

Workshop

Surgical Workflows

Workshop Surgical Workflows

im Rahmen der 9. CURAC Jahrestagung 2010

Rahmen und Zweck der Veranstaltung

Workflows im Bereich der Chirurgie gewinnen zunehmend an Bedeutung. Chirurgische Workflows ermöglichen neben einem Einsatz im Bereich der Evaluation auch die Erfassung von klinischem Expertenwissen und dessen interdisziplinäre Kommunikation. Zusätzlich bieten workflowbasierte Ansätze einen Ausgangspunkt zur situationsgerechten Steuerung chirurgischer Assistenzsysteme.

Die Arbeitsgruppe „Surgical Workflow“ organisiert auch in diesem Jahr wieder einen Workshop zu workflowrelevanten Themen im Rahmen der 9. CURAC-Jahrestagung. Hauptziel des Workshops ist es, eine Plattform für den Erfahrung- und Gedankenaustausch zwischen aktiven nationalen Gruppen zur Verfügung zu stellen und Interessenten einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung zu ermöglichen.

Im Rahmen des Workshops werden technische Konzepte und klinische Anwendungen zur Erfassung, Modellierung und zur Verwendung von chirurgischen Workflows im Bereich der computerassistierten Chirurgie vorgestellt. Gleichzeitig bietet sich Interessenten die Möglichkeit zur Diskussion mit nationalen Experten auf dem Gebiet der chirurgischen Workflows.

Veranstalter

Veranstalter des Workshops ist die CURAC-Arbeitsgruppe „Chirurgischer Workflow“. Die Arbeitsgruppe hat das Ziel, die nationalen Aktivitäten in dem Forschungsgebiet zu bündeln. Organisiert wird der Workshop durch Thomas Neumuth und Stefanie Speidel.

Dr. Thomas Neumuth ist Leiter der Arbeitsgruppe „Workflow and Knowledge Management“ am Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS) der Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen und Automatisierungstechnik an der HTWK Leipzig und promovierte im Bereich Medizintechnik an der Universität Leipzig zum Thema chirurgische Workflows.

Dr.-Ing. Stefanie Speidel ist Leiterin des Forschungsschwerpunkts *Chirurgische Assistenzsysteme* am Institut für Anthropomatik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Sie hat sich im Rahmen ihrer Promotion innerhalb des Graduiertenkollegs 1126 „Intelligente Chirurgie“ mit der bildbasierten Analyse für ein situationsangepasstes Assistenzsystem beschäftigt.

Vorträge

Im Rahmen der letzten CURAC-Jahrestagung wurde der 4. Workshop „Chirurgische Workflows“ veranstaltet. Die nationalen Gruppen zeigten auch dieses Jahr wieder starkes Interesse an einer Beteiligung. Der Schwerpunkt der Vorträge liegt 2010 auf den technischen Aspekten der Erhebung chirurgischer Prozessmodelle, der Erkennung von Prozesssituationen und dem Workflow Management im Operationssaal. Nach dem klinischen Eröffnungsvortrag, indem die Motivation und das medizinische Interesse an der Verwendung chirurgischer Prozessmodelle für den klinischen Einsatz betont wird, stellen verschiedene nationale Gruppen ihre Projekte vor:

Vortragsprogramm:

1. Lindner D, Chalopin C, Meixensberger J: Workflowanalytik in der Neurochirurgie – wie, wann, warum?.
2. Schneider A, Kranzfelder M, Bouarfa L, Leuxner C, Friess H, Feussner H: Online-Erfassung von intraoperativen Zuständen zur Analyse chirurgischer Workflows.
3. Blum T, Navab N: Detection of Surgical Phases based on Laparoscopic Video.
4. Katic D, Castrillon-Oberndorfer G, Sudra G, Speidel S, Eggers G, Dillmann R: Wissensbasierter Ansatz zur kontextbezogenen Erweiterten Realität in der Dentalimplantologie.

5. Liebmann P, Neumuth T: Evaluierung eines chirurgischen Workflowmanagementsystems
6. Mönnich H, Raczkowsky J, Wörn H: Workflow controlled Robotic Surgery.

