Wissensbasierte Modellbildung und Situationsinterpretation für eine kontextbezogene Chirurgieassistenz

G. Sudra[a], D. Katic[a], M. Braun[a], S. Speidel[a], G. Castrillon-Oberndorfer[b], G. Eggers[b], R. Marmulla[b], R. Dillmann[a]

[a] Institut für Anthropomatik – Lehrstuhl Prof. Dillmann
Universität Karlsruhe (TH)
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
Sudra@ira.uka.de

[b] Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie
Universität Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 400
69120 Heidelberg
Georg.Eggers@med.uni-heidelberg.de

Abstract: Das Ziel eines kontextbezogenen Chirurgieassistenzsystems ist die situationsangepasste Unterstützung des Chirurgen. Dies erfordert die Erfassung und Interpretation der aktuell vorliegenden Operationssituation sowie die Generierung einer Unterstützung. Im Fokus dieser Publikation stehen die Modellbildung sowie Verfahren zur Interpretation einer Operationssituation. Leitgedanke des wissensbasierten Ansatzes ist die starke Einbeziehung einer Ontologie.

1 Einleitung

Chirurgischen Assistenzsystemen kommt aufgrund ihres direkten Einsatzes am Patienten und den damit verbundenen Risiken eine besondere Bedeutung in der rechnergestützten Chirurgie zu. Ein Ziel dieser Systeme ist die Unterstützung des Chirurgen bei der Übertragung rechnerbasierter Operationsplanungsdaten auf den Patienten, beispielsweise um eine fest definierte Position mit einem Instrument präzise anfahren zu können.

Bei der Bereitstellung einer solchen Assistenz kommen neben aktiven Systemen wie Operationsrobotern auch passive Systeme der Erweiterten Realität zum Einsatz. Hierbei wird der Chirurg jedoch nur bedingt situationsangepasst unterstützt, da keine Bewertung des Operationskontextes vorliegt. Dies hat zur Folge, dass dem Chirurgen teilweise unzureichende oder nicht benötigte Informationen zur Verfügung stehen, wodurch sich das Risiko einer unbeabsichtigten Verletzung einer Struktur erhöht oder es zu einer Ablenkung des Chirurgen kommt.

Eine Lösung dieser Problematik besteht in der Bereitstellung einer kontextbezogenen Assistenz. In dieser Publikation wird hierzu das Konzept einer wissensbasierten Modellbildung und Situationsinterpretation vorgestellt. Dazu werden erste Ergebnisse anhand eines klinisch motivierten Anwendungsbeispiels präsentiert.

2 Wissensbasierter Ansatz für eine kontextbezogene Assistenz

Das Ziel eines kontextbezogenen Assistenzsystems ist die situationsangepasste Unterstützung des Chirurgen. Dies erfordert die Erfassung und Interpretation der aktuell vorliegenden Operationssituation sowie die Generierung einer Unterstützung. Im Fokus dieser Publikation stehen die Modellbildung sowie Verfahren zur Interpretation einer Operationssituation. Leitgedanke des wissensbasierten Ansatzes ist die starke Einbeziehung einer Ontologie. Der entwickelte Lösungsansatz lässt sich in vier eng verzahnte Teilbereiche gliedern: Erfassung, Modellbildung, Situationsinterpretation und Assistenz. In Abbildung 1 sind die wichtigsten Komponenten und Beziehungen des Ansatzes schematisch dargestellt.

