

Projektbeschreibung – Dr. med. Nicolas Carl

Manfred-Wirth-Stipendiat 2025,

Fördernummer: CaN1/MW-25

Heimatklinik: Universitätsklinikum Mannheim, Abteilung für Urologie und Urochirurgie

Projekt: „Multi-endoscope 3-dimensional surgical scene reconstruction for AI-driven innovations in workflow analysis“

Betreuer und Gastlabor: Prof. Dr. Alexandre Mottrie und Dr. Pieter De Backer, ORSI Academy Innotech, Melle, Belgien

Projektbeschreibung:

Die roboterassistierte Chirurgie hat die moderne Medizin revolutioniert, indem sie eine hochpräzise, tremorfreie Instrumentenführung, verbesserte 3D-Visualisierung und eine erweiterte Beweglichkeit der Instrumente ggü. laparoskopischen Eingriffen ermöglicht. Patienten profitieren dabei zum Beispiel von kürzeren Erholungszeiten, geringeren Komplikationsraten und einer minimalen Narbenbildung. Darüber hinaus basiert die roboterassistierte Chirurgie vollständig auf videoendoskopischer Technik, wodurch nachvollziehbare operativ-visuelle Daten anfallen, die zuvor nicht verfügbar waren. Videoendoskopische Aufzeichnungen machen die Interaktion zwischen chirurgischen Instrumenten und Gewebe – dem zentralen Element der Chirurgie – sichtbar und stellen eine wertvolle Datenquelle dar, die sich systematisch mit Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) auswerten lässt. Sie bilden damit eine wesentliche Grundlage für das aufstrebende Forschungsfeld der Surgical Data Science (SDS).

Aktuelle Entwicklungen im Bereich der SDS konzentrieren sich hierbei zum Beispiel auf die Integration von Augmented Reality (AR) zur Unterstützung während der Operation. So wird AR beispielsweise genutzt, um Tumoren bei einer roboterassistierten partiellen Nephrektomie (RAPN) dreidimensional darzustellen. Allerdings ist die Implementierung von AR in den klinischen Alltag bislang noch nicht routinemäßig erfolgt, da mit der Technologie gewisse Herausforderungen einhergehen. Dazu zählen etwa Gewebeverschiebungen während des Eingriffs, Überlagerungen der AR-Modelle mit anatomisch wichtigen Strukturen oder Instrumenten sowie Schwierigkeiten, das virtuelle Modell exakt an die anatomische Position anzupassen. Ein zentrales Problem besteht darin, dass die zugrunde liegenden AR-Modelle meist auf präoperativen Bilddaten (beispielsweise CT oder MRT) basieren, die keine Echtzeitanpassungen ermöglichen.

Hier setzt das Forschungsfeld der SDS mit dem Ziel an, chirurgische Prozesse datenbasiert zu analysieren und zu optimieren. Eine zentrale Voraussetzung dafür sind jedoch umfangreiche, präzise annotierte Datensätze mit exakten Markierungen und Segmentierungen, die derzeit für die Urologie nur begrenzt verfügbar sind. Um die aktuellen Herausforderungen von AR im Operationssaal zu überwinden, ist eine exakte 3D-Rekonstruktion der chirurgischen Szene auf Basis solcher Datensätze unverzichtbar – eine technisch äußerst anspruchsvolle Aufgabe.

Einen Ausweg bietet das Konzept des *Xeno-Learning*. Darunter versteht man die Übertragung von KI-Modellen zwischen verschiedenen Spezies, um dem Mangel an Trainingsdaten

entgegenzuwirken. Konkret soll ein kuratierter, annotierter Datensatz von RAPN-Eingriffen an einem Schweinmodell erstellt und KI-Modelle auf den erhobenen Daten trainiert werden, um als Grundlage für die Übertragung auf menschliche RAPN zu dienen. Das Tiermodell bietet den Vorteil, dass dort zusätzliche Schritte möglich sind, die am Menschen nicht praktikabel oder unethisch wären. Am bedeutendsten ist jedoch die Möglichkeit, eine vollständige dreidimensionale Erfassung der chirurgischen Szene in das Training neuer KI-Modelle einfließen zu lassen. Diese Daten werden wertvolle Erkenntnisse für die 3D-Rekonstruktion liefern und helfen zu verstehen, wie die 3D-Rekonstruktion künftig beim Eingriff am Menschen in Echtzeit realisiert werden kann.