

Decoder-Side Motion Vector Derivation for Hybrid Video Coding

**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
Mark-Steffen Kamp
aus Coburg

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

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Oktober 2011

Aachen Series on Multimedia and Communications Engineering

Volume 9

Mark-Steffen Kamp

**Decoder-Side Motion Vector Derivation
for Hybrid Video Coding**

Shaker Verlag
Aachen 2011

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, 2011)

Copyright Shaker Verlag 2011

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 978-3-8440-0615-5

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

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Nachrichtentechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Herrn Prof. Dr. Jens-Rainer Ohm, dem Leiter des Instituts für Nachrichtentechnik, danke ich herzlich für die fachliche Betreuung der Arbeit sowie die jederzeit gewährte Unterstützung. Herrn Prof. Dr. Peter Vary, dem Leiter des Instituts für Nachrichtengeräte und Datenverarbeitung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, danke ich für das Interesse an meiner Arbeit sowie die Übernahme des Korreferats.

Bei allen jetzigen und ehemaligen Kollegen und Mitarbeitern des Instituts für Nachrichtentechnik bedanke ich mich für die angenehme Atmosphäre, gute Zusammenarbeit und Freundschaft, ob in Büro, Kaffeerrunde oder auch außerhalb der Institutswände. Besonders hervorheben möchte ich Dr. Mark Asbach, Johannes Ballé, Julian Becker, Dr. Markus Beermann, Manon Bratschke, Christopher Bulla, Dr. Holger Crysandt, Christian Feldmann, Kai Frantzen, Volker Gnann, Konstantin Hanke, Peter Hosten, Dr. Michael Höyneck, Fabian Jäger, Clemens Jansen, André Kleinen, Dr. Xiang Li, Claudia Mayer, Ningqing Qian, Dr. Thomas Rusert, Myrjam Schiermeyer, Martin Spiertz, Marco Stega, Aleksandar Stojanovic, Dr. Michael Unger, Dr. Jens Wellhausen, Dr. Mathias Wien und Bin Zhang.

Mein Dank gilt allen Studenten, die durch Studien- und Diplomarbeiten sowie als studentische oder wissenschaftliche Hilfskräfte zu meiner wissenschaftlichen Forschung beigetragen haben, insbesondere Michael Evertz und Benjamin Bross.

Bei Verena bedanke ich mich für ihre geduldige, aufmunternde und liebevolle Unterstützung während der Entstehung der Arbeit.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meinen Eltern dafür, dass sie mir meinen Werdegang ermöglicht und mich auf diesem stets unterstützt und begleitet haben. Ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

Aachen, im November 2011

Steffen Kamp

Contents

Abbreviations	vi
1 Introduction	1
2 Fundamentals	4
2.1 Mathematical Fundamentals	4
2.1.1 Statistical Properties of Random Variables	4
2.1.2 Generalised Gaussian Distribution	6
2.1.3 Joint Probabilities	6
2.1.4 Entropy	6
2.2 Lossy Compression	7
2.2.1 Predictive Coding	7
2.2.2 Transform Coding	9
2.2.3 Quantisation	10
2.2.4 Entropy Coding	11
2.3 Video Compression Fundamentals	11
2.3.1 Video Source Formats and Representation	11
2.3.2 Hybrid Video Coding	14
2.3.3 Rate-Distortion Optimisation	15
2.4 Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard	16
2.4.1 Intra Prediction	17
2.4.2 Inter Prediction	18
2.4.3 Skip and Direct Prediction	19
2.4.4 Transform and Quantisation	20
2.4.5 Entropy Coding	21
2.5 Evaluation Environment	22
2.5.1 Prediction Structures	22
2.5.2 Interpolation Filter	24
2.5.3 Motion Estimation Search Range	24
2.5.4 Quantiser Settings	24
2.5.5 Test Video Sequences	26
2.5.6 Coding Performance Assessment	27
3 Motion Modelling	29
3.1 General Motion Model	30
3.1.1 Motion Field Properties	31
3.2 Block Motion Compensation	31
3.2.1 Fixed Block Size	31

