

TOP-Forschungsprojekte 2020

ModSimMed - Modellierung und Simulation der Interaktion zwischen Gewebe und Medizinisches Schneidwerkzeug bei minimal-invasiven chirurgischen Eingriffen

Projektleitung: Dr. Kostyantyn Malukhin
Modellierung und Simulation - Mechanik
Fakultät Bauingenieurwesen

Laufzeit: 15. Juli 2020 bis 14. Juli 2022

Drittmittelgeber: DFG

Fördersummen: 193.100,00 Euro

**Beschreibung:**

Das Hauptziel dieses Forschungsantrages ist die Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der Interaktion zwischen Skalpell und weichem biologischem Gewebe. Das Modell soll zur Erfassung der Mechanik und Dynamik des Schneideprozesses verwendet werden, wie er bei minimalinvasiven Operationen auftritt. Es soll in der Lage sein, die Echtzeit-Rückkopplungsschnittkräfte, sämtliche Reaktions-, Bruch- und Reibungskräfte sowie die wesentlichen Schneidprozessparameter vorherzusagen. Diese Parameter charakterisieren das Eindringen des Skalpells in das Gewebe bei minimalinvasiven chirurgischen Eingriffen.

Der neue Ansatz basiert auf Schneidwerkzeugbewegungsgleichung, die aus der geschwindigkeitsgesteuerten Formulierung abgeleitet wird. Die geschwindigkeitsgesteuerte Bewegungsgleichung, im Folgenden "Hauptmodell" genannt, repräsentiert die Rückkopplungs-Schneidkraft, die das Schneidwerkzeug während seines Eindringens in das weiche biologische Gewebe erzeugt.

Ebenso wird ein neues Gewebebruchkraftmodell vorgeschlagen, welches einen Teil des "Haupt"-Schneidprozessmodells sein wird. Dieses Modell dient zur Modellierung der Spannflächengeometrie des Skalpells, bei dem die aktive Schneidkante der Biopsienadel als eine Verteilung von infinitesimalen Einzelpunkt-Schneidwerkzeugen dargestellt wird, die entlang der Schneidkante verteilt sind. Die charakteristischen Winkel wie der normale Spanwinkel oder der effektive Spanwinkel und der Neigungswinkel werden für jedes infinitesimale Einpunkt-Schneidwerkzeug identifiziert. Die identifizierten charakteristischen Winkel werden anschließend im Gewebebruchkraftmodell verwendet.

Des Weiteren wird in diesem Forschungsantrag eine neue Methode zur Modellierung der Gewebeantwort vorgeschlagen. Das Gewebeantwortmodell wird anhand der neu eingeführten Gewebe-"Dehnungsratenfunktion" beschrieben. Schließlich soll auch ein neues Gewebe / Werkzeug-Reibungsmodell zusammen mit den bestehenden konventionellen Reibungsmodellen untersucht werden. Das neue Reibungsmodell wird rekursiv formuliert, wobei die Rückkopplungskräfte des Gewebes und des Schneidwerkzeugs in das Gewebe eindringen. Die vorgeschlagenen Modelle werden anhand verfügbarer experimenteller Daten, Schneideversuche an künstlichem und / oder im Handel erhältlichen tierischem Gewebe "in vitro" oder mittels verfügbarer Software validiert.

Kontakt:

Bauhaus-Universität Weimar
Modellierung und Simulation - Mechanik
Dr. Kostyantyn Malukhin
kostyantyn.malukhin@uni-weimar.de

Marienstr. 7A
99423 Weimar
Tel. 03643/ 58 45 06

TOP-Forschungsprojekte 2020

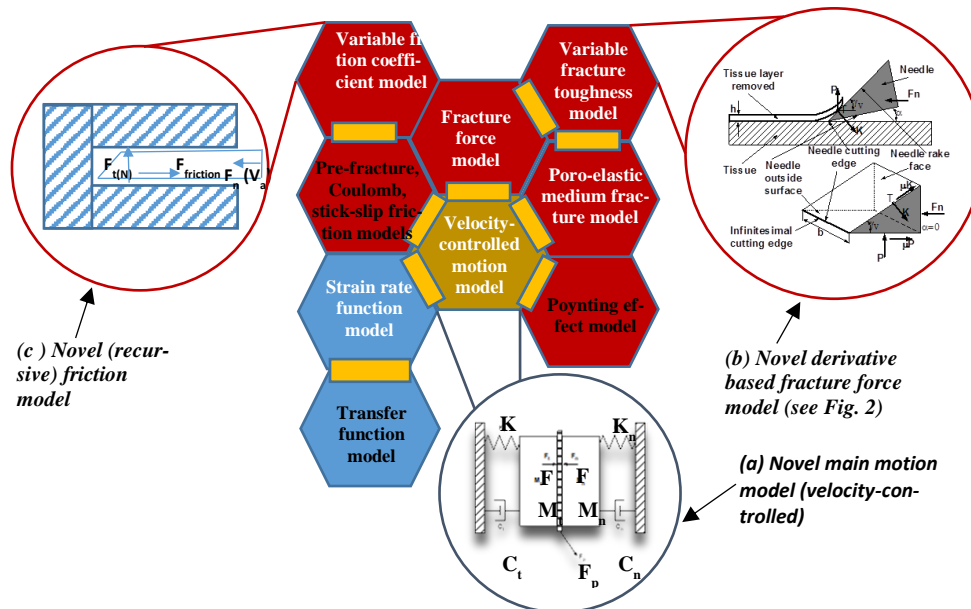


Figure 1. Equivalent schematic of the velocity-controlled motion model of the needle/soft biological tissue interaction [Ref. 1] – with: (a) needle motion model, (b) fracture force sub-model, (c) friction sub-model

(Authors: Malukhin, K., Rabczuk, T., Ehmann, K., Verta, M. J.)