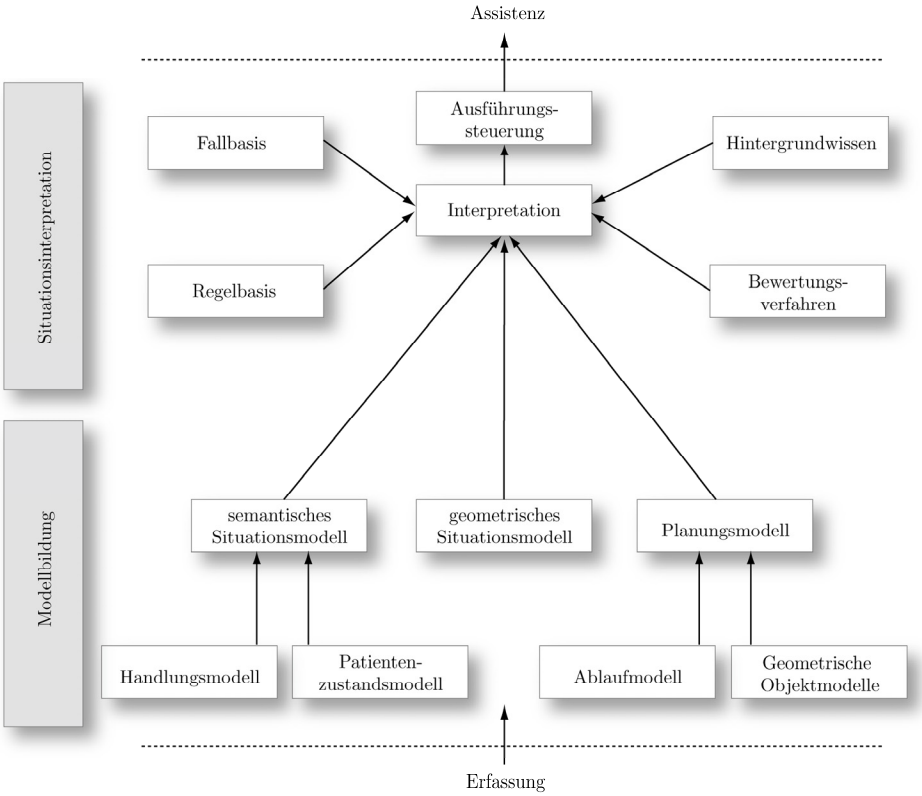

Abbildung 1: Modellbildung und Situationsinterpretation des wissensbasierten Ansatzes für eine kontextbezogene Chirurgieassistenz

Die Abbildung der Operationssituation und der Operationsplanung auf geeignete Modelle ist eine notwendige Voraussetzung für die Generierung einer kontextbezogenen Assistenz. Die aktuell vorliegende Operationssituation wird hierzu im semantischen und geometrischen Situationsmodell abgebildet. Das semantische Situationsmodell enthält eine Beschreibung des Patientenzustands und der chirurgischen Handlung, das geometrische Situationsmodell beschreibt die relative Lage der Instrumente bezüglich ausgewählter anatomischer Strukturen. Das Planungsmodell enthält Informationen über den geplanten Operationsablauf und geometrische Objektmodelle aus der Bildgebung. Die Verwendung einer Beschreibungslogik als Repräsentationsformalismus erlaubt die formal fundierte Darstellung sämtlicher Modelle und stellt die Anwendbarkeit logischer Schlussfolgerungsalgorithmen sicher.

Der Begriff Situationsinterpretation fasst sämtliche Aktivitäten zusammen, die zur Ermittlung des Situationskontexts beitragen. Unter dem Kontext einer Situation wird in diesem Zusammenhang der Operationsabschnitt des zugehörigen Ablaufplans bzw. eine Gefahrensituation verstanden. Für die Auswertung der aufgeführten Modelle kommen fall- und regelbasierte Verfahren sowie ein Verfahren auf Basis generalisierter Modelle zur Anwendung. Gemeinsamkeit aller Verfahren ist die starke Einbeziehung des Hintergrundwissens der Ontologie sowie die Verwendung von Schlussfolgerungs-algorithmen. Die Kenntnis des Situationskontexts bildet die Grundlage für die Generierung einer Assistenz.