Der Workshop wird durch Lindner et al. mit einer Darstellung der klinischen Motivation zur Nutzung chirurgischer Workflows in der Neurochirurgie eröffnet. Anschließend präsentieren Schneider et al. ein System zur Onlineerfassung von OP-Phasen. Die Erfassung erfolgt für Cholezystektomien und basiert auf verschiedenen Informationen wie z. B. OP-Licht, OP-Tisch-Position, Parameter von chirurgischen Assistenzsystemen und RFID-Signalen. Blum et al. stellen eine Methodik zur Auswertung von Videos zur Erkennung von chirurgischen Arbeitsschritten vor. Basierend auf statistischen Modellen wird für Cholezystektomien die Instrumentenverwendung erkannt. Katic et al. präsentieren eine wissensbasierte Situationserkennung zur Unterstützung mithilfe der Erweiterten Realität in der Dentalimplantologie. Basierend auf Situationsmerkmalen werden ähnliche Merkmale in eine Wissensbasis gesucht und klassifiziert.

Zur Unterstützung des Workflowmanagements zeigen Liebmann et al. die automatische Erstellung von Workflowschemata basierend auf individuellen Prozessmodellen und präsentieren die Validierungsergebnisse zu dieser Vorgehensweise. Mönnich et al. stellen eine Workflowmanagementimplementierung für die robotergestützte Chirurgie vor.

Die Veranstalter laden Sie herzlich ein, den Workshop zu besuchen und mit den nationalen Experten des Forschungsgebietes zu diskutieren.

Thomas Neumuth und Stefanie Speidel

Workflowanalytik in der Neurochirurgie - wann, wie und warum?

Dr. Dirk Lindner¹, Dr. Claire Chalopin², Prof. Jürgen Meixensberger^{1,2}

¹ *Klinik für Neurochirurgie, Universität Leipzig;*

² *ICCAS Innovation Center Computer Assisted Surgery Leipzig*

Kontakt: dirk.lindner@medizin.uni-leipzig.de

1 Problem

Das Konzept des „Chirurgischen Workflows“ ist eine wissenschaftliche Methodik zur Analyse operativer Eingriffe. Die Beschreibung chirurgisch geprägter Abläufe kann sehr kleine und klar begrenzte Operationen, aber auch weitreichende, material- und zeitaufwendige Prozeduren einschließen. Im Rahmen neurochirurgischer Operationen werden intraoperativ eine Vielzahl an technischen Abläufen mit personellen Interaktionen verknüpft. Gleichzeitig sind einzelne Operationen relativ selten bzw. werden in Teilabschnitten sehr individuell durchgeführt. Andererseits sind technische Assistenzsysteme zur intraoperativen Visualisierung (Mikroskop, Endoskop), die Neuronavigation, das intraoperative Monitoring und die Bildgebung integraler Bestandteil neurochirurgischer Operationen. Der Zeitaufwand kann sich von wenigen Minuten bis über Stunden erstrecken d. h. die Analytik der Workflowprozesse muss vor Beginn der Untersuchungen genauestens abgesteckt werden. Die Frage: Warum genau bei dieser Operationsart eine Workflowanalyse erfolgen soll und mit welchem technischen Aufwand, muss bereits im Vorfeld diskutiert werden. Die Anzahl der operativen Eingriffe und deren Heterogenität beeinflusst direkt die Ergebnisse der Analysen. Ziel sind optimierte Operationsabläufe für den Patienten und den Operateur. Standards müssen hinterfragt, neue Methoden geprüft und Fehler suffizient abgestellt werden. Die Entwicklung der Workflowprozesse in der Neurochirurgie soll auf der Basis der eigenen Erfahrungen beispielgebend dargestellt werden.

2 Methoden

1. Auswahl des operativen Eingriffs: Enge Zusammenarbeit zwischen Informatikern und Technikern des ICCAS (Innovationszentrum für Computer assistierte Chirurgie Leipzig) und den Neurochirurgen, die Entscheidung für einen bestimmten Eingriff wird letztlich klinisch geprägt, beispielgebend lumbale Bandscheibenoperationen, Hirntumoren, vaskuläre Malformationen.
2. Auswahl des Equipments: Workfloweditor, Hardwareauswahl; Personeller Aufwand; Programmierung der Software, Aufnahme der Instrumente und technischen Geräte mit der OP Schwester; Einsatz von weiteren Bildquellen, z.B. eine Kamera; Verknüpfung der externen Bild- und Datenquellen und des Editors zu einer konsistenten und synchronisierten Datenaufnahme mit WorkflowClient und WorkflowServer

3 Ergebnisse

1. Reproduzierbare und objektive Abläufe
2. Training für einzelne Phasen der OP
3. Erklären von OP Abläufen
4. Erlernen von OP Abläufen
5. Verbesserung der operativen Abläufe
6. Fehleranalyse