3.2.2	Variable Block Sizes	33
3.3	Sub-Pixel Motion Compensation	34
3.3.1	Interpolation Methods	35
3.4	Prediction using Multiple Hypotheses	38
3.5	Motion Vector Field Coding	40
3.6	Block Matching Motion Estimation Algorithms	41
3.6.1	Full Search Block Matching	42
3.6.2	Search Patterns in Block Matching Algorithms	43
3.6.3	Predictive Search Candidates	44
3.7	Template Matching	45
3.7.1	Video Coding using Template Matching Prediction	46
3.7.2	Template and Target Size	47
3.7.3	Preliminary Template Matching Experiments	48
4	Decoder-Side Motion Vector Derivation	57
4.1	System Design	58
4.1.1	Full Search Template Matching	60
4.1.2	Search Range and Template Size	60
4.1.3	Target Size	63
4.1.4	Sub-Pixel Accuracy in Full Search Template Matching	63
4.1.5	Biasing the Search Centre	67
4.1.6	Temporal Distance of the Reference Picture	67
4.1.7	Multiple Reference Pictures	68
4.1.8	DMVD in B Pictures	72
4.1.9	Multiple Prediction Hypotheses	75
4.2	Skip Blocks	89
4.3	Predictive Search Template Matching	94
4.3.1	Search Candidates	94
4.3.2	Reference Frame Dependent Scaling	96
4.3.3	Sub-Pixel Refinement	96
4.3.4	Simulation Results	96
4.3.5	Comparison to Full Search	105
4.4	Entropy Coding	107
5	Performance and Complexity Evaluation	114
5.1	Full Configuration	114
5.2	Rate-Distortion Analysis	117
5.2.1	IPPP Coding	118
5.2.2	GOP-8 Coding	123
5.2.3	Overall Observations	125
5.3	Visual Impression	125
5.4	Decoder Complexity Analysis	126
5.4.1	Time Complexity Relative to H.264/AVC	127
5.4.2	Template Matching Operations per DMVD Target	129
5.5	Error Resilience Aspects	132
5.5.1	Independent Bitstream Parsing and Decoding	133

5.5.2	Error Propagation	133
6	DMVD in the Call for Proposals on High-Efficiency Video Coding	138
6.1	KTA Integration	138
6.2	Objective and Subjective Results	140
6.3	Further Consideration of DMVD in the Standardisation of HEVC	143
7	Summary and Conclusions	144
A	Bitstream Syntax	147
B	Additional Results	151
C	Test Sequences	176
	Bibliography	180

Abbreviations

3DRS	3D Recursive Search
AMVP	Advanced Motion Vector Prediction
AR	autoregressive
AVC	Advanced Video Coding
BD	Bjontegaard Delta
BMA	Block Matching Algorithm
BMC	Block Motion Compensation
CABAC	Context-Based Adaptive Binary Arithmetic Coding
CAVLC	Context-Based Adaptive Variable Length Coding
CDF	Cumulative Distribution Function
CfP	Call for Proposals
CRT	Cathode-Ray Tube
DCT	Discrete Cosine Transform
DMVD	Decoder-Side Motion Vector Derivation
DPCM	Differential Pulse-Code Modulation
DSCQS	Double-Stimulus Continuous Quality-Scale
DSIS	Double-Stimulus Impairment Scale
EPZS	Enhanced Predictive Zonal Search
FIR	Finite Impulse Response
FMO	Flexible Macroblock Ordering
FSBMC	Fixed-Size Block Motion Compensation
GOP	Group of Pictures
HD	High Definition
HEVC	High-Efficiency Video Coding
HM	HEVC Test Model
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
JCT-VC	Joint Collaborative Team on Video Coding
JM	Joint Model

KTA	Key Technical Areas
LCD	Liquid Crystal Display
LOGS	2D Logarithmic Search
MAD	Mean of Absolute Differences
MB	Macroblock
MC	Motion Compensation
ME	Motion Estimation
MHP	Multi-Hypothesis Prediction
MPEG	Moving Picture Experts Group
MSE	Mean of Squared Errors
MV	Motion Vector
MVD	Motion Vector Difference
MVP	Motion Vector Predictor or Prediction
NAL	Network Abstraction Layer
OBMC	Overlapped Block Motion Compensation
PDF	Probability Density Function
POC	Picture Order Count
PPS	Picture Parameter Set
PSNR	Peak Signal-to-Noise Ratio
QP	Quantisation Parameter
RD	Rate-Distortion
RDO	Operational Rate-Distortion Optimisation
RDOQ	Rate-Distortion Optimised Quantisation
RTP	Real-Time Transport Protocol
SAD	Sum of Absolute Differences
SSD	Sum of Squared Differences
SSE	Sum of Squared Errors
TSS	Three Step Search
TM	Template Matching
TMP	Template Matching Prediction
TV	Television
UDP	User Datagram Protocol
VCEG	Video Coding Experts Group
VLC	Variable Length Code or Coding
VSBMC	Variable-Size Block Motion Compensation