3 Wissensrepräsentation und Modellbildung

In der Wissensrepräsentation wird das Wissen eines Anwendungsbereichs dargestellt und organisiert. Die Wahl des Repräsentationsformalismus hat somit weitreichende Konsequenzen in Bezug auf die Modellbildung und eine weitergehende Verarbeitung der Modelle im Rahmen der Situationsinterpretation. Aus diesem Grund wird eine Beschreibungslogik als Repräsentationsformalismus verwendet. Dies ermöglicht die Anwendung von Schlussfolgerungsalgorithmen sowie eine automatische Konsistenzprüfung des abgebildeten Wissens. Die Verwendung einer Beschreibungs-logik impliziert die Abbildung des Wissens durch Instanzen und Rollen in der Assertionalen Box, sowie durch Konzepte und Relationen der Terminologischen Box. Für Details hierzu wird auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen [BCM03].

3.1 Entwurf einer Applikationsontologie

Für die Erstellung einer Wissensbasis existiert in der einschlägigen Literatur eine Vielzahl an Verfahren. Die Wissensbasis des kontextbezogenen Assistenzsystems wird in Form einer Applikationsontologie mit dem *METHONTOLOGY*-Ansatz erstellt [FGJ97]. Dies erfordert die Identifikation von Begriffen und Relationen zur Beschreibung der Operationssituation, der Planungsaspekte und der Assistenzfunktionen. Als klinisches Anwendungsbeispiel dient das Setzen dentaler Implantate.

Die Abbildung einer Operationssituation setzt ein Vokabular zur Beschreibung des Patientenzustands und der chirurgischen Handlung voraus. Insbesondere zur Abbildung anatomischer Sachverhalte bietet sich die Verwendung etablierter Wissens-repräsentationen an. In dieser Arbeit wird auf die Definitionen des Foundational Model of Anatomy[1] (FMA) zurückgegriffen. Dabei wird der Ansatz von Noy et al. verwendet, der die framebasierte Darstellung des FMA in eine logikbasierte Repräsentation überführt [NR08]. Des Weiteren müssen Begriffe und Relationen zur Abbildung von Strukturveränderungen bereitgestellt werden. Zur Repräsentation der chirurgischen Handlung werden die verwendeten chirurgischen Instrumente und die chirurgischen Tätigkeiten erfasst. Die Repräsentation des geometrischen Situationsmodells bedingt ferner die Definition von Relationen zur Darstellung instrumentenbezogener Aspekte. Für die Abbildung der Operationsplanung werden Begriffe und Relationen zur Beschreibung des Ablaufs, der Planungsdaten und der Assistenzfunktionen benötigt.

Die Begriffe und Relationen der erstellten Applikationsontologie bilden die Ausgangsbasis für die Modellbildung. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Modelle im Detail erläutert.

3.2 Semantisches Situationsmodell

Im semantischen Situationsmodell werden der Patientenzustand und die chirurgische Handlung abgebildet. Anhand dieses Modells wird der aktuell vorliegende Operationsabschnitt ermittelt. Das semantische Situationsmodell vereint das Patientenzustandsmodell und das chirurgische Handlungsmodell. Im Patientenzustandsmodell werden topologische und mereologische Beziehungen zwischen zwei Strukturen, sowie Modifikationen und Eigenschaften einer Struktur abgebildet. Mit topologischen und mereologischen Beziehungen wird die Struktur des Operationsfelds beschrieben. So führt beispielsweise das Ablösen einer Struktur oder das Durchtrennen eines Gefäßes zu einer veränderten Topologie. Für die Abbildung der topologischen Beziehungen wird auf die Relationen des Region-Connection-Calculus zurückgegriffen [BRS06], wobei die inversen Relationen bei der Modellierung nicht berücksichtigt werden. Gemäß [Don04] wird eine mereologische Relation verwendet um auszudrücken, dass sich ein Objekt in einer Struktur befindet, jedoch nicht Teil dieser Struktur ist. Dies ist eine notwendige Voraussetzung für die Abbildung von Fremdkörpern im Patientenmodell. Die Repräsentation der aufgeführten Relationen erfolgt in der Assertionalen Box durch die Definition von Rollen zwischen den Instanzen der beteiligten Strukturen. Dabei wird eine abgewandelte Form der Reifikation verwendet, bei der ein zusätzliches Konzept instanziiert wird. Dies vereinfacht die Anwendbarkeit der Interpretationsverfahren. Die Abbildung von Modifikationen einer Struktur, beispielsweise einer Schnittwunde, wird durch die Definition einer zusätzlichen Instanz realisiert, die mittels einer entsprechenden Rolle mit der Instanz der betroffenen Struktur assoziiert wird. Die Angabe etwaig vorhandener Parameter, wie beispielsweise Länge, Tiefe oder Breite einer Schnittwunde, erfolgt durch Instanzattribute.

