



Doctoral Thesis

Variable anatomical models for surgical training simulators

Author(s):

Sierra, Raimundo M.

Publication Date:

2004

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004939062> →

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. 15745

Variable Anatomical Models for Surgical Training Simulators

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
Raimundo Matias Sierra
Dipl. El.-Ing. ETH
born 1.5.1976
citizen of Luzern

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gábor Székely, examiner
Prof. Dr. Richard A. Robb, co-examiner

October 2004

Abstract

After the emergence of minimally invasive surgery, new training paradigms had to be incorporated into the teaching curriculum for an appropriate learning of this non-intuitive technique. Virtual reality has early been proposed as a novel enabling technology for realistic training of such interventions which implicitly excludes any risks for patients. Over the past few years, surgical training simulators have been proposed and implemented for a wide range of different interventions. First commercial systems are nowadays on the market and successfully applied for education and training of medical residents.

While other fields of high risk systems such as aviation and nuclear power plants currently use virtual reality and computer based simulations as a standard training paradigm, comparable pervasiveness is not present in the medical field. In contrast to these human made systems, the human anatomy and physiology is far more complex. Research of the simulation of surgical interventions as well as of the human body in general, have revealed many open questions and the need for a more profound understanding of various aspects of the underlying biological systems.

The computational complexity of the models and tasks to be simulated has hampered an earlier realization of more advanced medical applications that provide the fidelity expected from experienced surgeons and teaching experts. The advances in many fields such as computer graphics or haptic feedback combined with the increase of computational power have led to many improvements in the field of surgical simulations over the past few years. A crucial component for effective training which nevertheless has received little attention so far, is the possibility to provide a different surgical scene in every training session, thus approximating the day-to-day experience of the medical personnel. The hypothesis is that a simulator which provides varying surgical scenes over the training curriculum will be significantly more efficient in teaching the relevant surgical skills than any system that relies only on a single model. The present work aims at the generation of such variable anatomical models of both the healthy organ as well as of different pathologies that can be found therein.

Different strategies are proposed for the two main tasks, generation of variable models of the organ and creation of new tumor instances. Conceptually, the organ model

generation is based on the integration of an existing set of examples into a database, and the derivation of new organ instances is based on statistical shape analysis. Three different approaches for the generation of pathologies and variable instances of these pathologies have been investigated, namely a skeleton based design, a cellular automaton and a particle based growth model. Each of these methods is presented in a different publication. The main contribution of this thesis is a framework for the generation of realistic, variable surgical scenes that fulfill the specific requirements of a high fidelity surgical training simulator. From the different tumor growth strategies developed, the growth model based on interacting particles is the most advanced in terms of biological processes represented. The model produces realistic shapes of macroscopic findings and has a high temporal resolution, i.e. the development of the tumor can be observed in relatively small time steps. The model can be extended to incorporate more factors that influence the tumor growth on a macroscopic level, such as the vascularization or biomechanical stresses.

A complete simulator setup, on which different groups of medical residents can be trained, will be required to validate the hypothesis. The presented work is part of a current effort to build a high fidelity hysteroscopy simulator. The goal of this simulator is to provide the highest possible realism in order to investigate the requirements for effective training, i.e. the relation between the degree of fidelity and the training effect. Hysteroscopy is the minimal invasive inspection and treatment of the uterus which is therefore the investigated organ. The pathologies modeled are myomas and polyps. Both pathologies are common findings and protrude into the uterine cavity, thus being visible and treatable by hysteroscopy.

Zusammenfassung

Minimal invasiven Eingriffe in der Chirurgie haben in den letzten Jahren eine grosse Bedeutung erlangt. Um die spezifischen Fertigkeiten zu erlangen, sind entsprechende Trainingsmethoden notwendig. Virtuelle Realität wurde schon früh als eine technologische Basis zur Entwicklung von Trainingsumgebungen vorgeschlagen, welche explizit jegliches Risiko für Patienten ausschliesst. In den letzten Jahren wurden verschiedene Systeme entwickelt, welche ein breites Anwendungsgebiet abdecken. Mittlerweile sind erste Systeme kommerziell erhältlich und werden erfolgreich für den Unterricht von angehenden Chirurgen eingesetzt.

