



Doctoral Thesis

## Consistent collision and self-collision handling for deformable objects

**Author(s):**

Heidelberger, Bruno Heinz

**Publication Date:**

2007

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005427892> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 17055

# Consistent Collision and Self-Collision Handling for Deformable Objects

A dissertation submitted to  
**ETH Zurich**

for the degree of  
**Doctor of Sciences**

presented by  
**Bruno Heinz Heidelberg**  
Dipl. Informatik-Ing. ETH  
Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich  
born November 17, 1972  
citizen of Hochfelden, ZH, Switzerland

accepted on the recommendation of  
Prof. Markus Gross, examiner  
Prof. Matthias Teschner, co-examiner

2007

# Abstract

Interactive environments with dynamically deforming objects play an important role in physically-based simulation and animation, ranging from computational surgery to computer games. These environments require efficient and robust methods for basic simulation tasks, such as deformation, collision detection and collision response.

This thesis investigates novel collision handling components especially suited for deformable objects. The focus lies on versatile techniques featuring efficient data structures, self-collision support and n-body collision information while still delivering interactive performance. All presented methods aim for visually-plausible and consistent behavior, which is in accordance to the requirements of typical target applications.

The first approach detects collisions and self-collisions of deformable objects based on a variant of spatial partitioning. It employs a hashing scheme which allows for very efficient n-body collision queries between different object primitives, such as vertices, lines, triangles and tetrahedrons.

The second collision detection method generates a volumetric approximation of the intersection volume to detect collisions and self-collisions. The computation of the volumetric representation is done in image-space to take advantage of potential graphics hardware acceleration. The technique allows for several volumetric collision queries: An explicit representation of the intersection volume, a vertex-in-volume check and a self-collision test.

Finally, a technique is proposed that computes consistent n-body penetration depth information in order to reduce collision response artifacts. It considers a set of close surface features to avoid discontinuities and it applies a propagation scheme in case of large penetrations to minimize non-plausible, inconsistent collision information.

A test suite composed of several carefully selected experiments is used to analyze the characteristics and the performance of each presented technique. The methods are also integrated into a hysteroscopy simulator and a complete framework for interactive simulation of dynamically deforming objects. Both applications demonstrate the capability and applicability of the collision handling components presented in this thesis.

# Zusammenfassung

Interaktive Umgebungen, wie z.B. Chirurgiesimulationen oder Computerspiele, sind wichtige Anwendungsgebiete der physikalisch basierten Simulation und Animation. Sie benötigen effiziente und robuste Algorithmen zur Berechnung der Simulationsprozesse wie Deformation, Kollisionserkennung und Kollisionauflösung.

Diese Arbeit untersucht neuartige Komponenten zur Kollisionsbehandlung, die speziell für deformierbare Objekte geeignet sind. Dabei liegt der Fokus auf vielseitig einsetzbaren Methoden, welche, basierend auf effizienten Datenstrukturen, trotz Selbstkollisionserkennung und Vielkörperunterstützung interaktive Laufzeiten erreichen. Alle vorgestellten Algorithmen erzeugen plausible und konsistentes Simulationsverhalten, um die Bedingungen der typischen Zielapplikationen zu erfüllen.

Der erste Ansatz erkennt Kollisionen und Selbstkollisionen mit Hilfe von Raumunterteilung. Dabei wird ein Hashingverfahren verwendet, welches sehr effiziente Kollisionsanfragen zwischen unterschiedlichen Objektprimitiven, wie z.B. Punkte, Linien, Dreiecke und Tetraeder, erlaubt.

Ein zweiter Ansatz zur Kollisionserkennung erzeugt eine volumetrische Approximation des Schnittvolumens, um Kollisionen und Selbstkollisionen zu finden. Die Berechnung dieser Repräsentation wird im Bildraum durchgeführt und kann daher von Grafikhardware beschleunigt werden. Die Methode erlaubt verschiedenartige, volumetrische Kollisionsanfragen: Eine explizite Repräsentation des Schnittvolumens, eine Überprüfung von Punkt-in-Volumen und ein Test auf Selbstkollision.

Ein weiterer Ansatz berechnet konsistente Eindringtiefen bei Vielkörpersimulationen und reduziert so Artefakte bei der Kollisionauflösung. Die Methode betrachtet eine Anzahl naheliegender Oberflächen, um unerwünschte Unstetigkeiten zu verhindern. Zusätzlich minimiert ein Propagationsschema nicht plausible und inkonsistente Resultate bei hoher Eindringtiefe.

Um die Eigenschaften und Leistung der vorgestellten Methoden zu validieren, wird eine Reihe von aussagekräftigen Experimenten durchgeführt. Die Ansätze sind auch integriert in eine Chirurgiesimulation und eine vollständige Umgebung zur interaktiven Simulation von dynamisch deformierbaren Objekten. Beide Applikationen demonstrieren die Fähigkeiten und die Anwendbarkeit der in dieser Arbeit präsentierten Kollisionsbehandlungsmethoden.