[1] http://sig.biostr.washington.edu/projects/fm/

Das chirurgische Handlungsmodell basiert auf dem Vorschlag von [Neu06] zur Beschreibung chirurgischer Abläufe und repräsentiert die Handlung durch die verwendeten Instrumente, die ausgeführte Tätigkeit und die behandelte Struktur.

Das Patientenzustandsmodell und das Handlungsmodell werden zum Situationsmodell zusammengefasst. Das Situationsmodell wird durch die Instanz *Situation* repräsentiert, die mit den Aspekten des Patientenzustands- und des Handlungsmodells verbunden wird. Abbildung 2 zeigt die schematische Darstellung eines exemplarischen Situationsmodells. Abgebildet wird die folgende Situation: „Der Chirurg bohrt (*Drilling)* mit dem 5mm Bohrer (*Drill5mm*) im Unterkiefer (*Mandible*). Es sind bereits zwei Implantate (*Implant*) gesetzt.“

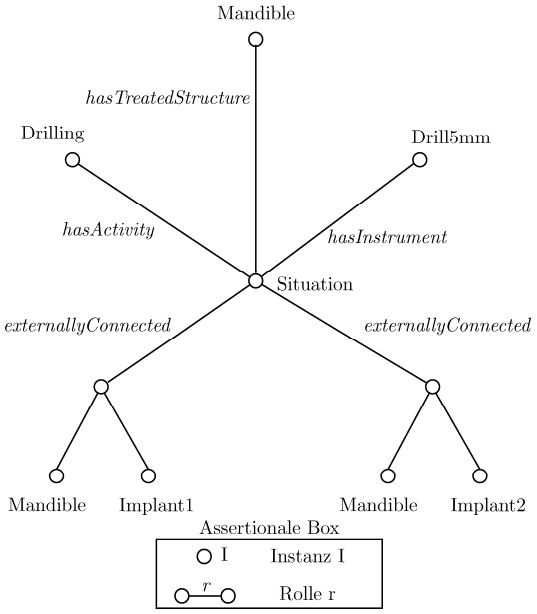

Abbildung 2: Schematische Darstellung eines semantischen Situationsmodells

3.3 Geometrisches Situationsmodell

Im geometrischen Situationsmodell wird die relative Lage der chirurgischen Instrumente bezüglich ausgewählter anatomischer Strukturen abgebildet. Es ermöglicht die Warnung des Chirurgen vor einer unbeabsichtigten Verletzung dieser Strukturen.

Die Repräsentation des Modells erfolgt wie die Repräsentation des Situationsmodells in der Assertionalen Box. Jedes Instrument und jede anatomische Struktur, die im Modell berücksichtigt werden soll, wird durch eine entsprechende Instanz repräsentiert. Mittels Rollen werden Beziehungen zwischen diesen Instanzen ausgedrückt. Hierzu zählen beispielsweise Distanzbeziehungen wie *isNear* oder Beziehungen um auszudrücken, ob sich ein Instrument einer Struktur annähert (*isApproaching*).

