

Workshop

Graduiertenkolleg 1126:

Intelligente Chirurgie

Workshop Graduiertenkolleg 1126: Intelligente Chirurgie

im Rahmen der 9. CURAC Jahrestagung 2010

Rahmen und Zweck der Veranstaltung

Möglichkeiten der Operationsplanung, der interaktiven Bildgebung, der Telemanipulation, der Robotik und der Navigation führen zu tiefgreifenden Veränderungen des chirurgischen Arbeitsplatzes und werden längerfristig auch das Leistungsprofil von Chirurgen verändern. Die breite Nutzung innovativer Operationsstrategien erfordert einen neu konzipierten chirurgischen Arbeitsplatz, in dem die essentielle Verzahnung von Chirurgie und Medizintechnik adäquat berücksichtigt wird und der Verantwortung für die technologischen und chirurgischen Aspekte der Therapie professionell Rechnung getragen wird. Während computerbasierte Verfahren bereits Einzug in klinische Fachgebiete wie Neurochirurgie und orthopädische Chirurgie gehalten haben, ist die Weichteilchirurgie bislang von dieser Entwicklung weitgehend ausgenommen.

Erst in den letzten Jahren wandten sich internationale Forschergruppen dem Bereich der Weichteilnavigation, der Planung von Weichgewebeeingriffen sowie der Einbindung von Telemanipulatoren in die Weichteilchirurgie zu. Die entsprechenden Neuentwicklungen im Bereich Planung, Navigation, Telemanipulation und der Mensch-Maschine-Schnittstelle sind Gegenstand des Graduiertenkolleg 1126: "Entwicklung neuer computerbasierter Methoden für den Arbeitsplatz der Zukunft in der Weichteilchirurgie".

Im Rahmen des Workshops werden aktuelle Projekte aus den Bereichen Planung, intraoperative Navigation, Telemanipulation sowie Mensch-Maschine-Schnittstelle vorgestellt. Weiterhin bietet sich die Gelegenheit zur Diskussion mit technischen und klinischen Experten.

Veranstalter

Das Graduiertenkolleg (GRK) 1126 ist eine Kooperation der Universitätsklinik Heidelberg, des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ) Heidelberg. Aufbauend auf bestehenden Kooperationen befasst sich das Graduiertenkolleg 1126 (GRK 1126) mit unterschiedlichen medizintechnischen Fragestellungen der Weichteilchirurgie. Seit 2005 wird es überwiegend aus Mitteln der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) finanziert und ist inzwischen in der zweiten Förderphase. In enger Kooperation zwischen Ingenieuren und Medizinern werden im GRK 1126 neue Methoden für den chirurgischen Arbeitsplatz der Zukunft erforscht. Sprecher des Graduiertenkollegs ist Professor Dr. med. Markus W. Büchler, Geschäftsführender Direktor der Chirurgischen Universitätsklinik Heidelberg.

Vorträge

Das Arbeitsprogramm des GRK ist interdisziplinär angelegt und umfasst insgesamt neun medizintechnische Problemstellungen, die im Rahmen von achtzehn Promotionen erforscht werden. Jedes Forschungsthema wird sowohl in einer medizinischen als auch in einer technischen Promotion bearbeitet, wobei diese sich gegenseitig unterstützen und ergänzen. Das Workshop-Programm besteht aus sechs Vorträgen, die einzelne Arbeiten aus den Bereichen Navigation, Telemanipulation und Mensch-Maschine-Interface präsentieren.

Programm:

1. S. Mersmann, F. Arnegger, B. Schmied, H.P. Meinzer, L. Maier-Hein: Navigierte Leberchirurgie mit Time-of-Flight Kamertechnologie für die intraoperative Bildakquisition
2. M. Müller, D. Teber, A. Groch, M. Baumhauer, H.P. Meinzer, J. Rassweiler: Hybrides Tracking für Augmented Reality – Anwendungen in der laparoskopischen Chirurgie
3. Seitel, C.M.Sommer, B. Radeleff, H.P. Meinzer, L. Maier-Hein: Markerlose Bewegungskompensation für navigierte, minimal-invasive Interventionen
4. O. Weede, B. Müller, H. Wörn: Optimierung der Anfangskonfiguration eines Telemanipulatorsystems