4 Ziele

1. Abläufe intraoperativ straffen bzw. optimieren
2. Personalaufwand zeitweise reduzieren
3. Operative Ergebnisse für den Patienten und den Operateur verbessern
4. Patientenzufriedenheit und Outcome steigern
5. Vermeidung von Fehlern anstreben

Online Erfassung von intraoperativen Zuständen zur Analyse des chirurgischen Workflows

A. Schneider¹, M. Kranzfelder^{1,2}, L. Bouarfa³, C. Leuxner⁴, H. Friess², H. Feussner^{1,2}

¹ Klinikum r. d. Isar der TU München, Forschungsgruppe MITI, München, Germany

² Klinikum r. d. Isar der TU München, Chirurgische Klinik und Poliklinik, München, Germany

³ Delft University of Technology, MISIT, Delft, Netherlands

⁴ Technische Universität München, Fakultät für Informatik IV, München, Germany

Kontakt: armin.schneider@mitigroup.de

1 Problem

Eine intraoperative Erfassung des Workflows bietet viele Vorteile für den Operateur, wie auch für das komplette Management. So können zum Beispiel Komplikationen frühzeitig erkannt werden, aber auch die komplette OP Planung genauer gesteuert werden.

Grundvoraussetzung hierfür ist eine ubiquitäre Datenerfassung und ein hochstandardisierter Eingriff.

2 Methoden

Zur Erfassung und Analyse des intraoperativen Workflows wurde die laparoskopische Cholezystektomie ausgewählt, da dies ein hochstandardisierter Eingriff bei kurzer bis mittlerer Operationszeit ist.

Initial wurde das komplette operative Vorgehen als Workflowmodell abgebildet und in mehreren Hierarchien bis hin zu jedem einzelnen Instrumentenwechsel abgebildet.

In einem dedizierten, für die minimalinvasive Chirurgie ausgestatteten Operationssaal wurden zusätzliche Sensoren für die Erfassung des Zustandes des Raum- und OP-Lichtes, der Spül- und Saugflüssigkeitsmenge, der Neigung des Operationstisches, Applikation von Koagulation- und Schneidstrom und des intraabdominellen Druckes installiert.

Zur Erfassung des Ausbildungsstandes des Operateurs wurde ein RFID (Radio-Frequency Identification) System implementiert, das die Position des Operateurs und des Assistenten erfasst.

Ein weiterer relevanter Parameter sind die bisher verwendeten und das aktuell eingesetzte aktive Instrument. Diese wurden mittels Barcodes am Schaft detektiert. Parallel dazu wurde untersucht, ob es möglich ist, diese durch Farbmarkierungen am proximalen Ende des Instrumentenschaftes aus dem Videobild auszulesen.

3 Ergebnisse

In Abhängigkeit von der aktuellen Sensordatenkonstellation sollten diskrete Operationsschritte und –ereignisse definiert werden. Dies wurde am Workflowmodell anhand von 50 Cholezystektomien überprüft und adaptiert. Nach Abschluss konnten Standardoperationen eindeutig identifiziert werden und die einzelnen Phasen (Präparation, Clipapplikation, Durchtrennung A. cystica und D. cysticus, Auslösen der Gallenblase, Bergung) erkannt werden. Ebenso konnten Sondersituationen (Blutung, Konversion) detektiert werden.

4 Diskussion

Die umfassende Datenaufzeichnung ermöglicht eine offline Analyse des Workflows nach Abschluss des Eingriffes.

Eine rechnergestützte, contextsensitive Echtzeit-Interpretation ist jedoch derzeit noch nicht möglich. Mit ein Grund dafür ist die nötige Berücksichtigung der Historie, die als weitere Sensordaten in das System mit einfließen und derzeit noch nicht verarbeitet werden können.

Detection of Surgical Phases based on Laparoscopic Video

T. Blum¹, N. Navab¹

¹ Computer Aided Medical Procedures, Technische Universität München, Munich, Germany

Contact: blum@in.tum.de

1 Problem

Building context-aware systems that recognize the current phase of a running surgery would help unburden surgical staff. Such system could be used to provide important information at the right time, monitor the surgery for exceptions or predict the remaining time of a surgery. In minimally invasive surgeries, laparoscopic video can be captured easily. While for human experts it is easy to follow the course of a surgery from seeing a laparoscopic video, for computers automatic detection of surgical phases is a non-trivial problem. Two possible solutions are presented.

