

ETH Diss No. 23244

ILLUSTRATIVE VISIBILITY ENHANCEMENT
OF FLOW FEATURES

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES OF ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by
ROBERT AUTENRIETH
MSc Computational Science and Engineering,
ETH Zurich

born on July 1st, 1982
citizen of Dietikon, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Ronald Peikert, examiner
Prof. Dr. Petros Koumoutsakos, co-examiner
Prof. Dr. Helwig Hauser, co-examiner

2015

ABSTRACT

The use of computers and digital technology has allowed researchers to study our environment through simulations or measurements of ever-increasing complexity. However, the resulting amount of raw data is difficult to understand. The focus of the field of visualization is therefore to take this abstract data and present it in a form that conveys important information and offers insight about the underlying processes to human observers. In a recent trend, visualization methods have been using techniques inspired by hand-drawn illustrations, emphasizing the use of abstraction and non-photorealistic depiction.

One area of application for visualization is fluid dynamics. When dealing with the time-dependent motion of a fluid through a volume, it is impossible to display all of the data at once. Flow visualization methods therefore often extract interesting surfaces (e.g., isosurfaces or integral surfaces) and display only those. However, such surfaces can still form folds and twists or suffer from occlusion and cluttering, which makes them difficult to understand.

In this thesis, we present several techniques that address this issue by using illustrative visualization. In a first part, we focus on higher-level abstractions. We study the use of the proper orthogonal decomposition (POD) for the visualization of noisy 4D magnetic resonance imaging (MRI) blood flow data. By discarding high-frequency scales, we seek to improve the visualization of large-scale vortices. Furthermore, we propose a method for automatically placing cutaway primitives for the visualization of arbitrary three-

dimensional data suffering from occlusion. The method uses a Monte Carlo algorithm, as the optimal placement of such primitives is suspected to be infeasible.

In a second part, we focus on lower-level improvements of the perception of flow surfaces. We present a 2.5D screen space data structure and a framework that can be used for illustrative enhancements of surfaces forming multiple layers due to occlusion. Using this framework, we propose a method for improving the shape perception of multi-layered transparent surfaces, inspired by findings from perception theory. Finally, we study the use of dense flow visualization to additionally highlight the flow direction along multi-layered surfaces.

ZUSAMMENFASSUNG

Die fortschreitende Entwicklung von Rechnern und digitaler Technik erlaubt es vielen Forschern unsere natürliche Umgebung durch immer komplexer werdende Simulationen und Messungen zu studieren. Diese liefern allerdings eine unüberschaubare Menge an Daten und sind schwer zu interpretieren. Das Forschungsfeld der Visualisierung hat sich deshalb zur Aufgabe gemacht, solche abstrakten Daten zu nehmen und diese in einer Weise zu präsentieren, welche wichtige Informationen und Erkenntnisse über die zugrundeliegenden Prozesse an den menschlichen Betrachter liefert. Inspiriert von handgezeichneten Illustrationen haben viele Methoden in letzter Zeit die starke Abstraktion und eine nicht-fotorealistische Darstellung der Daten hervorgehoben und haben damit das Gebiet der illustrativen Visualisierung gegründet.

Visualisierung findet unter anderem in der Fluidodynamik eine Anwendung. Da man alle Daten einer zeitabhängigen, dreidimensionalen Strömung nicht direkt darstellen kann, werden daraus oft nur interessante Stromflächen extrahiert und angezeigt. Besonders bei turbulenten Strömungen sind diese aber so kompliziert und verdreht, so dass sie immer noch schwer zu verstehen sind.

In dieser Arbeit stellen wir deshalb einige neue illustrative Visualisierungsmethoden vor, um dieses Problem anzugehen. Der erste Teil der Arbeit konzentriert sich auf Abstraktionen auf hoher Ebene. Dabei wird erst die POD für die Visualisierung von verrauschten 4D MRI Blutströmungsdaten angewandt, wobei durch Unterdrückung der hochfrequentigen Skalen die Darstellung von Wirbeln verbessert wird. Danach stellen wir eine auf Monte Carlo basierte Methode vor, welche automatisch Cutaway-Primitiven platziert um verdeckte Daten besser darzustellen.

Im zweiten Teil beschreiben wir eine neuartige 2.5D Datenstruktur und ein dazugehöriges System, mit welchem sich Flächen mit mehreren überlappenden Schichten illustrativ darstellen lassen. Basierend auf diesem System stellen wir eine Methode vor, mit welcher sich die Formwahrnehmung von Flächen mit mehreren Schichten verbessern lässt. Schliesslich untersuchen wir noch die Verwendung von globaler Visualisierung, um zusätzlich die Strömungsrichtung auf mehrschichtigen Flächen darzustellen.