

Diss. ETH N° 21433

EFFICIENT ALGORITHMS FOR LAGRANGIAN
VISUALIZATION OF FLOW STRUCTURES

A dissertation submitted to
ETH Zurich

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
BENJAMIN SCHINDLER
MSc Computer Science,
ETH Zurich

born May 10th, 1983
Citizen of Zurich, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Ronny Peikert, examiner
Prof. Dr. Renato Pajarola, co-examiner
Prof. Dr. Olga Sorkine-Hornung, co-examiner
Prof. Dr. Holger Theisel, co-examiner

ZUSAMMENFASSUNG

Visualisierung ist ein wichtiges Werkzeug zur Untersuchung der Strömungen von Fluiden zu Forschungs- und Ingenieurszwecken. Ein zentraler Punkt in der Visualisierung wie auch der Simulation von Strömungen ist deren mathematische Beschreibung. Es existieren zwei Möglichkeiten, Strömungen zu beschreiben – Lagrangesche und Eulersche. Aus Effizienzgründen wurde der Eulersche Ansatz meist bevorzugt. Es gibt jedoch viele Anwendungsfälle, in denen die Lagrangesche Beschreibung besser geeignet ist. Dank dem starken Anstieg der Rechenleistung in den letzten Jahren werden Lagrangesche Methoden immer beliebter.

Normalerweise wählt man für Simulation eine dieser Beschreibungen ohne in Betracht zu ziehen, wie man die Resultate visualisieren möchte. Je nach Visualisierung ist aber die eine oder andere Beschreibung von Vorteil, was bedingt, dass man von der einen zur anderen Beschreibung wechseln muss. Diese Konvertierung braucht jedoch viel Rechenleistung. Die Wahl der Algorithmen ist daher enorm wichtig, um eine angemessene Effizienz zu erreichen.

In dieser Dissertation beschreiben wir Methoden für die Visualisierung von Lagrangeschen Daten sowie für Lagrangesche Visualisierungstechniken. Zuerst zeigen wir eine Methode um Isoflächen aus Lagrangeschen Simulationsdaten zu extrahieren. Im zweiten Teil geht es um Lagrangian Coherent Structures (LCS). Zuerst analysieren wir verschiedene LCS-Definitionen sowie deren Eigenschaften. Zudem führen wir eine neue, numerisch stabilere LCS-Definition ein. Danach folgt eine detaillierte Beschreibung der LCS-Extraktion. Wir beenden den zweiten Teil mit einer Analyse des Luftstromes einer Drehtür, die zusätzlich mit einem Luftvorhang ausgestattet ist. Die Analyse hat uns Bereiche aufgezeigt, in denen warme Luft aus dem Innern entweichen kann, und ermöglichte ein verbessertes Design des Luftvorhangs. Der dritte und letzte Teil widmet sich Visualisierungssystemen. Die Konvertierung zwischen der Eulerschen und der Lagrangeschen Strömungsbeschreibung ist zeitabhängig. Zeitabhängige Algorithmen stellen besondere Anforderungen an Visualisierungssysteme. Das vorgestellte System macht es nicht nur einfach, zeitabhängige Daten zu verarbeiten, es ist auch in der Lage, die Menge der Berechnungen auf ein Minimum zu reduzieren. Simulationen können ebenfalls auf einfache Weise in dieses System integriert werden. Somit ist es nicht nötig, für die Simulation und die Visualisierung zwei separate Programme zu verwenden.

ABSTRACT

The visualization of fluids is a very useful tool for science and engineering applications alike. A very central aspect of flow visualization as well as simulation is the representation of the fluid data. There are fundamentally two ways of representing flow fields – Lagrangian or Eulerian. For efficiency reasons, the Eulerian approach was typically favored. However, there are many scenarios, where the Lagrangian approach is more natural. With the availability of processing power nowadays, using Lagrangian techniques is becoming increasingly popular.

The choice of representation for a simulation is typically made without considering the type of visualization applied to the results. For visualization, it therefore becomes often necessary to convert the data from one representation to the other. This conversion is computationally very intensive. Providing proper algorithms to achieve reasonable efficiency is therefore crucial.

In this thesis, we present several techniques for dealing with either Lagrangian data or Lagrangian visualizations. First, we present an algorithm for the extraction of isosurfaces from Lagrangian simulation data. The second part focuses on Lagrangian Coherent Structures (LCS). We begin with analyzing different ways of defining LCS and analyze their properties. In particular, we propose a new definition which is numerically more stable. After presenting the LCS extraction algorithm in great detail, we analyze the flow around a revolving door combined with an air curtain. The LCS-based analysis was able to reveal a leak where heat can escape the interior. In the last part, we present our research in the area of visualization systems. Converting between the two flow representations is inherently a time-dependent process and time-dependent algorithms are surprisingly difficult to achieve in visualization systems. The presented system not only makes processing time-dependent data simple, it minimizes the amount of computation performed. Also, simulation components can be included very easily, eliminating the need for having two tools for creating and analyzing simulation data.