

# Automatisierte Bestimmung von Merkmalen zur Bewertung minimal invasiver Eingriffe an einem Pelvitainer basierend auf Positionsdaten und einer Segmentierung

Marie-Theres Boll<sup>2</sup>, Oliver Weede<sup>1</sup>, Uwe Kühnapfel<sup>2</sup>, Georg Bretthauer<sup>2</sup>, Heinz Wörn<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Prozessrechenstechnik, Automation und Robotik (IPR), KIT, Karlsruhe, Deutschland

<sup>2</sup> Institut für Angewandte Informatik (IAI), KIT, Karlsruhe, Deutschland

Kontakt: boll@kit.edu, oliver.weede@kit.edu

## Einleitung

Für ein effizientes und zielgerichtetes Training minimal invasiver Eingriffe ist eine detaillierte, objektivierbare und nachvollziehbare Bewertung der technischen chirurgischen Fertigkeiten wesentlich [1]. Grundlegend für eine solche Bewertung ist die Wahl geeigneter Merkmale. In der Literatur wurden bereits verschiedene Merkmale vorgestellt [2]. Die wenigsten Ansätze bestimmen jedoch Merkmale basierend auf segmentierten Signalen [3]. Doch gerade dieses ist für eine detaillierte Analyse des Trainings wichtig. Aktionen, die eine Unterscheidung von Leistungsniveaus erlauben, können berücksichtigt werden. Dieses ist dann sinnvoll, wenn der Unterschied aktionsabhängig ist und nicht für den gesamten Eingriff gilt. Gleichzeitig sind die Merkmale kontextabhängig und damit besser interpretierbar. Die Bewertung an Simulatoren basiert meist auf Merkmalen für die gesamte Übung [1, 3, 4]. Am IAI wird daran gearbeitet, einzelne Aktionen bei der Wahl der Merkmale zu berücksichtigen [5]. Im Bereich der Bewertung im OP durch Experten gibt es häufiger Ansätze, die eine Segmentierung vornehmen [6]. Jedoch werden die Segmente manuell identifiziert. Um den Aufwand für die erfahrenen Chirurgen zu reduzieren, soll hier ein Ansatz vorgestellt werden, bei dem Segmente der Trajektorie automatisiert bestimmt werden. Sie werden dann innerhalb der Segmente und zusätzlich global für die gesamte Übung bestimmt. Dieses ist ein erster Schritt dahingehend, Merkmale für einzelne kontextabhängige Aktionen zu definieren. Es werden ausschließlich Positionsdaten verwendet. Damit ist der Ansatz für die Bewertung auf verschiedene Simulatoren sowie auf intraoperative Szenarien übertragbar. Dies trifft insbesondere auf die roboterassistierte minimal invasive Chirurgie zu, da hier die Position der Endeffektoren durch die Gelenkwinkel und die Kinematik des Robotorarms bestimmt werden kann. Der hier vorgestellte Ansatz wurde an einer Pelvitainer-Übung evaluiert. Am IPR wird erforscht, eine Wissensbasis aus aufgezeichneten da Vinci<sup>TM</sup> Operationen zu erzeugen, um damit die Anfangskonfiguration eines telemanipulatorgestützten Eingriffs zu optimieren [7]. Dies ermöglicht es, die Bewertung auch in OP-Szenarien zu verwenden.

## Methoden und Materialien

### Versuch

Es wurden 8 Durchführungen von zwei Personen an einem Pelvitainer (Abb. 1) durchgeführt. Vier Ringe wurden in einer festen Reihenfolge über zwei Stäbe gelegt. Zusätzlich sollten zwei Gummis über die Stäbe gespannt werden, so dass eine Koordination beider Hände notwendig ist. Der Endeffektor des Instruments wurde bei einer Abtastfrequenz von  $0.3\text{Hz}$  mit einem optischen Trackingsystem aufgezeichnet. Um zwei unterschiedliche Leistungsniveaus zu simulieren wurden je vier Durchführungen des Experiments unter direkter Sicht und unter der eingeschränkten Sicht eines Endoskops durchgeführt. Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau, sowie die endoskopische Sicht während des Experiments.