2 Methods

Previous work on detection of phases in laparoscopic surgeries has shown that the information on the use of tools can be used to build statistical models of the workflow and detect the running phase of a surgery. One way to detect the current phase from video is to recognize the presence of these tools and to use the same statistical models. Using color classification, morphological operations and shape properties we were able to detect clips in a minimally invasive gallbladder removal. Using color histograms we can detect whether the camera is inserted into the trocar or not. While we can detect the camera state with a success rate of 92% and the clip presence with 76%, it is hard to detect further information, like the use of certain instruments. Especially as many instruments look very similar, detection of specific instruments is hard and requires manual designing appropriate classifiers.

Instead of manually designing classifiers, dimensionality reduction techniques can be used. We created a 1932-dimensional feature vector, including color and HSV histograms and a downscaled version of the image. Instead of using an unsupervised dimensionality reduction like PCA, we use canonical correlation analysis (CCA). We have a set of training data, for which the image features are generated and the instrument usage has been labeled manually. By applying CCA, a mapping between both can be found. Using this supervised dimensionality reduction we are able to extract more information from the laparoscopic video compared to using unsupervised methods.

3 Results

The first method, where clips and the camera status are detected, can not be used without further information. We compared the use of 17 signals representing instrument usage and using the two additional visual signals. For both, a HMM was trained based on nine surgeries. The HMM was used to detect the current phase of a new surgery. A complete cross-validation was performed. The use of the additional vision based signals could improve the detection rate from 88,5% to 92,4%.

To detect surgical phases from video only, we constructed a model using dynamic time warping (DTW) that is based only on visual features. We either used PCA or CCA for reducing the dimensionality of the feature vectors. The model using PCA could detect the correct phase with an accuracy of 62,9% and the model using CCA with 76,1%. However, the detection currently only works offline, after the whole procedure has been acquired.

4 Discussion

We have shown two different methods to use endoscopic videos for detection of surgical phases. Using classifiers, the presence of some instruments can be detected. Detection only using this information is merely possible, but it can be used as additional signal. Supervised dimensionality reduction methods can be used to build models for detection. However, performance has still to be improved. One way could be to use a combination of both, for which we achieved detection accuracy of 79,1%

Wissensbasierter Ansatz zur kontextbezogenen Erweiterten Realität in der Dentalimplantologie

Darko Katić¹, Gregor Castrillon-Oberndorfer², Gunther Sudra¹, Stefanie Speidel¹, Georg Eggers², Rüdiger Dillmann¹

¹ Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Anthropomatik, Karlsruhe

² Universitätsklinikum Heidelberg, Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, Heidelberg

Kontakt: darko.katic@kit.edu

1 Problem

Erweiterte Realität hat sich als vielversprechendes Paradigma für intraoperative Assistenz erwiesen. Ein offenes Problem bleibt jedoch die dynamische Auswahl der Assistenzfunktion in Abhängigkeit vom aktuellen Kontext. In der Dentalimplantologie ist es z.B. sinnvoll, Implantatspositionen und Vitalstrukturen nur dann anzuzeigen, wenn sie aktuell relevant sind. Ziel ist es aufgrund des örtlichen Situationskontextes des Instruments eine Art Informationsfilter zu realisieren, der automatisch passende Visualisierungen selektiert. So soll die Ausführung der Operation erleichtert werden.

2 Methoden

Zur Auswahl der Visualisierung muss die aktuelle Situation klassifiziert werden. Dies geschieht durch eine wissensbasierte Analyse und Interpretation intraoperativer Sensordaten. Konkret wird die Lage des Dentalbohrers, des Bohrkassens und des Patienten über ein optisches Verfahren räumlich verfolgt. Daraus werden elementare Situationsmerkmale wie Abstand und Geschwindigkeit extrahiert und in einer OWL-basierten Wissensbasis abgelegt. Die dazu benötigte Diskretisierung der Messwerte erfolgt über die Theorie der Unscharfen Mengen. Zur Interpretation wird ein hybrider Ansatz basierend auf der menschlichen Vorgehensweise eingesetzt. Ein Chirurg verwendet zwei Informationsquellen zur Interpretation von Situationen: formales Wissen aus Lehrbüchern und Erfahrungswissen aus dem Arbeitsalltag. Zur Nutzbarmachung des formalen Wissens wird ein regelbasiertes Verfahren angewendet. Erfahrungswissen wird über eine Fallbasis repräsentiert. Hierbei wird zur Erkennung der Situation für die aktuelle Situationsbeschreibung das ähnlichste, bekannte Trainingsbeispiel gesucht und die neue Situation entsprechend klassifiziert. Die Ergebnisse des regel- und des fallbasierten Verfahrens werden anschließend fusioniert. Auf dieser Grundlage wird über ein weiteres regelbasiertes Verfahren eine passende Visualisierung generiert. Damit werden Situationen wie die Annäherung des Instruments an eine Implantatsposition, die eigentliche Bohrung, die Auswahl eines neuen Bohrkopfs und die Gefährdung des Dentalnervs erkannt und schließlich durch eine angepasste Visualisierung unterstützt.