5. S.Röhl, S. Speidel, S. Suwelack, H. Kenngott, B. Müller-Stich, R. Dillmann: Modellbasierte intraoperative Registrierung von Weichgewebe für ein chirurgisches Assistenzsystem
6. F. Nickel, H. Kenngott, J. Neuhaus, J. Kast, C.M. Sommer, A. Kolb, T. Gehrig, B. Radeleff, A. Schaible, H.P. Meinzer, C. Gutt, B.P. Müller-Stich: Respiratorische Organdeformation des Ösophagus und Bewegungskorrelation mit Hautmarkern im Großtiermodell für navigierte Interventionen

Im ersten Vortrag präsentieren Mersmann et al. ein computergestütztes Navigationssystem für die navigierte Leberresektion basierend auf der Time-of-Flight-Kameratechnologie. Ersten Ergebnissen zufolge eignet sich die neue Technologie aufgrund der schnellen Generierung von dichten Tiefenkarten für die intraoperative Bildakquisition.

Müller et al. entwickeln ein Navigationssystem für die laparoskopische Chirurgie, das das reale Videobild mit virtuellen Modellen anatomischer Strukturen anreichert (Augmented Reality). Dazu werden im Videobild sichtbare, farbige Marker und ein externes, optisches Trackingsystem verwendet, so dass die Genauigkeit des Marker-basierten Trackings mit der Zuverlässigkeit eines optischen Trackingverfahrens kombiniert wird.

In der Arbeit von Seitel et al. liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung eines Assistenzsystems für die computergestützte Nadelinsertionen in Weichgewebsstrukturen. Dabei liegt der Fokus auf einer markerlosen Bewegungskompensation, welche die Bewegung aufgrund von Atmung und Herzschlag mithilfe der Time-of-Flight-Kameratechnologie ausgleicht.

Die kollisionsvermeidende Bahn- und Standortplanung des da Vinci® Telemanipulators ist Gegenstand des Vortrags von Weede et al. Die Positionen der Zugänge, der Manipulatorbasis und die Konfiguration der Arme des Telemanipulators werden dahingehend optimiert, dass während der Operation keine Kollisionen auftreten, die Zielgebiete mit genügend Bewegungsfreiraum erreichbar sind und der Chirurg im Kamerabild eine gute Übersicht hat.

Röhl et al. beschäftigen sich mit der intraoperativen Registrierung von Weichgewebe für ein chirurgisches Assistenzsystem. Das intraoperative Modell der Weichgewebeoberfläche wird über eine echtzeitfähige, dreidimensionale Rekonstruktion auf Basis von Stereoendoskopbildern generiert und mit Informationen eines Kraftsensors gekoppelt.

Nickel et al. präsentieren eine Studie, die atmungsinduzierte Organdeformation des Ösophagus im Großtiermodell für navigierte Interventionen quantifiziert. Weiterhin wurde in der Studie eine Bewegungskorrelation anhand von Hautmarkern durchgeführt.

Die Veranstalter laden Sie herzlich ein, den Workshop zu besuchen und mit klinischen und technischen Experten der einzelnen Projekte zu diskutieren. Wir freuen uns auf Ihr Interesse und wünschen uns interessante Vorträge und Diskussionen.

Graduiertenkolleg 1126

Navigierte Leberchirurgie mit Time-of-Flight Kamertechnologie für die intraoperative Bildakquisition

S. Mersmann¹, F. Arnegger², B. Schmied², H.-P. Meinzer¹, L. Maier-Hein¹

¹ Abteilung Medizinische und Biologische Informatik, Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg, Deutschland

² Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie, Universität Heidelberg, Deutschland

Kontakt: s.mersmann@dkfz-heidelberg.de

1 Problem

Jährlich erkranken weltweit etwa 1.000.000 Menschen an primären Leberzellkarzinomen, deren häufigste Behandlungsform die chirurgische Resektion ist. Ziel der Resektion ist die vollständige Entfernung des Tumors inklusive eines Sicherheitsabstandes mit maximaler Schonung des gesunden Gewebes. Unter Berücksichtigung der zu- und abführenden Gefäße und des pathologischen Befundes ist es möglich, aus präoperativ durchgeführter Schnittbildgebung computergestützt einen Resektionsplan zu erstellen. Die Übertragung der Planung auf den Patienten im Operationssaal stellt jedoch auch für den erfahrenen Chirurgen eine komplexe Herausforderung dar, insbesondere da die Lage von Ziel- und Risikostrukturen im Organ durch Atmung, Herzschlag und chirurgische Manipulation intraoperativ verändert wird. Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines computergestützten Navigationssystems für die Leberteilresektion.

