JS Coursey, R Sukumar, and DS Zucker. Xcom: photon cross sections database, 2007.
- [21] Jonathan Richard Shewchuk. An introduction to the conjugate gradient method without the agonizing pain, 1994.

- [22] Nargol Rezvani. *Iterative reconstruction algorithms for polyenergetic x-ray computerized tomography*. PhD thesis, University of Toronto, 2012.
- [23] Ananth Ranganathan. The levenberg-marquardt algorithm. *Tutorial on LM algorithm*, pages 1–5, 2004.
- [24] Roger Fletcher. A modified marquardt subroutine for non-linear least squares. 1971.
- [25] William W Hager and Hongchao Zhang. A survey of nonlinear conjugate gradient methods. *Pacific journal of Optimization*, 2(1):35–58, 2006.
- [26] Hao Zhang, Jing Wang, Jianhua Ma, Hongbing Lu, and Zhengrong Liang. Statistical models and regularization strategies in statistical image reconstruction of low-dose x-ray ct: a survey. *arXiv preprint arXiv:1412.1732*, 2014.
- [27] Martin Burger, Jahn Müller, Evangelos Papoutsellis, and Carola-Bibiane Schönlieb. Total variation regularization in measurement and image space for pet reconstruction. *Inverse Problems*, 30(10):105003, 2014.
- [28] Amara Graps. An introduction to wavelets. *Computational Science & Engineering, IEEE*, 2(2):50–61, 1995.
- [29] Daniel K Sodickson, Li Feng, Florian Knoll, Martijn Cloos, Noam Ben-Eliezer, Leon Axel, Hersch Chandarana, Tobias Block, and Ricardo Otazo. The rapid imaging renaissance: sparser samples, denser dimensions, and glimmerings of a grand unified tomography. In *SPIE Medical Imaging*, pages 94170G–94170G. International Society for Optics and Photonics, 2015.
- [30] Oguz Semerci, Ning Hao, Misha E Kilmer, and Eric L Miller. Tensor-based formulation and nuclear norm regularization for multienergy computed tomography. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 23(4):1678–1693, 2014.
- [31] Hao Gao, Hengyong Yu, Stanley Osher, and Ge Wang. Multi-energy ct based on a prior rank, intensity and sparsity model (prism). *Inverse problems*, 27(11):115012, 2011.
- [32] G Poludniowski, G Landry, F DeBlois, PM Evans, and F Verhaegen. Spekcalc: a program to calculate photon spectra from tungsten anode x-ray tubes. *Physics in medicine and biology*, 54(19):N433, 2009.
- [33] John Duchi. Efficient Learning using Forward-Backward Splitting.
- [34] Álvaro Barbero and Suvrit Sra. Modular proximal optimization for multidimensional total-variation regularization. 2014. URL <http://arxiv.org/abs/1411.0589>.