3 Ergebnisse

Zur Evaluation des Ansatzes wurden Phantomversuche durchgeführt und die Erkennungsrate bestimmt. Für Letzteres wurden Operationen unter Laborbedingungen nachgestellt und aufgezeichnet. Anschließend wurde von zwei Chirurgen entschieden, ob die Anzeige zu gegebenen Zeitpunkten angemessen war oder nicht. Insgesamt ergab sich, dass über etwa 85% der Operationsdauer die korrekte Visualisierung angezeigt wurde. Ursache für die meisten Fehlererkennung war die Diskretisierung der Situationsmerkmale. So wurden beispielsweise manche Abstände zwischen Objekten vom System als „fern“ angesehen, von den Experten aber als „nah“. Entsprechend ergaben sich abweichende Interpretationen. Der medizinische Nutzen der automatischen Anpassung der Visualisierung konnte in den Experimenten bestätigt werden.

4 Diskussion

Insgesamt war der wissensbasierte Ansatz geeignet, kontextbezogene Assistenz intraoperativ zu generieren. Durch die Nutzbarmachung von vorhandenem Hintergrundwissen wurde die Menge der benötigten Trainingsbeispiele klein gehalten. Das Wissen ist in expliziter, für Menschen verständlicher Form dargestellt, was Erweiterung und Verifikation erleichtert. Weitere Arbeiten sind jedoch notwendig um die Laufzeit der Situationsinterpretation zu verkürzen.

Evaluierung eines chirurgischen Workflow Management Systemes

P., Liebmann¹, T. Neumuth¹

¹ *Universität Leipzig, Innovation Center Computer Assistent Surgery, Leipzig, Germany*

Kontakt: philipp.liebmann@medizin.uni-leipzig.de

1 Problem

In der freien Wirtschaft ist die Steuerung von Unternehmensprozessen mittels Workflow Management Systemen häufig anzutreffen. Im Gegensatz dazu stehen der moderne Operationsaal und der chirurgische Prozess der aufgrund seiner hohen Variabilität mit den heutigen Systemen nur schwer zu erfassen ist. Die hohe Variabilität resultiert aus patientenspezifischen Eigenschaften oder den unterschiedlichen Fähigkeiten und Techniken der Chirurgen. Dies verhindert eine Top-Down Modellierung oder führt zu einer sehr groben Beschreibung des chirurgischen Prozesses. Diesem Problem wurde mit der induktiven Modellierung des Prozesses aus mehreren patientenindividuellen Prozessmodellen begegnet. In diesem Artikel wird die Anwendbarkeit der so erstellten Prozessmodelle als Eingabedaten für ein Chirurgisches Workflow Management System (S-WFMS) untersucht.

2 Methoden

Um eine generalisiertes Chirurgisches Prozessmodell (gSPM) zu erzeugen werden die Aktivitäten der patientenindividuellen Chirurgischen Prozessmodelle (iSPMs) aufeinander registriert. Anschließend werden über die Häufigkeit der Vorgänger-Nachfolger Relationen wahrscheinlichkeitsbehaftete Transitionen zwischen den Aktivitäten berechnet. Somit stellt sich das gSPM als ein statistisch gemitteltes Model aus vielen Prozessbeobachtungen dar.

Als Basis für das S-WFMS dient eine YAWL-Engine. Daher wird das gSPM mittels eines Konverters in ein YAWL-Workflowschema konvertiert. YAWL (yet another workflow language) basiert auf Petri Netzen und erweitert deren Funktionalität.

Das Gesamtsystem besteht aus den folgenden Hauptkomponenten: Einer Simulationseinheit, der Workflowmanagement Engine und einem Administrationstool. In der Simulationseinheit werden iSPMs aus einer Datenbank geladen und dann Schritt für Schritt an die Workflowmanagement Engine übermittelt. In der Workflowmanagement Engine werden die Schritte einzeln entgegen genommen und mit dem vorher geladenen Workflowschema verglichen. Es wird kontrolliert ob das Workflowschema alle Transformationen enthält die notwendig sind um von einem Prozessschritt in den nächsten zu kommen.