2 Methoden

Die Time-of-Flight (ToF) Kamertechnologie bietet eine neue Methode zur schnellen Erfassung von Objektoberflächen. Eine ToF-Kamera emittiert ein moduliertes Lichtsignal im nah-infraroten Spektralbereich und misst die Laufzeit zwischen Kamera und Objekt. Aus dieser Laufzeit, gemessen als Phasenversatz φ , kann die Distanz d über den Zusammenhang $d = \frac{c \cdot \varphi}{4 \cdot \pi \cdot f_{mod}}$, wobei c die Lichtgeschwindigkeit und f_{mod} die Modulationsfrequenz ist, bestimmt werden. Die Kamera liefert so simultan ein Grauwert- und ein Distanzbild, aus welchem die Organoberfläche extrahiert werden kann. Aufgrund der schnellen nicht-invasiven Erzeugung von dichten Tiefenkarten nutzen wir ToF Kamera als intraoperative Bildgebungsmodalität. Der von uns vorgeschlagene Ablauf einer navigierten Leberresektion gliedert sich in die Arbeitsschritte 1) präoperative Planung und Modellerstellung, 2) initiale Registrierung des Modells mit intraoperativen Bilddaten und 3) Deformations- und Schnitterkennung sowie Modellaktualisierung.

Der Resektionsplan, erstellt aus CT-Daten, dient als Basis für ein 3D-Modell, das die Anatomie sowie die mechanischen Eigenschaften der Leber repräsentiert. Die Oberfläche des Planungsmodells wird durch Kombination eines Graphmatching-Verfahrens (initiale Positionierung) mit dem *Iterative Closest Point* (ICP) Algorithmus (Feinanpassung) mit den intraoperativ akquirierten Organoberflächen registriert. Während der Operation auftretende Deformationen werden durch die ToF-Kamera erkannt und können durch Vergleich mit einem früheren Zeitschritt quantifiziert werden, um das 3D-Modell mit den Ziel- und Risikostrukturen anzupassen. Eine der Herausforderungen bei der Umsetzung des beschriebenen Workflows ist die Erzeugung von qualitativ hochwertigen Organoberflächen. Aufgrund von stochastischen und systematischen Fehlern in der Bildakquisition bedingt durch die Aufnahmetechnik müssen die Bilddaten vor der Oberflächenerzeugung aus dem Distanzbild kalibriert und geglättet werden. Dafür wird mittels Medianfilter über mehrere Bilder identischer Szene das Bild entauscht und mit dem Bilateralfilter geglättet. Die Kalibrierung der Kamera teilt sich in zwei Schritte: 1) die laterale Kalibrierung, die mit einer Standardkalibrierungsmethode die Verzerrungsparameter der Kamera bestimmt und 2) die Tiefenkalibrierung bei der die systematischen Tiefenfehler komponentenweise reduziert werden.

3 Ergebnisse

In-vitro Experimente an explantierten nicht-transplantierbaren menschlichen Lebern für die Arbeitsschritte 1) und 2) ergaben eine gute initiale Registrierung der geglätteten und lateral kalibrierten ToF-Oberfläche mit den CT-Planungsdaten. Eingebraachte Marker, die als Registrierungsziele dienten, konnten mit einer mittleren Genauigkeit von 2-3 mm in die Grauwertbilder abgebildet werden.

4 Diskussion

In diesem Beitrag wurde ein Konzept für die navigierte Leberresektion basierend auf der ToF-Kamertechnologie vorgestellt. Ersten Ergebnissen zufolge eignet sich die neue Technologie aufgrund von der schnellen Generierung von dichten Tiefenkarten für die intraoperative Bildakquisition. In zukünftigen Arbeiten soll der gesamte beschriebene Workflow umgesetzt werden.