- [35] Warren S McCulloch and Walter Pitts. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4):115–133, 1943.
- [36] Klaus Greff. Training Very Deep Networks. pages 1–11.
- [37] Geoffrey Hinton. Neural Networks for Machine Learning Lecture 6a Overview of mini- batch gradient descent Reminder : The error surface for a linear neuron.
- [38] Max Jaderberg and Google Deepmind. Spatial Transformer Networks. pages 1–15.
- [39] Hu Chen, Yi Zhang, Mannudeep K Kalra, Feng Lin, Peixi Liao, Jiliu Zhou, and Ge Wang. Low-Dose CT with a Residual Encoder-Decoder Convolutional Neural Network (RED-CNN).
- [40] Phillip Isola and Alexei A Efros. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks.
- [41] Xiao-jiao Mao, Chunhua Shen, and Yu-bin Yang. Image Restoration Using Convolutional Auto-encoders with Symmetric Skip Connections. pages 1–17.
- [42] Klaus Greff. Highway Networks. 2015.
- [43] Kees Joost Batenburg. Fast Tomographic Reconstruction from Limited. 22(12): 5238–5251, 2013.
- [44] Bing Xu, Naiyan Wang, and Tianqi Chen. Network. 2015.
- [45] Karol Gregor, Alex Graves, and Wierstra Google Com. DRAW : A Recurrent Neural Network For Image Generation arXiv : 1502 . 04623v2 [cs . CV] 20 May 2015. 2014.
- [46] Kyong Hwan Jin, Michael T Mccann, Emmanuel Froustey, and Michael Unser. Deep Convolutional Neural Network for Inverse Problems in Imaging. pages 1–20, 2016.
- [47] Ashish Bora, Eric Price, and Alexandros G Dimakis. Compressed Sensing using Generative Models.
- [48] Vincent Dumoulin and Francesco Visin. A guide to convolution arithmetic for deep learning. pages 1–28, 2016.
- [49] Alec Radford, Luke Metz, and Soumith Chintala. Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks. *arXiv*, pages 1–15, 2015. ISSN 0004-6361. doi: 10.1051/0004-6361/201527329. URL <http://arxiv.org/abs/1511.06434>.

- [50] Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, and Thomas Brox. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *Miccai*, pages 234–241, 2015. ISSN 16113349. doi: 10.1007/978-3-319-24574-4_28.
- [51] Raymond Yeh, Chen Chen, Teck Yian Lim, Mark Hasegawa-Johnson, and Minh N. Do. Semantic Image Inpainting with Perceptual and Contextual Losses. *Arxiv*, 2016. URL <http://arxiv.org/abs/1607.07539>.
- [52] David Eigen, Dilip Krishnan, and Rob Fergus. Restoring an image taken through a window covered with dirt or rain. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pages 633–640, 2013. ISSN 1550-5499. doi: 10.1109/ICCV.2013.84.
- [53] Viren Jain and Sebastian Seung. Natural Image Denoising with Convolutional Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 21:769–776, 2009. URL <http://papers.nips.cc/paper/3506-natural-image-denoising-with-convolutional-networks{%}%5Cnpapers3://publication/uuid/69A9E02B-2622-431D-A237-DBB51D3A3AE1>.
- [54] Junyuan Xie, Linli Xu, and Enhong Chen. Image Denoising and Inpainting with Deep Neural Networks. *Nips*, pages 1–9, 2012. ISSN 10495258. URL <https://nips.cc/Conferences/2012/Program/event.php?ID=3279>.
- [55] Hanming Zhang, Liang Li, Kai Qiao, Linyuan Wang, Bin Yan, Lei Li, and Guoen Hu. Image Prediction for Limited-angle Tomography via Deep Learning with Convolutional Neural Network Abstract :.
- [56] Harold C. Burger, Christian J. Schuler, and Stefan Harmeling. Image denoising: Can plain neural networks compete with BM3D? *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 2392–2399, 2012. ISSN 10636919. doi: 10.1109/CVPR.2012.6247952.
- [57] Ij Goodfellow, J Pouget-Abadie, and Mehdi Mirza. Generative Adversarial Networks. *arXiv preprint arXiv: ...*, pages 1–9, 2014. ISSN 10495258. URL <http://arxiv.org/abs/1406.2661>.
- [58] Yoseop Han, Jaejoon Yoo, and Jong Chul Ye. Deep Residual Learning for Compressed Sensing CT Reconstruction via Persistent Homology Analysis. 2016. URL <http://arxiv.org/abs/1611.06391>.
- [59] Mehdi Mirza and Simon Osindero. Conditional Generative Adversarial Nets. *CoRR*, pages 1–7, 2014. URL <http://arxiv.org/abs/1411.1784>.

-
- [60] Kai Zhang, Wangmeng Zuo, Yunjin Chen, Deyu Meng, and Lei Zhang. Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising. pages 1–13, 2016. URL <http://arxiv.org/abs/1608.03981>.