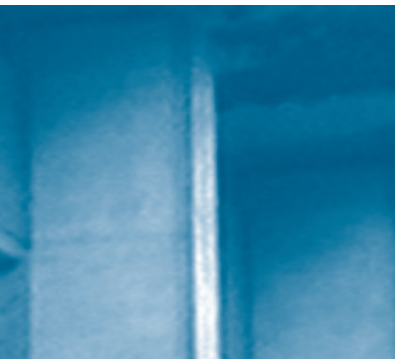




Volume 22

Max Bläser

Prediction and Parameter Coding for Non-
rectangular Block Partitioning

Aachen Series on Multimedia and
Communications Engineering



RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Prediction and Parameter Coding for Non-rectangular Block Partitioning

**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
Max Bläser
aus Oberhausen

Berichter:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jens-Rainer Ohm
Prof. Dr.-Ing. Heiko Schwarz

Tag der mündlichen Prüfung: 29.04.2020

Aachen Series on Multimedia and Communications Engineering

Volume 22

Max Bläser

**Prediction and Parameter Coding for
Non-rectangular Block Partitioning**

Shaker Verlag
Düren 2020

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, 2020)

Copyright Shaker Verlag 2020

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 978-3-8440-7455-0

ISSN 1614-7782

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9

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

Vorwort

Die vorliegende Doktorarbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Nachrichtentechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Die fast sechs Jahre, die ich am Institut mit Forschung, Lehre, Konferenzreisen und all den nicht-fachlichen Aktivitäten verbringen durfte, waren eine wunderbare Zeit, an die ich mich immer gerne zurückerinnern werde. An dieser Stelle möchte ich mich herzlichst bei allen Menschen bedanken, die auf unterschiedlichste Art und Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben: An erster Stelle danke ich meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Jens-Rainer Ohm für die Betreuung der Arbeit, den stets offenen und freundlichen Austausch und die vielen hilfreichen Anmerkungen und Ratschläge. Die fachliche Unterstützung und das freie, wissenschaftliche Arbeiten, bei dem auch das soziale Institutsleben niemals zu kurz kam, bleiben mir in guter Erinnerung. Des Weiteren danke ich Prof. Dr.-Ing. Heiko Schwarz für die Übernahme des Zweitgutachtens und die detaillierten Kommentare zur Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt außerdem Priv. Doz. Dr.-Ing. habil. Mathias Wien und Dr.-Ing. Christian Rohlfing für die enge Zusammenarbeit und dafür, dass sie nicht nur viel organisatorischen Projekt-Ballast von mir ferngehalten haben, sondern auch stets mit neuen Ideen und Impulsen diese Arbeit vorangebracht haben. Meinen engsten Kollegen im Video Coding Team, Jens Schneider und Johannes Sauer danke ich ebenfalls für ihre Hilfe, Expertise, und den Gemeinschaftssinn. Diese Art der Zusammenarbeit werde ich sicherlich sehr vermissen! Zuletzt gebührt mein spezieller Dank Clemens Jansen für die Bereitstellung, Wartung und Pflege der technischen Infrastruktur.

Ich danke allen Kollegen und Studenten für die großartige Arbeitsatmosphäre. Wenn aus Kollegen Freunde werden, spricht dies sicherlich für sich. Ich freue mich auf die nächsten Sommerfeste, IENT Movie Nights und LAN Partys mit Euch!

Zu guter Letzt danke ich meiner gesamten Familie, insbesondere meinen Eltern, die mir diesen Lebensweg erst ermöglicht haben. Mein größter Dank gilt meiner Frau Franziska, die mich während der Erstellung dieser Arbeit für einige Wochenenden entbehren musste. Ich danke Dir für die Motivation, die Geduld und die liebevolle Unterstützung während dieser Zeit.

Aachen, im Mai 2020

Contents

1	Introduction	1
2	Fundamentals	5
2.1	Mathematical Fundamentals	5
2.1.1	Signal Representation	5
2.1.2	Random Variables	6
2.1.3	Markov Chains and Autoregressive Modeling	8
2.1.4	Entropy	9
2.1.5	Transforms	10
2.1.6	Quantization	11
2.1.7	Filters	12
2.2	Video Compression Fundamentals	13
2.2.1	Hybrid Video Coding	14
2.2.2	Source Formats	14
2.2.3	Picture Partitioning	16
2.2.4	Intra-Prediction	16
2.2.5	Inter-Prediction	17
2.2.6	Other Compression Methods	18
2.2.7	Transform Coding and Quantization	18
2.2.8	Entropy Coding	19
2.2.9	Loop Filters	24
2.2.10	Rate-Distortion Optimization	24
2.3	Evaluation and Metrics	25
2.3.1	JVET Common Testing Conditions	25
2.3.2	Bjøntegaard Delta Measurements	27
2.3.3	VMAF	27
2.4	Overview of Inter-Prediction in Versatile Video Coding	28
3	Prior Art of Non-rectangular Partitioning	33
3.1	Shape-adaptive Coding in MPEG-4	33
3.2	Geometry-based Partitioning Proposals for AVC and HEVC	34
3.3	Segmentation-based Partitioning	39
4	Prediction and Parameter Coding for Non-rectangular Block Partitions	41
4.1	General Aspects of Prediction using Non-rectangular Block Partitions	42
4.2	Parametrization of Non-rectangular Block Partitions	44
4.2.1	Geometry-based Partitioning Models	46
4.2.2	Explicit Coding of Geometric Partitioning Parameters	48
4.2.3	Angle-distance Representation	48
4.2.4	Intercept Representation	59

Contents

4.2.5	Summary	63
4.3	Prediction and Coding of Geometric Partitioning Side-Information	63
4.3.1	Entropy Coding for Geometric Partitioning Parameters	63
4.3.2	Predictive Coding for Geometric Partitioning Parameters	67
4.3.3	Summary	95
5	Inter-prediction Modifications	99
5.1	Motion Compensation	99
5.1.1	Discretization of Geometric Partitions and Prediction Blending	101
5.1.2	Uni- and bi-directional Motion Compensation	107
5.1.3	Memory Bandwidth Measurements	109
5.1.4	Restriction to Uni-prediction	111
5.2	Motion Estimation for Geometric Partitions	112
5.3	Motion Vector Prediction and Coding	114
5.4	Motion Vector Storage	119
5.5	Encoder Mode Control	120
5.5.1	Partitioning Mode Selection	122
5.6	Summary	124
6	Optimizations for VVC Standardization	127
6.1	Geometric Partitioning Parameters	128
6.2	Motion Compensation	131
6.3	Adaptive Blending Filter	132
6.3.1	Blending Filter for GEO	133
6.3.2	Blending Filter for TPM	135
6.3.3	Combined Results	136
6.4	Motion Vector Prediction, Coding and Storage	137
6.5	Encoder Complexity	138
6.6	Decoder Complexity	141
6.6.1	Integer Approximation for Weight Derivation	143
6.6.2	Chroma Weight Derivation	145
6.7	Overall Coding Performance	146
7	Exploration on Transform Coding for Non-rectangular Partitions	149
7.1	Properties of Non-rectangular Prediction Residuals	152
7.2	Shape-adaptive DCT Coding for GEO	155
7.3	Transform-skipping for GEO	163
7.4	Encoder-side Transform Optimizations with Decoder-side Masking	166
7.4.1	Symmetric Extension for TPM	168
7.4.2	Orthogonal Matching Pursuit (OMP)	170
7.5	Conclusions	174
8	Summary and Outlook	175
A	Appendix	177
	Bibliography	227