Virtuelle Realität sowie computerunterstützte Simulationen sind heutzutage ein fester Bestandteil der Ausbildung zum Beispiel im Flugwesen oder in Nuklearkraftwerken, da solche Systeme mit einem hohen Risiko für Mensch und Umwelt verbunden sind. Vergleichbare Simulatoren sind in der Medizin jedoch noch nicht weit verbreitet. Ein Grund hierfür ist sicherlich, dass die menschliche Anatomie und Physiologie bei weitem komplexer sind als die erwähnten, von Menschenhand erstellten Systeme. Die Erforschung des menschlichen Körpers und deren Simulation hat viele Fragen aufgeworfen, zu deren Antwort ein tieferes Verständnis der zugrunde liegenden biologischen Vorgänge notwendig erscheint.

Die bisher verfügbare Rechenleistung hat nicht ausgereicht, um die Erwartungen der Chirurgen bezüglich der Realitätstreue zu erfüllen. In den letzten Jahren konnten bedeutende Fortschritte in der Computergrafik, bei Kraftrückkopplungsgeräten und in der Rechenleistung verzeichnet werden, welche zu merklichen Verbesserungen der Chirurgesimulatoren geführt haben. Ein wichtiger Bestandteil für realitätsnahe Simulationen sind variable Anatomiemodelle, so dass in jeder Übungsstunde eine neue Szene dargestellt wird. Dieser Aspekt wurde bisher weitgehend vernachlässigt, ist jedoch die Grundlage für eine realistische Nachahmung der täglichen Arbeit eines Chirurgen. Die Hypothese lautet, dass ein Simulator, welcher variable Szenen im Verlaufe des Trainings bietet, die wichtigen chirurgischen Fähigkeiten bedeutend besser vermitteln kann als jeder Simulator, der nur auf einem Modell basiert. Die vorliegende Dissertation befasst sich mit der Erstellung von variablen Anatomiemodellen sowohl des gesunden Organs als auch von verschiedenen Pathologien.

Die Arbeit wurde in zwei Teile gegliedert und unterschiedliche Ansätze zur Lösung für die Erzeugung von variablen Organmodellen und die Ergänzung mit Tumoren werden vorgeschlagen. Neue Organformen werden anhand einer statistischen Analyse aus einer Datenbank von Modellen abgeleitet. Die Datenbank besteht aus segmentierten Datensätzen aus einer Studie mit freiwilligen Probandinnen. Für die Modellierung von Tumoren wurden drei unterschiedliche Konzepte erarbeitet. Eine skeleton-basierte Methode hat das einfache und interaktive, dreidimensionale Zeichnen der Formen zum Ziel. Zwei weitere Ansätze ahmen das Wachstum der Tumore nach, nämlich ein so genannter zellulärer Automat und eine partikelbasierte Simulation. Alle vorgestellten Methoden erfüllen die nötigen Voraussetzungen für eine qualitativ hochwertige Simulation. Jeder Ansatz wird in einer separaten Publikation vorgestellt. Die partikelbasierte Simulation ist sicherlich die genaueste im Sinne der biologischen Prozesse, welche imitiert werden. Das Wachstum wird in einer hohen zeitlichen Auflösung nachgeahmt und die erzielten Ergebnisse sehen realistisch aus. Der Ansatz eignet sich besonders um weitere Faktoren, welche das Tumorstadium auf makroskopischer Ebene beeinflussen, in das Modell zu integrieren. Beispiele für solche Erweiterungen sind das Gefässwachstum oder biomechanische Kräfte.

Zur Validierung der Hypothese muss ein Simulator vorhanden sein, mit dem unterschiedliche Gruppen von Medizinstudenten trainieren können. Die vorliegende Arbeit ist Teil eines grösseren Projektes zur Erstellung eines realitätsnahen Hysteroskopiesimulators. Das Ziel dieses Projektes ist es, eine möglichst hohe Wiedergebearbeitungsqualität zu erreichen um die nötigen Voraussetzungen für effektives Training zu untersuchen. Hysteroskopie bezeichnet die minimal invasive Untersuchung und Behandlung der Gebärmutter. Entsprechend wurde dieses Organ sowie die häufigsten Pathologien, welche darin gefunden werden, untersucht. Letztere sind namentlich Polypen und Myome, welche in der Gebärmutterhöhle sichtbar und entsprechend auch behandelbar sind.