

Segment-wise Coding of Texture and Depth Components in 3D Video

**Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation**

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur
Fabian Jäger
aus Berlin

Berichter:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jens-Rainer Ohm
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Jax

Tag der mündlichen Prüfung: 14.12.2015

Aachen Series on Multimedia and Communications Engineering

Volume 15

Fabian Jäger

**Segment-wise Coding of Texture and
Depth Components in 3D Video**

Shaker Verlag
Aachen 2016

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2015)

Copyright Shaker Verlag 2016

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4343-3

ISSN 1614-7782

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Vorwort

Das vorliegende Manuskript ist das Ergebnis meiner Tätigkeit als Doktorand am Institut für Nachrichtentechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Rückblickend kann ich sagen, dass mir die Arbeit an dem zugrundeliegenden Forschungsprojekt viel Freude bereitet hat, ich sehr viel gelernt habe – fachlich wie auch menschlich – und dass ich die damit verbundene Zeit nicht missen möchte.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Jens-Rainer Ohm möchte ich meinen Dank für die Betreuung meiner Arbeit aussprechen. Mit seinen Ratschlägen und konstruktiver Kritik ließ er meiner Kreativität zur Problemlösung größtenteils freien Lauf. Diese Art der Betreuung habe ich sehr geschätzt und meines Erachtens auch erfolgreich nutzen können. Des Weiteren danke ich in diesem Sinne auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Jax für die Zeit und das Interesse, mit der er sich mit meiner Dissertation auseinandergesetzt hat und mir mit hilfreichen Ratschlägen zur Seite stand.

Neben meiner wissenschaftlichen Arbeit habe ich in den damit verbundenen fünf Jahren vor allem auch das herzliche Miteinander am Institut genossen. Der unkomplizierte Umgang und die berücktigten Kaffeepausen werden mir immer in positiver Erinnerung bleiben. Ich werde versuchen diese außergewöhnliche Arbeitsatmosphäre in mein weiteres berufliches Leben zu tragen bzw. entsprechend zu etablieren. Die daraus resultierende Freude an der Arbeit war für den Erfolg meiner Arbeit und für mich persönlich außerordentlich wichtig. Ohne einzelne Personen an dieser Stelle hervorzuheben, möchte ich allen Kollegen und Studenten danken, die mit mir gemeinsam Zeit am Institut für Nachrichtentechnik verbracht haben. Danke euch allen!

Ein ganz besonderer Dank gilt natürlich auch Steffi, die immer ein offenes Ohr für mich und meine Ideen hatte. Ihre unterstützende, aber auch kritische Art war für den Erfolg dieser Arbeit von elementarer Bedeutung. Danke dir! :-*

Berlin, im Januar 2016

Contents

1	Introduction	1
2	Fundamentals	5
2.1	Mathematical Fundamentals	5
2.1.1	Statistical Properties of Random Variables	5
2.1.2	Joint and Conditional Probabilities	7
2.1.3	Entropy	7
2.2	Multiple View Geometry	7
2.2.1	Arbitrary Camera Positioning	8
2.2.2	Coplanar Camera Setup	9
2.2.3	Intermediate View Synthesis	10
2.3	Stereo Vision	10
2.4	Signal Compression Fundamentals	13
2.4.1	Lossy Compression	13
2.4.2	Predictive Coding	13
2.4.3	Transform and Quantization	14
2.4.4	Entropy Coding	16
2.5	Video Compression Fundamentals	16
2.5.1	Video Source Formats	16
2.5.2	Distance and Distortion Measures	19
2.5.3	Hybrid Video Coding	20
2.5.4	Motion Estimation	22
2.5.5	Rate-Distortion Optimization	23
2.6	Overview of the HEVC Video Coding Standard	24
2.6.1	Intra Prediction	26
2.6.2	Inter Prediction	26
2.6.3	Residual Coding	28
2.6.4	In-Loop Filtering	29
2.6.5	Entropy Coding	29
2.7	Overview of the Multi-view and 3D Extensions of HEVC	30
2.7.1	Advanced Prediction Structures	31
2.7.2	Depth Map Coding	32
2.7.3	Inter-Component Prediction	34
2.7.4	Combined Prediction	34
2.7.5	Encoder: View Synthesis Optimization	34
2.8	Evaluation Environment	37
2.8.1	Test Video Sequences	37
2.8.2	Coding Performance Assessment	37
2.8.3	Standardization Activity	40

3	Subjective Study on Depth Maps	41
3.1	Depth Map Simplification	41
3.2	General Test Setup	42
3.2.1	Test A: 2D Synthesized View Quality	44
3.2.2	Test B: 3D Depth Impression	45
3.3	Evaluation	47
3.3.1	Test Schedule and Participation	47
3.3.2	Visualization of Results	47
3.3.3	Test A: 2D Synthesized View Quality	48
3.3.4	Test B: 3D Depth Impression	51
4	Segment-wise Depth Map Coding	57
4.1	Depth Map Signal Characteristics	57
4.2	Depth Map Accuracy	59
4.3	Depth Maps for View Synthesis	60
4.4	Impact of View Synthesis Optimization	63
4.5	Segment-wise DC Coding	65
4.5.1	Derivation of Segmentation Mask	67
4.5.2	Coding of DC Residuals	68
4.5.3	Complexity Assessment	70
4.5.4	Coding Performance Analysis	71
4.5.5	Further Complexity Reduction	76
4.6	Depth Lookup Table	78
4.6.1	Histogram Analysis	78
4.6.2	Lookup Table Construction	82
4.6.3	Coding of the Depth Lookup Table	86
4.6.4	Coding of DC Residual Indexes	88
4.6.5	Coding Performance Analysis	90
4.6.6	DC Quantization with Depth Lookup Table	94
4.7	Overall Coding Performance Analysis	98
5	Segment-wise Texture Prediction	103
5.1	General Motion/Disparity Model	104
5.1.1	Motion Vector Field Properties	105
5.1.2	Prediction Model in Multi-view Video Coding	106
5.2	Block-based Compensation	107
5.2.1	Motion Partitioning	107
5.2.2	Multiple Hypothesis Prediction	109
5.2.3	Motion Vector Field Coding	109
5.3	Inter-component Segmentation Analysis	110
5.3.1	Depth-based Segmentation of Texture	110
5.3.2	Depth-based Segmentation of Texture Motion	115
5.4	Segment-wise Prediction	117
5.4.1	Depth-based Segmentation	119
5.4.2	Full Block Compensation	121
5.4.3	Segment-wise Motion Estimation	121

5.4.4	Merging of Prediction Signals	123
5.4.5	Segmentation Boundary Filtering	124
5.4.6	Coding of Motion Parameters and Extensions	127
5.4.7	Analysis of Mask Properties	134
5.4.8	Complexity Assessment	140
5.5	Coding Performance Analysis	145
5.5.1	Common Test Conditions	145
5.5.2	Depth-first Coding Configuration	148
5.6	Combined Coding Performance Analysis	149
6	Summary and Conclusions	153
A	Test Sequences	155
	Bibliography	165