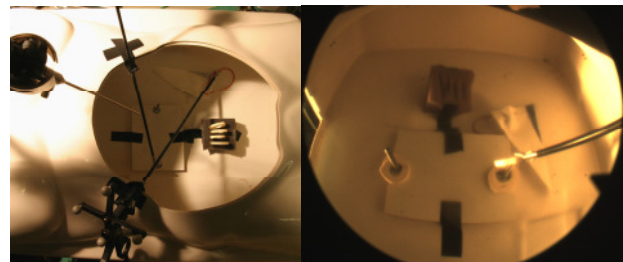


Abb. 1: Versuchsaufbau und endoskopische Sicht

### Segmentierung der Positionsdaten

Die Segmentierung basiert auf einem Positionsclustering der Trajektorien durch den Complete Linkage Algorithmus, einer agglomerativen hierarchischen Clustertechnik, die iterativ die Anzahl der Cluster verringert, indem jeweils zwei Cluster mit minimaler Distanz vereint werden. Im Complete Linkage Algorithmus werden dazu die Distanzen der am weitesten entfernten Elemente der Cluster verwendet, wodurch sich kompakte Cluster ergeben. Diese iterative Prozedur wird beendet sobald  $n$  Cluster erzeugt wurden. Die Zahl  $n$  definiert die Anzahl der unterschiedlichen Segmente, in die die Trajektorien eingeteilt werden sollen. Jeder Cluster wird durch seinen Schwerpunkt und die Varianz in alle Raumrichtungen repräsentiert.

Anschließend wird die zu segmentierende Trajektorie Punkt für Punkt traversiert, und es wird eine Klassifikation durch einen Maximum Likelihood Klassifikator durchgeführt. Die Cluster werden hierzu durch  $(\mu, \sigma^2)$ -normalverteilte Wahrscheinlichkeitsdichten  $N(\mu, \sigma^2)$  beschrieben. Es wird die Entfernung  $d$  der aktuellen Posi-

tion in der Trajektorie zu den Clusterschwerpunkten berechnet, sowie die Varianz in diese Richtung ( $\sigma^2$ ). Die Entscheidung für die Klassenzugehörigkeit fällt auf den Cluster mit der maximalen Wahrscheinlichkeitsdichte  $N(d, \sigma^2)$ .

Zu jedem Punkt der Trajektorie wird die Klassenzugehörigkeit gespeichert. Die Trajektorie wird nun in Bereiche mit derselben Klassenzugehörigkeit unterteilt. Es ergibt sich so eine Abfolge von  $m \geq n$  Bereichen.

### Bestimmung von Merkmalen

Im ersten Schritt werden die Merkmale global für die gesamte Übung und zusätzlich innerhalb der  $m$  Bereiche bestimmt. Im zweiten Schritt werden die Merkmale, die für einen bestimmten Bereich ermittelt wurden und derselben Klasse zugeordnet sind, sich also nur im zeitlichen Auftreten in der Trajektorie unterscheiden, zu einer Gesamtaussage über das Segment zusammengefasst.

Es werden einfache Merkmale wie Zeit, Zeit im Stillstand, Strecke oder Strecke in den Koordinatenrichtungen bestimmt. Es wird jedoch auch das Volumen der konvexen Hülle der Positionen im Raum betrachtet. So kann die Größe des Arbeitsraums abgeschätzt werden. Ein anderes Merkmal betrachtet die Gleichmäßigkeit der Form der Raumkurve. Dazu wird ein Cubic Smoothing Spline durch die Trajektorie gelegt und der Abstand zwischen geglätteter Kurve und tatsächlichen Kurve bestimmt. Eine weitere Klasse von Merkmalen analysiert das kinematische Verhalten. So werden Extrema und Integrale der kinematischen Größen bestimmt, um eine Aussage über die Zielstrebigkeit und Gleichmäßigkeit der Bewegung zu ermöglichen, vergl. [8].

Durch den Ansatz zur Bestimmung von Merkmalen wird eine Vielzahl von Merkmalen erzeugt, die jedoch nicht alle eine Unterscheidung von verschiedenen Leistungsniveaus erlauben und somit ungeeignet für eine Bewertung sind. Hier werden diejenigen Merkmale ausgewählt, die eine signifikante Unterscheidung erlauben (Signifikanzniveau  $\alpha=0.05$ ).