Hybrides Tracking für Augmented Reality-Anwendungen in der laparoskopischen Chirurgie

M. Müller¹, D. Teber², A. Groch¹, M. Baumhauer¹, H.P. Meinzer¹ und J. Rassweiler²

¹Abteilung für Medizinische und Biologische Informatik,
Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), 69120 Heidelberg
²Urologische Klinik Heilbronn, SLK Kliniken

Kontakt: michael.mueller@dkfz-heidelberg.de

1 Problem

In den letzten drei Jahren wurde am Deutschen Krebsforschungszentrum in Zusammenarbeit mit den SLK Kliniken Heilbronn ein Navigationssystem für die laparoskopische Chirurgie entwickelt. Das System ist in der Lage, das reale Videobild mit virtuellen Modellen anatomischer Strukturen anzureichern (Augmented Reality). Dazu verwendet es im Videobild sichtbare, farbige Marker, mit deren Hilfe die räumliche Lage der Kamera bestimmt werden kann. Der Vorteil dieses Verfahrens ist die hohe Genauigkeit der Visualisierung. Im Falle der Okklusion eines oder mehrerer Marker kann jedoch keine Kameraposition mehr bestimmt werden. Aus diesem Grund stellen wir hier ein hybrides Trackingsystem vor, welches das bestehende System um ein externes, optisches Tracking des Laparoscops erweitert und so die Genauigkeit des Marker-basierten Trackings mit der Zuverlässigkeit eines optischen Trackingverfahrens kombiniert.

2 Methoden

Das bestehende Marker-basierte Tracking bestimmt die Kameraposition anhand der Punktkorrespondenzen von 2D- zu 3D-Punkten. Die 2D-Punkte werden fortlaufend aus dem Videobild segmentiert, wohingegen die 3D-Punkte in einer intraoperativen, dreidimensionalen Ultraschall-Aufnahme lokalisiert werden. Unter Einbezug der Parameter einer kalibrierten Kamera kann die Position der Kamera analytisch bestimmt werden.

Optische Tracking-Systeme hingegen verwenden Stereo-Kameras, um spezielle Marker bzw. Konfigurationen von Markern (engl.: Tools) in ihrem Sichtfeld zu erkennen und deren Lage im Raum zu bestimmen.

Für das neue hybride Tracking-System müssen eigene Tools entwickelt werden, die einfach auf der Kamera bzw. auf der zugehörigen Laparoskop-Optik zu befestigen sind. Da sich Kamera und Optik unabhängig voneinander drehen können, sind zwei dieser Tools notwendig, so dass sowohl Kamerabewegung, als auch eine unabhängige Rotation der Optik kompensiert werden kann. Um die räumlichen Informationen der am Laparoskop befestigten Tools in eine entsprechende Bewegung der Kamera umzurechnen, wird eine Hand-Auge-Kalibrierung durchgeführt. Mithilfe eines bekannten Kalibrierungsobjekts kann die aktuelle Kamera-Position für ein Videobild bestimmt werden. Aus mehreren dieser Bilder und den zugehörigen Tracking-Daten lässt sich die rigide Hand-Auge-Transformation berechnen.

3 Ergebnisse

Zur Zeit des Abfassens des Abstracts befand sich das System in der Fertigstellung. In ersten Versuchen zeigten sich Erfolg versprechende Resultate, dass der neu entwickelte hybride Ansatz das bestehende System um die notwendige Robustheit erweitert. Allerdings zeigte sich auch, dass ein nicht zu vernachlässigender Zeitversatz von Videobild und Trackingdaten besteht, der bei schneller Bewegung zu fehlerhafter Visualisierung führt.

4 Diskussion

Eine zusätzliche Synchronisierung von Video- und Trackingdaten ist notwendig, um den Zeitversatz kompensieren zu können. Darauf folgende, finale Tests müssen die Überlegenheit des hybriden Ansatzes gegenüber dem alleinigen, Marker-basierten Verfahren quantitativ untermauern.