Advanced Modelling Of Soft Biological Tissue/Medical Cutting Tool Interaction Applied In Minimally Invasive Surgical Interventions

Project description:

The primary objective of this research is to develop a novel fundamental theoretical basis for modelling of interaction between soft biological tissue and a medical cutting tool. In this research the medical cutting tool will be represented by a biopsy needle. The suggested theoretical approach will be used in order to model mechanics and dynamics of the soft biological tissue cutting process, applied in minimally invasive surgeries. The suggested model will be able to predict the real-time feedback cutting forces, fracture forces, friction forces and other cutting process parameters. These parameters characterize the penetration of a cutting tool inside the soft tissues during minimally invasive surgical interventions.

The novel theoretical framework, aimed at modelling of the tissue cutting processes, will be based on the newly developed cutting tool motion equation derived in the velocity-controlled formulation. The velocity-controlled motion equation will represent the “main” model. The primary deliverable of the “main” model will be a so-called “force signature”. The “force signature” represents the feedback cutting force that the cutting tool produces during its penetration inside the soft biological tissues.

Kontakt:

Bauhaus-Universität Weimar
 Modellierung und Simulation - Mechanik
 Dr. Kostyantyn Malukhin
 kostyantyn.malukhin@uni-weimar.de

Marienstr. 7A
 99423 Weimar
 Tel. 03643/ 58 45 06

TOP-Forschungsprojekte 2020

We will also suggest and validate the new tissue fracture force model, which will be a part of the "main" cutting process model. The fracture force model will be derived using a newly developed derivative based approach, adapted from the traditional metal cutting mechanics and fracture mechanics. This approach is usually used in modelling of the cutting tool rake face geometry. In this method, the active cutting edge of the biopsy needle will be represented as a distribution of infinitesimal single-point cutting tools, distributed along the cutting edge. The characteristic angles, being velocity rake angle, normal rake angle, effective rake angle and the inclination angle, will be identified for each infinitesimal single-point cutting tool. The identified characteristic angles will be used in the derivation of the tissue fracture force model.

Another novelty in this research, will be the new tissue response modelling method. The tissue response model will be described by means of the newly introduced tissue "strain rate function". The conventional stress-strain constitutive curve will be substituted by the strain rate-stress curve in the "main" motion model. The "strain rate function" model will be a constituent part of the "main" model.

We will also explore a new tissue/tool friction model together with the existing conventional friction models. The new friction model will be formulated recursively, in terms of the feedback forces from the tissue and the cutting tool, penetrating inside the tissue.

The suggested models will be validated using available experimental data and by conducting the cutting experiments with the artificial and/or commercially available animal tissues "in-vitro", or by means of available commercial software.

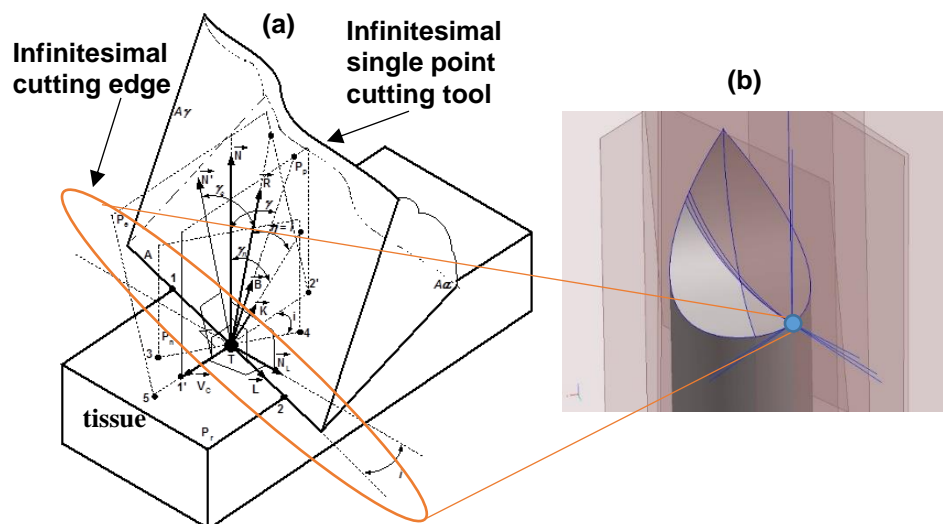


Figure 2. Complementary sub-model for the fracture force model: equivalent needle active cutting edge model, where the infinitesimal single-point tool cutting edge T (a) [Ref.1] forms the needle tip cutting edge (b) (our custom NX model) (Authors: Malukhin, K., Rabczuk, T., Ehmann, K., Verta, M. J.)

Kontakt:

Bauhaus-Universität Weimar
Modellierung und Simulation - Mechanik
Dr. Kostyantyn Malukhin
kostyantyn.malukhin@uni-weimar.de

Marienstr. 7A
99423 Weimar
Tel. 03643/ 58 45 06