

Selected Topics in Computer Graphics

herausgegeben von
Prof. Dr. Leif Kobbelt
Lehrstuhl für Informatik 8
Computergraphik & Multimedia
RWTH Aachen University

Band 10

Lars Krecklau

The Algorithmic Beauty of Cities

Interactive Modeling and Realtime Visualization
of Compact Procedural Descriptions

Shaker Verlag
Aachen 2013

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, 2013)

Copyright Shaker Verlag 2013

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 978-3-8440-2133-2

ISSN 1861-2660

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

Abstract

Nearly everyone of us is surrounded by synthesized virtual environments every day, although it is not always obvious. For example, most graphics in any commercial seen on street posters, on web banners, or in short clips on television contain artificial content and special visual effects to make the communicated message impressive and memorable. In some cases, a certain degree of realism is requested for the virtual environment, especially, if it is mixed with real world content. Present rendering algorithms allow for the production of synthetical images that are hard to distinguish from pictures which were taken from the real world. Even with commodity hardware, high quality renderings can be finished in reasonable time. There are many applications in practice which benefit from virtual environments. For example, many film productions use digital copies of real world locations like famous cities to easily include artificial content (e.g. crowds of people), to allow for complex camera trajectories (e.g. falling from the sky to the street level), or to simulate large scale effects (e.g. a heavy destruction of the scene). This digest of new possibilities would be very expensive or even infeasible without using virtual scenes.

One of the biggest bottlenecks in the production workflow of synthesized virtual environments is the content creation. The modeling of large scenes that provide a high amount of detail is a time consuming and sometimes tedious task. The problem is often compensated by just keeping a high number of artists busy, however, this solution is rather expensive and requires a lot of organizational overhead. Unfortunately, content creation is a creative task and thus, it can not be fully automatized, i.e. the visionary input of artists is still needed.

This thesis is focused on the generation and rendering of cities including common entities like buildings, bridges, and plants. Instead of rationalizing the work of artists, we rather aim at the development of supportive tools that utilize the expressive power of procedural modeling techniques combined with easily operated user interfaces for the intuitive and efficient insertion of creative input. The novelties of this thesis are categorized into three parts. First, the fundamental formalisms of procedural modeling techniques are discussed and analyzed with respect to their application in virtual environments. We introduce an expressive but yet intuitive modeling language that allows for the combination of several modeling strategies. This enables the creation of hierarchical structures (e.g. buildings and plants) as well as of interconnected structures (e.g. bridges and power poles) within one unified description. In the second part, interactive extensions to the previously developed modeling language are presented such that the underlying formalism is not necessarily exposed to the user. Consequently, our approach does not only represent a supportive tool for artists, but even allows users without scripting or modeling experience to combine and manipulate procedurally generated content. In the last part, an efficient rendering pipeline for large scale procedural city models is introduced. Taking a coarse polygonal model of a city as input, high quality facades with real geometric detail are generated on-the-fly such that the massive amount of data never needs to be stored explicitly.

Zusammenfassung

Praktisch jeder von uns ist tagtäglich umgeben von synthetisierten virtuellen Umgebungen, obwohl dies nicht immer offensichtlich ist. Beispielsweise enthalten viele Grafiken in der Werbung — sei es auf Plakaten, auf Bannern im Internet oder in kurzen Fernsehclips — künstliche Inhalte und Spezialeffekte um die zu vermittelnde Nachricht eindrucksvoller und nachhaltiger zu gestalten. In einigen Fällen ist für die virtuelle Umgebung ein bestimmter Realismusgrad gefordert, insbesondere wenn diese mit Aufnahmen der realen Welt gemischt werden sollen. Aktuelle Renderalgorithmen erlauben die Erzeugung von synthetisierten Bildern, die nur schwer von realen Fotografien zu unterscheiden sind. Sogar mit heutiger Standardhardware können hochqualitative Renderings in akzeptabler Zeit berechnet werden. Es existieren viele praktische Anwendungen, die von virtuellen Umgebungen profitieren. Filmproduktionen benutzen beispielsweise digitale Kopien von real existierenden Schauplätzen um auf einfache Weise künstliche Inhalte einzufügen (z.B. Menschenmassen), um komplexe Kamerafahrten realisieren zu können (z.B. vom Himmel bis auf Straßenhöhe fallen) oder um Effekte im großen Stil zu simulieren (z.B. eine heftige Zerstörung der Szene). Dieser kleine Auszug an neuen Möglichkeiten wäre sehr teuer und teilweise sogar unmöglich umsetzbar ohne den Einsatz von virtuellen Szenen.

Einer der größten Flaschenhälse bei der Produktion synthetisierter virtueller Umgebungen ist die Schaffung der eigentlichen Inhalte. Die Modellierung großer Szenen mit einem hohen Detailgrad ist eine zeitaufwändige und oft wenig abwechslungsreiche Arbeit. Das Problem wird häufig durch eine hohe Anzahl von Künstlern kompensiert, wobei diese Lösung eher teuer ist und einen entsprechenden Mehraufwand mit sich zieht. Leider ist die Erzeugung von Inhalten eine kreative Aufgabe, die nicht vollkommen automatisiert werden kann, da der visionäre Beitrag von Künstlern weiterhin benötigt wird.

Diese Doktorarbeit befasst sich in erster Linie mit der Erschaffung und Darstellung von Städten inklusive der darin typischer Weise enthaltenen Objekte, wie Häuser, Brücken und Pflanzen. Anstatt die Arbeit von Künstlern wegzurationalisieren, befassen wir uns mit der Entwicklung unterstützender Tools, welche die Ausdrucksstärke prozeduraler Modellierungstechniken mit einfach bedienbaren Benutzeroberflächen vereinigen um eine intuitive und effiziente Eingabe kreativer Ideen zu ermöglichen. Die in dieser Doktorarbeit präsentierten Innovationen sind in drei Teile gegliedert. Zunächst werden die fundamentalen Formalismen der prozeduralen Modellierung diskutiert und in Bezug auf deren Anwendungsgebiet analysiert. In diesem Zusammenhang führen wir eine ausdrucksstarke und zugleich intuitive Modellierungssprache ein, welche mehrere Modellierungsstrategien vereint. Die vorgestellte Sprache erlaubt somit die Erzeugung von hierarchischen Strukturen (z.B. Gebäude und Pflanzen) sowie von komplexen Gerüstkonstruktionen (z.B. Brücken und Strommasten) mithilfe einer einheitlichen Beschreibung. Im zweiten Teil werden interaktive Erweiterungen bezüglich der zuvor eingeführten Modellersprache entwickelt, so dass sich der Benutzer nicht zwangsweise mit einer formalen Beschreibung befassen muss. Daher stellt unsere Herangehensweise nicht nur ein hilfreiches Tool für Künstler dar, sondern ermöglicht sogar Personen ohne Programmier- oder Modellierungserfahrung prozedural erzeugte Inhalte zu kombinieren und zu verändern. Im letzten Teil wird eine effiziente Renderingpipeline für großräumige prozedurale Städte vorgestellt. Basierend auf einem grob aufgelösten polygonalen Eingabemodell einer Stadt, werden hochqualitative Fassaden mit echten geometrischen Details in Echtzeit erzeugt, so dass die gewaltige Menge an Daten niemals explizit gespeichert werden muss.