Concepts for Enhancing Correspondence Vector Field Quality

von der Abteilung

Elektrotechnik und Informationstechnik

der Technischen Universität Dortmund

genehmigte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

von

Matthias Brüggemann

Dortmund, 2016

Tag der mündlichen Prüfung: 17.08.2016

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Kays

Koreferent: Prof. Dr.-Ing. Holger Blume

Dortmunder Beiträge zur Kommunikationstechnik

Band 14

Matthias Brüggemann

Concepts for Enhancing Correspondence Vector Field Quality

D 290 (Diss. Technische Universität Dortmund)

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.: Dortmund, Technische Univ., Diss., 2016

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4888-9
ISSN 1863-9054

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 Arbeit ist während meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Kommunikationstechnik der Technischen Universität Dortmund entstanden. Die Motivation zu der behandelten Thematik entstammt meiner wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten in Kooperation mit dem European Technology Center der Sony Deutschland GmbH in Stuttgart.
Herrn Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Kays danke ich sehr herzlich für die engagierte Betreuung meiner Arbeit. Seine freundliche Unterstützung meiner wissenschaftlichen Tätigkeit, seine ständige Bereitschaft zu fachlichen Diskussionen mit vielen wertvollen Ratschlägen und konstruktiven Anregungen haben maßgeblich zur Realisierung dieser Arbeit beigetragen.
Herrn Prof. Dr.-Ing. Holger Blume gilt mein Dank für das Interesse an meiner Arbeit und die freundliche Bereitschaft zur Übernahme des Korreferats.
Herrn Oliver Erdler danke ich sehr herzlich für die Eröffnung der Möglichkeit, wertvolle Beiträge in Vorentwicklungsprojekten der Sony Deutschland GmbH leisten zu können. Ein besonderer Dank gilt Herrn Paul Springer für die tolle, mehr als sechs Jahre dauernde Zusammenarbeit. Ihm und den Kollegen aus Stuttgart möchte ich für die freundschaftliche Atmosphäre während meiner Aufenthalte dort danken, während der ich mich stets als Mitglied des Teams gefühlt habe.
All meinen Kollegen mit denen ich am Lehrstuhl für Kommunikationstechnik zusammenarbeiten durfte danke ich für die großartige Atmosphäre am Lehrstuhl und die schöne, konstruktive Zusammenarbeit. Es sind viele Freundschaften daraus entstanden, weshalb ich immer gern auf diese Zeit zurückblicken werde.
Zuletzt danke ich meinen Eltern, meiner Familie und meiner Partnerin für die ständige, liebevolle Unterstützung und den ein oder anderen Tritt in den Allerwertesten.

Dortmund, 2016

Matthias Brüggemann

Contents

Abstract

Dense correspondence estimation is widely used for many image processing applications. For example, it is applicable in video signal processing for the computation of the motion field used for temporal de-interlacing, motion compensated frame-rate conversion or temporal super-resolution. In computer vision it is predominantly used for scene understanding. For instance, estimated correspondence vectors are used to reconstruct observed 3D objects and motions or to detect and track moving objects. In these two fields of image processing, two different estimation approaches which were independently developed are used. In video signal processing, block matching motion estimation, a discrete search for small similar patches in adjacent frames, is usually used. In contrast, in computer vision differential optical flow estimation is used in most applications that require dense correspondence fields. This latter approach has a strong mathematical background and tries to find pixel-wise correspondence vectors that optimize an image model based global energy functional.

In this thesis, the characteristics of the two correspondence estimation concepts - block matching and differential optical flow - are analyzed and compared, and specific strengths and weaknesses are outlined. Both approaches have specific advantages for applications they were designed for, but also drawbacks that limit their applicability for advanced scenarios. The two approaches show complementary strengths, such that a combination of the two concepts seems to be a promising approach to achieve correspondence vector fields that meet the requirements of advanced applications. Both methods show weaknesses when it comes to estimation of precise vector fields with steep transitions at motion boundaries. This thesis proposes to increase the adaptivity of block matching and optical flow method and to combine the two approaches in a common framework that will exploit their complementary advantages. Two separate methods for block matching and differential estimation are developed with respect to enabling a combination of the two methods. Weights known from adaptive vector field filtering are integrated into each developed method, such that both approaches show high adaptivity to image structures and motion boundaries. Afterwards, a concept for combining the two methods in a common multi-scale framework is proposed. The two methods are alternately applied over multiple scales, such that the estimation results are increasingly refined with each processing step. Adaptive vector field postprocessing steps

are then further integrated into the framework to reduce remaining outliers and achieve an even higher precision at motion boundaries. In this context, a histogram-based method for jointly filtering horizontal and vertical vector field component is proposed. Resulting vector fields of the proposed concept are qualitatively and quantitatively evaluated and compared to current state-of-the-art methods. The proposed method achieves high ranks in a current benchmark for optical flow methods.