Schon jetzt ist allerdings festzuhalten, dass ein hybrider Ansatz vielversprechender ist, da man die Stärken beider Methoden vereint. Das Umschalten bei fehlerhaften Marker-basierten Informationen auf externes Tracking ermöglicht eine fortlaufende Visualisierung für den Chirurgen. Darüber hinaus ist das hybride System in der Lage, hochauflösende Video-Daten in Echtzeit anzuzeigen, da die farbigen Marker nicht mehr fortlaufend aus den Bilddaten segmentiert werden müssen.

Markerlose Bewegungskompensation für navigierte, minimal-invasive Interventionen

A. Seitel¹, C.M.Sommer², B. Radeleff², H.-P. Meinzer¹, L. Maier-Hein¹

¹ Abteilung Medizinische und Biologische Informatik, Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg, Deutschland

² Abteilung Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universität Heidelberg, Deutschland

Kontakt: a.seitel@dkfz-heidelberg.de

1 Problem

Minimal-invasive Eingriffe wie Biopsien oder Ablationen erfordern häufig das Einbringen nadelförmiger Instrumente in Organe wie Leber und Lunge. Hauptprobleme hierbei sind Bewegungen und Deformationen (des Weichgewebes) aufgrund von Atmung und Herzschlag sowie die schwierige Übertragung der medizinischen Bilddaten (meist Computertomographie (CT)) auf die Patientenanatomie während der Intervention. Aktuelle Methoden gehen das Problem der Bewegungskompensation mit zusätzlich eingebrachten internen Markern an, was jedoch die Invasivität der Intervention erhöht. Ziel dieser Arbeit ist es, ein System zur Planung und Navigation computergestützter Nadelinsertionen in Weichgewebsstrukturen mit Schwerpunkt auf eine markerlose Bewegungskompensation zu entwickeln.

2 Methoden

Anhand präoperativer CT Daten wird zunächst automatisch eine Planung des Zugangswegs unter Berücksichtigung von Risikostrukturen, Pfadlänge, Einstichswinkel und anderen Kriterien durchgeführt (1). Intraoperativ kommt die neuartige Time-of-Flight (ToF) Kamera zum Einsatz, die es ermöglicht, mit hoher Aktualisierungsrate eine Oberflächenrepräsentation der Haut des Patienten zu erzeugen. Man erhält somit eine dichte Punktwolke (204x204 Punkte) der Hautoberfläche über die Zeit (2). Die so erfasste Hautoberflächenbewegung wird verwendet, um unter Berücksichtigung der näherungsweisen Inkompressibilität der Abdominalorgane die Bewegung der Zielstruktur (meist des Tumors) zu schätzen (3). Diese Positionsdaten werden schließlich dafür verwendet, um eine intraoperative Navigationsvisualisierung oder die Ansteuerung eines Roboters zu aktualisieren (4).

3 Ergebnisse

Zu den Schritten (1), (2) und (4) wurden bereits individuelle Evaluationen durchgeführt. Die automatische Pfadplanung (1) wurde retrospektiv an 10 klinischen Fällen durchgeführt, bei denen Komplikationen auftraten. Die gewählten Pfade waren entweder unzulässig oder wurden vom System schlecht bewertet. Die ToF-Oberflächenerfassung (2) wurde in-vitro mittels eines Vergleichs zwischen ToF Organoberflächen und korrespondierenden CT-Daten als Ground Truth evaluiert. Die mittlere Distanz zwischen ToF und CT Oberfläche lag nach iterative closest point (ICP)-basierter Registrierung bei 3 mm. Zur Navigation (4) wurde eine Visualisierungsmethode entwickelt, die sowohl qualitativ (belegt durch eine Umfrage unter den Testpersonen) als auch quantitativ (mit einem Benutzerfehler von 2.4 mm) als geeignet befunden wurde. Eine Navigationsdurchführung mit Roboterunterstützung wurde ebenfalls anhand des Robopsy-Systems evaluiert.

4 Diskussion

In dieser Arbeit wurde ein Konzept präsentiert, das es ermöglicht, interne Marker zur Bewegungskompensation für die Weichgewebsnavigation durch die ToF Technologie zu ersetzen. Auch wenn die Genauigkeit der Oberflächenerfassung noch Raum für Verbesserungen lässt, kann sie durchaus zur Schätzung der Hautoberflächenbewegung herangezogen werden. Die nächsten zu untersuchenden Schritte beinhalten die Evaluation der Bewegungskompensation anhand der Bewegung der Bauchoberfläche sowie die Evaluation des Gesamtnavigationssystems in-vivo.

