ETH zürich

ETH Library

Methods for physics based facial surgery prediction

Doctoral Thesis

Author(s):
Koch, Rolf Michael

Publication date:
2000

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-004064081

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.

Rolf Michael Koch
ETH Zürich
Computer Graphics Laboratory
Institute of Scientific Computing

Methods for Physics Based Facial Surgery Prediction

Diss. ETH No. 13912

Hartung Gorre Verlag Konstanz 2001

Abstract

This thesis presents a framework for facial surgery simulation, the prediction of the postsurgical outcome, and facial expression synthesis which is constructed on surface based and volumetric finite element modeling.

There is a wide spectrum of facial malformations and diseases which maxillofacial and craniofacial surgeons have to treat. These include, but are not restricted to, injuries and tumors as well as deformities due to inherited syndromes or developmental disorders. Furthermore, facial surgery has to strive for the reconstruction of a balanced face, as even very fine variations in facial proportions can affect the appearance of a face strongly and thus distort its harmony. Therefore, both surgeon and patient have a strong need for a method which enables them to compute highly realistic pictures of the expected post-surgical shape during the planning of a surgical procedure. In addition to the prediction of the postsurgical appearance, it would be very helpful not only to predict the static face, but also the dynamic behavior and emotional expressions. Besides surgery simulation, a physics based facial model could also be used in the field of lifelike animation. In addition, the development of lifelike avatars for applications in virtual environments, for instance conference systems, is of great importance in recent computer graphics research. More generally, any application that could benefit from a humanlike interface could also make good use of a facial model.

For these purposes, two facial models have been developed differing in regard to the exact anatomical representation used. These models are based on either a combination of an elastic surface and a spring mesh, or on elastic volume elements that are simulated using the fundamental theory of linear elastomechanics and the finite element method.

Especially in facial animation, facial models are mostly adapted from a template face instead of generated directly from the underlying data set. Furthermore, unsatisfactory approximations of the patient's skull surface have been used. Since the skull and the exact representation of the facial surface are essential for surgical applications, the facial models presented in this thesis are constructed based on real patient volume scan and laser range scan data. Furthermore a tissue segmentation based on CT data is applied to enable the discrimination of different tissue types and to take into account the variation of tissue stiffnesses as well as tissue incompressibilities throughout the body.

A principal contribution made in this thesis is the combination of the physical correctness of volumetric or surface-based finite element simulation with the superior quality of a C^1-continuous surface representation to optimize both accuracy and rendering quality.

Another important contribution is a thorough evaluation of the volumetric approach with a group of test patients. With this aim, a prototype application was built which is based on data available from individual patients in a clinical environment. This includes CT scans of the pre- and postsurgical situation in combination with high resolution laser range surface scans. Both individual parameters, such as varying stiffness and elasticity of tissue, and the bone movements introduced by the surgeon are taken into account in order to simulate as accurately as possible the outcome of real surgery. With validation in mind, the surgical procedures are resimulated on the test group of patients with cranio-maxillofacial abnormalities.

Zusammenfassung

Diese Arbeit beschreibt Methoden zur Simulation von gesichtschirurgischen Eingriffen, zur Vorhersage des postoperativen Ergebnisses und zur Synthese von emotionalen Gesichtsausdrücken.

Chirurgen der cranio- und maxillofazialen Chirurgie behandeln eine große Anzahl von Deformationen und Krankheiten. Diese beinhalten unter anderem Verletzungen und Tumoren, ebenso wie Deformationen infolge von vererbten Syndromen oder wachstumsbedingten Störungen. Darüberhinaus strebt die Gesichtschirurgie nach einem ausgeglichenen Gesicht weil selbst subtile Veränderungen der Gesichtsproportionen das Erscheinungsbild erheblich beeinträchtigen und die Harmonie empfindlich stören können. Aus diesen Gründen sind Techniken zur Simulation und Planung sowie zur Vorhersage des postoperativen Gesichtes sowohl für den Arzt, als auch für den Patienten von grosser Bedeutung. Darüberhinaus wäre es sehr hilfreich, wenn neben der Vorhersage des postoperativen Ergebnisses nicht nur ein statisches Gesichtsmodell, sondern auch das Ergebnis für verschiedene Gesichtsausdrücke berechnet werden könnte. Neben der Gesichtschirurgie ist ein physikalisch basiertes Gesichtsmodell zusätzlich im Bereich der computergestützten Gesichtsanimation von Vorteil, wo es in virtuellen Umgebungen als Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine benötigt wird. Jedes System, das Vorteile aus einem menschenähnlichen Interface ziehen würde, würde von einem physikalisch basierten Gesichtsmodell profitieren.

Zu diesem Zweck wurden unter Beachtung der exakten anatomischen Gegebenheiten im menschlichen Gesicht zwei Gesichtsmodelle entwickelt. Zur Simulation der Elastizität des Gesichtsgewebes basieren diese Modelle entweder auf einer Kombination elastischer Oberflächen mit einem Netz elastischer Federn oder auf Volumenelementen unter Berücksichtigung der Theorie der Elastomechanik.

Speziell in der Gesichtsanimation wurden die Gesichtsmodelle bisher zumeist aus vorgefertigten Templates erstellt, die nur rudimentär auf die individuelle Person adaptiert wurden. Darüberhinaus wurden nur sehr ungenaue Approximationen des individuellen Schädels verwendet. Weil aber gerade Schädel und individuelles Gewebe in der Gesichtschirurgie von grösster Bedeutung sind, basieren die mit dieser Arbeit vorgestellten Gesichtsmodelle auf den individuellen Patientendaten. Hierzu wurden Schädelrekonstruktionen aus Computertomographien, Oberflächenscans des individuellen Gesichtes und Elastizitäts- und Inkompressibilitätsdaten herangezogen, die aus einer Segmentierung der individuellen Volumenscans stammen.

Um die Genauigkeit der Ergebnisse zu optimieren und um den Photorealismus der Prädiktionen zu optimieren, wurde besonderer Wert gelegt auf die einmal stetig differenzierbare Repräsentation der geometrischen Gesichtsoberflächen.

Darüberhinaus ist die quantitative und qualitative Evaluation der vorgestellten Ansätze unter Berücksichtigung authentischer Patienten- und Operationsdaten ein wichtiger Beitrag dieser Arbeit.