3 Ergebnisse

Ziel war es eine prinzipielle Verwendbarkeit der oben beschriebenen Bottom-Up Methodik zur Erstellung von generalisierten Prozessmodellen des chirurgischen Prozesses als Eingabedaten für ein Workflow Management System zu untersuchen.

Es konnte gezeigt werden das Workflow Management Engine mittels des geladenen Workflowschema jeden Prozessschritt einer durch iSPMs simulierten chirurgischen Operation im generalisierten Modelle nachvollziehen kann.

4 Diskussion

Das Ergebnis zeigt die prinzipielle Möglichkeit die der Ansatz der induktiv erzeugten chirurgischen Prozessmodelle bietet. Die Möglichkeit den Prozess mittels eines Workflow Management Systems nachzuvollziehen oder zu steuern ist somit gegeben. Es bleibt zu Untersuchen wie das System unter realen Bedingungen, also den Schritten eines vorher nicht im Detail bekannten Prozesses arbeitet.

Workflow controlled Robotic Surgery

H. Mönnich¹, J. Raczowsky¹, H. Wörn¹

¹ Karlsruhe Institut für Technologie ,Institut für Prozessrechenstechnik, Automation und Robotik, Karlsruhe, Germany

Kontakt: holger.moennich@kit.edu

1 Problem

Besides Minimal Invasive Surgery a partial automatic robotic surgery had only very limited success over the past decade. Systems like Robodoc appeared and disappeared from the operation theatre and there is very limited evidence about the specific problems and reasons for the failure of the systems. Studies claim that the systems are able to perform the specific surgery they are designed for with similar results than professional surgeons, outperforming them in some domains while human surgeons are better in others. Two problems are the missing evidence about the performance of the systems, due to a missing data basis to compare between conventional and computer assistant surgery, and the fact that some systems have been used in an incorrect way. For the first problem different groups already developed methods to record conventional surgeries to get a ground truth. Similar formalized methods are needed to record the data automatically during robotic surgery. Also validation is a crucial point for a successful establishment of semi automatic computer assisted surgery to prohibit failures due to software problems or incorrect usage.

2 Method

The method proposed here focus on usability and soundness of the planning tool. The workflow language YAWL is used therefore. YAWL is based on Petri Net. While Petri Nets are good for verification, because they have a well founded semantic, they are not very user friendly. The reason is that they differentiate between places and transitions and only support AND-(transitions) and XOR join (places) operations. This leads to complex and non user-friendly workflows. To overcome this problem the development of YAWL (Yet another workflow language) was started by van Aalst et al.. YAWL has a formal founded theory that is also user friendly. Compared with other workflow language it does support more workflow patterns and support better verification techniques. The soundness of a workflow guarantees that the end task is reachable from the start task and that the workflow is dead- and live-lock free. While the soundness of the workflow guarantees the correct execution of the workflow it does not guarantee specific outcomes of it, e.g. that a registration is always performed before the execution of the surgery. These properties can be modeled with temporal logic that extends propositional logic with path and temporal quantifiers. This allows formalizing a set of properties that can automatically be checked against the workflow, the World Health Organization shows the impact of this with the checklist for surgery. These constraints defined in temporal logic are checked against the workflow. During the execution of the workflow all data is recorded and is analyzed later with a Process Mining Toolkit.

3 Results

A demonstration scenario for roboter guided laser ablation on bone was built up with the described framework that shows the possibilities of the proposed setup. For the demonstrator a complete workflow was developed, covering registration and setup of the complete system as well as the intervention itself. The workflow consists of one top workflow with 13 sub-workflows covering specific aspects, like Visual Servoing, Motion Compensation and Registration. Different Temporal Logic formulas can be checked against the workflow to ensure the soundness.

4 Discussion & Outlook

The proposed method is implemented in a demonstrator that shows the principal feasibility. Workflow planning may be one utility in the future to make it easier for the surgeon to use the developed hardware. It is important that the systems react as intuitive as possible, therefore additional supervision methods are needed. Currently work is done to enhance this setup with a pmd (photonic mixing device) camera setup to supervise the operating room to detect abbreviations from the planned trajectories and to perform collision avoidance even with unknown objects. Also to use ontologies to describe more accurately the correct usage of objects for a specific surgery is under development.