Optimierung der Anfangskonfiguration eines Telemanipulatorsystems

O. Weede¹, B. Müller², H. Wörn¹

¹ *Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Prozessrechentechnik, Automation und Robotik, Deutschland*

² *Universitätsklinikum Heidelberg, Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie, Deutschland*

Kontakt: oliver.weede@kit.edu

1 Problem

Patientenvorteile bei der minimal invasiven Chirurgie sind neben dem minimalen Eingriff auch kürzere Heilungszeiten. Durch den Einsatz von Telemanipulatoren wurde die Präzision erhöht, die Hand-Auge-Koordination erleichtert, sowie die Bewegungsfreiheit erhöht. Nachteile ergeben sich durch Wahrnehmungsbeschränkungen, wie das eingeschränkte Sichtfeld. Zudem ist die Wahl der Zugänge (Trokarpositionen) entscheidend. Bedingt durch die Kinematik des heute eingesetzten da Vinci® Telemanipulators können Kollisionen der Arme entstehen. Das Platzieren des Manipulators und der Zugänge beruht bislang auf Erfahrungen des Operators. Durch computerassistierte Optimierung kann die Kollisionsgefahr minimiert und die Erreichbarkeit maximiert werden. Durch Insufflation entsteht das Problem, dass eine Planung, auf Basis präoperativer Bildgebung nicht ohne Modifikation auf den Patienten im Operationssaal übertragbar ist.

2 Methoden

Durch Methoden der Erweiterten Realität wird eine berechnete Konfiguration intuitiv in den Operationssaal übertragen. Über das Erweiterte Realitätssystem Probaris wird der Patient nach der Insufflation gescannt, die Zugänge angepasst und direkt auf den Patienten projiziert. Die Konfiguration des Telemanipulators und des Patiententisches wird durch eine virtuelle Szene visualisiert. Die zu optimierende Konfiguration besteht aus der Wahl der Zugänge, der Positionierung des Telemanipulatorstativs und des Operationstisches mit deren passiven Gelenken. Diese Parameter werden als Variablen einer Optimierungsfunktion aufgefasst. Durch Bedingungen wird der Lösungsraum des Optimierungsproblems so eingeschränkt, dass der Pivotpunkt jedes Roboterarms mit den Trokarpositionen zusammenfällt und dass jeder Punkt der Trajektorie erreichbar ist. Als Gütefunktion wird die Separation der Arme des Telemanipulators und der Instrumente zu Risikozonen und Knochen verwendet. Zudem wird der Neigungswinkel des Patiententisches einbezogen, um die Kopftieflage des Patienten zu minimieren. Da die Gütefunktion hochdimensional und multimodal ist, ist die Wahl eines global optimierenden Algorithmus entscheidend. Die entwickelte Metaheuristik (Seed Throwing Optimization) wählt Startpunkte für die Optimierung randomisiert oder aus einer Matrix mit bisher besten Lösungsvektoren und streut von diesen „Saatpunkten“ ausgehend in Richtung des Gradienten Punkte für weitere Funktionsevaluierungen. Um Interventionen algorithmisch zu erfassen, werden diese aufgezeichnet und ein probabilistisches Modell des Arbeitsraums erzeugt. Die Optimierung geschieht hinsichtlich dieses Arbeitsraums. Weichen die Positionen der Endeffektoren während der Intervention hiervon ab, wird der wahrscheinlichste Pfad visualisiert, welcher zurück zum optimierten Arbeitsraum führt.

3 Ergebnisse

Die Prädiktion der Trajektorie, die hierfür erforderlich ist, erfolgte an einem Phantomexperiment mit einer Trefferquote von über 90%. Die Genauigkeit der Projektion weist einen durchschnittlichen Fehler von 2.6 mm auf, wobei dieser zum Rand des Abdomens zunimmt und an üblichen Trokarpositionen etwa ein Millimeter beträgt. Erste Ergebnisse des Optimierungsalgorithmus zeigen ein schnelleres Konvergenzverhalten im Vergleich zu anderen Algorithmen, wie beispielsweise Multi-Level Gradient Descent, Particle Swarm Optimization oder Simulated Annealing.