## Ergebnisse

Es konnten 19 Merkmale identifiziert werden, die eine Unterscheidung der Leistungsniveaus erlauben. Dieses ist zum Beispiel die mittlere Geschwindigkeit im zweiten Segment oder das Volumen der konvexen Hülle. Neun Merkmale basieren auf dem gesamten Positionssignal. Zehn signifikante Merkmale wurden innerhalb des zweiten Segments gefunden. Dies zeigt, dass sich die Anzahl der signifikanten Merkmale erhöht, welche eine Unterscheidung im Grad der chirurgischen Expertise zulassen.

## Diskussion

Basierend ausschließlich auf Positionsdaten der Endeffektoren chirurgischer Instrumente wurden Merkmale bestimmt, die als Grundlage für die Bewertung minimal invasiver Fertigkeiten dienen können. Da nur Positionen betrachtet wurden, kann der Ansatz flexibel auf verschiedene Systeme übertragen werden. Jedoch ist

dadurch auch die Wahl der Merkmale eingeschränkt, weil z.B. Kräfte und auftretende Fehler, die sich beispielsweise durch eine Analyse der endoskopischen Bilddaten ergeben könnten, nicht berücksichtigt werden. Es gibt Merkmale, die nur innerhalb eines Segmentes eine Unterscheidung zulassen und die über die gesamte Übung betrachtet keine signifikante Unterscheidung erlauben. Im durchgeführten Experiment trifft dieses auf das zweite Segment zu. Durch die Segmentierung wurde die insgesamt vorliegende Anzahl der signifikanten Merkmale mehr als verdoppelt.

Durch eine Segmentierung und Bestimmung der Merkmale innerhalb der Segmente ist eine differenziertere Betrachtung der Trajektorie möglich, was durch den Informationsgewinn zu einer höheren Anzahl an signifikanten Merkmalen bezüglich der Bewertung des Grads der chirurgischen Expertise führt. Deshalb ist es sinnvoll innerhalb von Segmenten zu bewerten.

## Literatur

- [1] GRANTCHAROV, T.P. and KRISTIANSEN, V.B. and BENDIX, J. and BARDRAM, L. and ROSENBERG, J. and FUNCH-JENSEN, P.: Randomized clinical trial of virtual reality simulation for laparoscopic skills training. *British Journal of Surgery*, 91(2):146--150, 2004.
- [3] COTIN, S. and STYLOPOULOS, N. and OTTENSMEYER, M. and NEUMANN P. and RATTNER D. and DAWSON S.: Metrics for Laparoscopic Skills Trainers: The Weakest Link!. *MICCAI '02: Proc of the 5th Int Conf on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-Part I*, pages 35--43, London, UK, 2002. Springer-Verlag.
- [5] FRIED, G.M.: Simulators for laparoscopic surgery: a coming of age. *Asian J Surg*, 27(1):1--3, 2004.
- [6] ACOSTA, E.; TEMKIN, B.: Haptic Laparoscopic Skills Trainer with Practical User Evaluation Metrics. *Studies in Health Technology and Informatics*, 111:8--11, 2005
- [7] BOLL, M-T. and MAAB, H. and CAKMAK, H.K. and KÜHNAPFEL, U.: A new Approach for Assessing the Success of Training on a Minimal Access Surgery VR-Simulator. In Y. Jiang and S. Kissling and T. Steinbrecher and B. Völker and S. Wilson, editors, *Abstracts & Programme KIT PhD Symposium 2009 - Broaden your horizons*, pages 55, Karlsruhe, Germany, 2009. Karlsruhe Institute of Technology. KIT PhD Symposium, Karlsruhe.
- [8] ROSEN, J. and SOLAZZO, M. and HANNAFORD, B. and SINANAN, M.: Objective Evaluation Of Laparoscopic Surgical Skills Using Hidden Markov Models Based On Haptic Information And Tool/tissue Interactions. *American College of Surgeons Annual Meeting*, Lake Chelan, 2000.
- [10] WÖRN, H. and WEEDE, O.: Optimizing the Setup Configuration for Manual and Robotic Assisted Minimally Invasive Surgery. *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, September 7 - 12, 2009, Munich, Germany*, 55--58, 2009.
- [11] DATTA, V. and MACKAY, S. and MANDALIA, M. and DARZI, A.: The use of electromagnetic motion tracking analysis to objectively measure open surgical skill in the laboratory-based model. *Journal of the American College of Surgeons*, 193(5):479--485, 2001.