ETH zürich

ETH Library

Deformable Mechanical Structure for Physical Generation of Objects and Provision of Wide Area Haptic Feedback

Doctoral Thesis

Author(s):
Mazzone, Andrea

Publication date:
2005

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-004926370

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:
Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 22, Mensch-Maschine-Systeme 20

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. 15794

Deformable Mechanical Structure for Physical Generation of Objects and Provision of Wide Area Haptic Feedback

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of

Doctor of Technical Sciences

presented by

ANDREA DAVID, MAZZONE

Dipl. El.-Ing. ETH,

born 15.06.1974

citizen of Horgen ZH

accepted on the recommendation of

Prof. Markus Meier, examiner

Prof. Gabor Székely, co-examiner

Dr. Andreas Kunz, co-examiner

2004

30 Nov 2004

Abstract

This dissertation proposes a novel concept for a user interface device capable to deform its shape and to produce a wide area haptic feedback. The device is based on a deformable mechanical structure that morphs its shape in order to imitate a desired object. Due to its physical presence, it can intuitively be touched and explored. As such, this dissertation also proposes a novel approach to the design and implementation of "Digital Clay", an interface affording direct input and output of 3D structures.

This dissertation has been done within the NCCR CO-ME[1] with the aim to find a novel approach capable of generating wide area haptic feedback for the simulations of palpation or even free hand open surgery interventions.

In order to be able to provide a design specification for the desired haptic feedback device, the somatic sensory system, primarily the one of the human hand, was studied. Further, information has been gathered by analyzing two surgery interventions and by interviewing surgeons.

Based on the conclusions of the analysis of the deduced requirements list and of the evaluation of basic physical principles capable of generating forces, two novel concepts for wide area haptic feedback user interfaces are proposed; the SmartMesh, the main contribution of this thesis, and the HoverMesh, which will only be shortly introduced.

The SmartMesh is a multi degree of freedom multi loop mechanism based on a mesh of nodes and extendable links. It can be deformed and controlled by only altering the lengths of the links. Its working principle, the discussion of the degrees of freedom and the prototype are detailed in this thesis. Further, the state of the art actuation technologies are introduced and the reasons presented, why the mechanism has not yet been actuated.

In view of a future actuation of the mechanism, the latter is analyzed for its controllability. The analysis of the inverse kinematics shows that for a given valid desired final shape the joint parameters can always be computed. Nevertheless, a novel concept for the control system is introduced, capable of both approximating the desired shape and simultaneously capable of providing the parameters required to drive all the actuators and consequently capable of morphing the shape of the structure as desired. It relies on a physically-based modelling technique, implemented with a mass spring system. The SmartMesh model interacts with the model of the desired object

[1]National Center of Competence in Research; Computer Aided and Image Guided Medical Interventions; http://co-me.ch

and, attracted by it, tries to entangle it, approximating its shape as much as possible. As the parameters of the nodes, such as their positions for instance, are known at any time step, they can be employed in the sense of a quasi static process, to drive and deform the mechanical structure. The software implementation of the physically-based modelling technique is detailed and its capabilities are discussed.

Finally a summary is given, followed by an outlook on future steps and challenges.

Kurzfassung

Die vorliegende Dissertation stellt ein neuartiges Konzept für eine Mensch-Maschine-Schnittstelle vor, die deformierbar ist und eine grossflächige haptische Rückkoppelung erzeugen kann. Die Schnittstelle basiert auf einer mechanischen Struktur, die, um ein gewünschtes Objekt zu imitieren, ihre Form verändern kann. Durch die physische Präsenz des Objektes, kann es intuitiv berührt und erforscht werden. Somit zeigt diese Dissertation auch einen neuen Ansatz für das Design und die Implementierung von "Digital Clay" auf, einer Oberfläche, welche die direkte Eingabe und Ausgabe von 3D-Strukturen ermöglicht.

Die vorliegende Dissertation ist in Zusammenarbeit mit dem NCCR CO-ME[2] entstanden, mit dem Ziel, einen neuartigen Ansatz zur Generierung einer grossflächigen haptischen Rückkoppelung zu erarbeiten, um das Austasten (eines virtuellen Patienten durch den Arzt) oder gar eine Operation am offenen Körper zu simulieren.

Damit eine Anforderungsliste für die gewünschte Benutzerschnittstelle bereitgestellt werden konnte, musste das somato-sensorische System studiert werden. Weitere Informationen wurden aus der Analyse zweier operationeller Eingriffe sowie aus Interviews mit Chirurgen gewonnen.

Aus der Auswertung der hergeleiteten Anforderungen sowie der Evaluation von physikalischen Grundprinzipien zur Generierung von Kräften sind zwei neue Konzepte für die Benutzerschnittstelle entstanden: das SmartMesh, Hauptbestandteil dieser Arbeit, und das HoverMesh, auf das nur am Rande eingegangen wird.

Das SmartMesh ist ein mehrschleifiger Mechanismus mit mehreren Freiheitsgraden, der aus einem Netz von Knoten und verlängerbaren Gliedern besteht. Er kann allein durch die Veränderung der Länge der Glieder verformt und kontrolliert werden. Seine Funktionsprinzipien, die Diskussion der Freiheitsgrade sowie ein Prototyp sind Gegenstand dieser Arbeit. Im Weiteren werden die dem aktuellen Stand der Technik entsprechenden Antriebstechnologien eingeführt und die Gründe vorgelegt, wieso der Mechanismums noch nicht angetrieben werden konnte.

Im Hinblick auf einen künftigen Antrieb für den Mechanismus wurde Letzterer auf seine Steuer- und Regelbarkeit hin untersucht. Die Analyse nach der Methode der inversen Kinematik zeigt, dass die Gelenkparameter

[2]National Center of Competence in Research; Computer Aided and Image Guided Medical Interventions; http://co-me.ch

für eine gegebene gültige gewünschte Form immer errechnet werden können. Dennoch wird ein neues Konzept zur Kontrolle des Systems eingeführt, das sowohl die gewünschte Form approximieren kann, als auch gleichzeitig in der Lage ist, die notwendigen Parameter bereitzustellen. Damit können alle Antriebe angesteuert werden, um die Strukturform wie gewünscht zu verändern.

Das Konzept beruht auf einer physikalisch-basierten Modellierungsmethode, die mittels eines Masse-Feder Systems umgesetzt wird. Das Smart-Mesh-Modell interagiert mit dem Modell des gewünschten Objekts und versucht - von ihm angezogen - sich dessen Form so weit wie möglich anzupassen. Da die Parameter der Knoten, wie etwa deren Position, zu jedem Zeitpunkt bekannt sind, können diese im Sinne eines quasi-statischen Prozesses angewendet werden, um die mechanische Struktur zu verformen. Die Software-Implementierung der Methode wird ausführlich beschrieben und ihr Potential diskutiert.

Eine Zusammenfassung sowie ein Ausblick auf zukünftige Schritte und Herausforderungen im Zusammenhang mit dem SmartMash schliessen die Dissertation ab.