4 Diskussion

Da telemanipulierte Interventionen hoch standardisiert sind, ist davon auszugehen, dass eine Optimierung der Anfangskonfiguration sowie die Prädiktion der Endeffektoren zu erhöhter Sicherheit und Effizienz führen. Die Prädiktion der Trajektorie kann zudem als Hilfestellung oder für ein intelligentes autonomes Kameraführungssystem genutzt werden.

Modellbasierte intraoperative Registrierung von Weichgewebe für ein chirurgisches Assistenzsystem

S.Röhl¹, S. Speidel¹, S. Suwelack¹, H. Kenngott², B. Müller-Stich², R. Dillmann¹

¹ Institut für Anthropomatik, Karlsruher Institut für Technologie, Germany

² Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie, Universitätsklinikum Heidelberg, Germany

Kontakt: roehl@kit.edu

1 Problem

Die minimal-invasive Chirurgie ist eine komplexe medizinische Disziplin mit zahlreichen Vorteilen für den Patienten, die den Chirurgen vor einige neue Herausforderungen stellt. Wünschenswert ist deshalb ein computergestütztes Assistenzsystem, das dem Chirurgen Navigationsinformationen, die aus prä- und intraoperativen Sensordaten sowie einer Wissensbasis gewonnen werden, in intuitiver Weise zur Verfügung stellt. Das Hauptproblem bei der Nutzung präoperativer Informationen ist die Tatsache, dass sich das beobachtete Operationsumfeld zwischen den präoperativen Aufnahmen und der eigentlichen Operation verändert hat und sich auch während des Eingriffes kontinuierlich ändert. Diese Änderungen können durch intraoperative Sensorik erfasst und in ein intraoperatives Modell der Operation integriert werden. Dieses Modell kann im Anschluss mit den präoperativen Daten rigide und nicht-rigide registriert werden, um diese an die Veränderungen vor und während des Eingriffes anzupassen und das Ergebnis zu visualisieren.

2 Methoden

Um ein Modell der Intervention aus den prä- und intraoperativen Daten zu gewinnen, müssen zuerst die intraoperativen Sensordaten passend aufbereitet werden. Dazu wurde zum einen ein Oberflächenmodell aus Stereoendoskopbildern erzeugt, um die Änderungen der Operationsumgebung zu verfolgen. Dazu wurden Methoden für die Kamerakalibrierung, Korrespondenzanalyse, 3D-Rekonstruktion und Vernetzung der Punktwolke entwickelt. Weiterhin wurde ein Kraftsensor in ein endoskopisches Instrument integriert. Diese Modalitäten werden von einem optischen Trackingsystem verfolgt, um ein einheitliches intraoperatives Modell der Operationsumgebung zu erhalten. Dieses Modell soll mit einem präoperativ erstellten biomechanischen Modell registriert werden. Der erste Schritt ist dabei eine rigide Registrierung, um sie in ein einheitliches Koordinatensystem zu überführen. Im Anschluss daran müssen die beiden Modelle nicht-rigide registriert werden, damit das präoperative Modell dem intraoperativen Modell in den überlappenden Regionen möglichst genau entspricht. Die beobachtete Verformung und die gemessenen Kräfte dienen als Randbedingungen für das biomechanische Modell, um die interne Deformation zu berechnen.

3 Ergebnisse

Das intraoperative Oberflächenmodell wurde im Hinblick auf Schnelligkeit, Robustheit und Genauigkeit evaluiert. Abhängig von der gewählten Kameraauflösung ist ein Einsatz in Echtzeit möglich. Bei einer Auflösung von 320x240 erreicht das Verfahren ungefähr 20 fps. Bei der Verwendung von Bildsequenzen eines Eingriffes mit dem „da Vinci“-Teleroboter erzeugt das Verfahren im Allgemeinen sehr stabile Modelle. Artefakte, z.B. durch Rauch oder schnelle Bewegungen verursacht, wurden in den nächsten Zeitabschnitten korrigiert. Bezüglich der Genauigkeit wurde das Verfahren mit Laserscans sowie einem merkmalsbasierten Rekonstruktionsverfahren verglichen. Für den Großteil der Aufnahmen zeigte sich eine Abweichung im Submillimeterbereich.

4 Diskussion

Mit der Erstellung des Oberflächenmodells wurde eine Grundlage geschaffen, um prä- und intraoperative Informationen miteinander zu registrieren. Ebenfalls laufen Versuche mit dem Kraftsensor, um dessen Genauigkeit und Möglichkeiten zur Fusion der Daten mit dem Oberflächenmodell zu untersuchen. Das nächste Ziel ist die nichtrigide Registrierung zwischen intra- und präoperativen Modellen. Dazu wird im Moment eine zeitliche Registrierung der Oberflächenmodelle entwickelt. Weiterhin werden verschiedene Ansätze zur Repräsentation und Transformation der Oberfläche untersucht.

Respiratory Organ Motion of the Esophagus and Motion Correlation with Skin Markers in a Porcine Model for Image-Guided Procedures

Authors: Nickel F¹, Kenngott HG¹, Neuhaus J², Kast J², Sommer CM³, Kolb A¹, Gehrig T¹, Radeleff B³, Schaible A¹, Meinzer HP², Gutt CN¹, Müller-Stich BP¹

^{1,3}University of Heidelberg, Department of General, Abdominal and Transplant Surgery, Department of Diagnostic and Interventional Radiology, INF 110, 69120 Heidelberg, Germany

²German Cancer Research Center, Medical and Biological Informatics, INF 280, 69120 Heidelberg, Germany

email: felix.nickel@med.uni-heidelberg.de

1 Purpose

Image guidance and navigation promise benefits for surgical procedures in terms of accuracy, speed and patient safety. However in thoracoabdominal procedures these principles are not well established due to considerable organ motion and deformation that is mostly caused by respiration. The purpose of this study is to quantify the magnitude of respiratory organ motion and deformation of the esophagus in a large animal model for image guided procedures. The second purpose is to quantify the correlation of respiratory organ motion of the esophagus with skin surface motion with regard to using skin surface tracking for respiratory motion compensation for image guided and navigated procedures.

2 Materials and methods

The esophagus was marked with hemoclips in the five levels cervical (CE), upper (T1), mid (T2), lower thoracic (T3), gastro-esophageal junction (GEJ) by flexible endoscopy (Karl StorzTM) in a porcine model (n=10, 20-34 Kg). CT-Scans were obtained in different respiratory phases. The CT datasets were segmented with MITK. The gravity center positions of the markers were compared between the maximum expiration and inspiration phases. Motion in the superior-inferior (S-I), dorsal-ventral (D-V) and medial-lateral (M-L) directions and the euclidian distance d were calculated with Excel. Lung volumes were segmented and the change between the respiratory phases was calculated. The correlations between lung volume changes and motion of marker positions in the esophagus and on the skin were analyzed with non-parametric two-sided statistical tests in Excel and SPSS.

3 Results

Maximum values of the euclidian distance d between the inspiration and expiration position were 3,21/7,28/7,57/14,35/11,66 mm for the ce/t1/t2/t3/gej markers. Lung volume differences between expiration and maximum inspiration were found 419+/-148 ml. Lung volume correlated significantly with motion of the esophagus in the S-I direction for T3 and GEJ ($p<0,05$; $r>0,648$). Motion correlation was significant between all skin markers and the T2, T3 and GEJ levels ($p<0,05$; $0,42<r<0,82$), significant for some skin markers and T1 ($0,002<p<0,13$; $0,28<r<0,54$) and not significant for CE and all skin markers ($0,15<p<0,93$; $0,018<r<0,27$).

4 Conclusion

Motion of the esophagus is highest in the S-I direction in the lower parts close to the diaphragm, where it correlates significantly with respiration and with skin marker motion. Thus real-time monitoring of respiration by means of tracking skin markers could be used predict internal organ motion of the lower parts of the esophagus for respiratory motion compensation in navigation systems and image-guided interventions. In the upper levels the motion of the esophagus is of lesser magnitude and does not correlate significantly with respiration which may be explained by lesser magnitude of respiratory motion and more impact of cardiac and aortic arch motion. The amount of respiratory motion of the esophagus found in this study in a porcine model is comparable to the motion found in humans. The model can be used for research and training of navigated and image guided procedures prior to the use in patients.