In einem Vorverarbeitungsschritt werden dazu Positions- und Geschwindigkeitsdaten der beteiligten Objekte ausgewertet. Die Zuordnung der berechneten Werte auf Begriffe der Wissensrepräsentation erfolgt durch unscharfe Mengen. In Abbildung 3 ist die schematische Darstellung eines geometrischen Situationsmodells abgebildet, bei dem sich das Bohrinstrument *Drill5mm* der Vitalstruktur *NervusMentalis* annähert. Des Weiteren befindet sich das Bohrinstrument in der Nähe der Vitalstruktur *NervusMandibularis*.

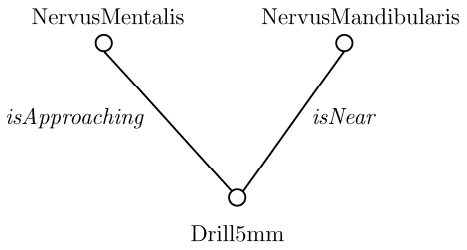

Abbildung 3: Schematische Darstellung eines geometrischen Situationsmodells

3.4 Planungsmodell

Im Planungsmodell werden der geplante Operationsablauf und geometrische Objektmodelle für die Unterstützung des Chirurgen abgebildet. Dabei wird festgelegt wie der Chirurg in einem bestimmten Operationsabschnitt unterstützt wird.

Der Operationsablauf wird als eine Folge von Operationsabschnitten dargestellt. Die Definition dieser Abschnitte erfolgt einmalig für jeden Eingriff. Die Abfolge der einzelnen Abschnitte ergibt sich anhand der patientenindividuellen Diagnose, des verwendeten Bohrsystems in Abhängigkeit der Implantatposition sowie aufgrund von Präferenzen des planenden Chirurgen. Die Repräsentation des Planungsmodells erfolgt in der Assertionalen Box.

Eine Unterstützung des Chirurgen während der Operation erfolgt durch die kontextbezogene Visualisierung der geometrischen Objektmodelle. Zu diesen zählen beispielsweise Oberflächenmodelle einer Risiko- bzw. Zielstruktur oder die geometrische Darstellung weiterer Planungsdaten wie eines Bohrplans oder eines Schnittplans. Die Grundlage für die Erstellung der Objektmodelle bildet die Akquisition patientenindividueller Datensätze mittels bildgebenden Verfahren.

Anhand der Assoziation der Objektmodelle mit dem geplanten Ablauf wird festgelegt in welcher Form und in welchem Operationsabschnitt ein bestimmtes Objektmodell visualisiert wird. Dies betrifft jedoch nur die planbare Unterstützung des Chirurgen. Für Situationen, deren Eintreten nicht vorhersehbar ist, wird eine parametrisierbare Standardvisualisierung definiert. Diese wird bei Erkennung einer entsprechenden Situation, beispielsweise einer Gefahrensituation, umgehend mit den aktuellen Parametern dargestellt.

Die Vorgehensweise zur Assoziation der geometrischen Objektmodelle mit den planbaren Operationsabschnitten wird anhand des Beispiels aus Abbildung 4 erläutert. Abgebildet werden drei aufeinanderfolgende Operationsabschnitte durch die Instanzen Freilegen Unterkieferknochen (*ExpositionMandible),* Ankörnen (*Marking*), und Pilotbohrung (*PilotDrill*). Die Abbildung verzweigter und flexibler Operationsabläufe wird hierbei berücksichtigt. Im Beispiel ist ein streng sequentieller Ablauf abgebildet. Die Verknüpfung eines Operationsabschnitts mit den Visualisierungsobjekten erfolgt durch die Rolle *hasVisualization*. Im Operationsabschnitt Pilotbohrung werden auf diese Weise die geplante Bohrachse (*PlannedDrillAxis)*, die geplante Bohrtiefe (*PlannedDrillDepth)* und die gefährdete Struktur *NervusMentalis* visualisiert.

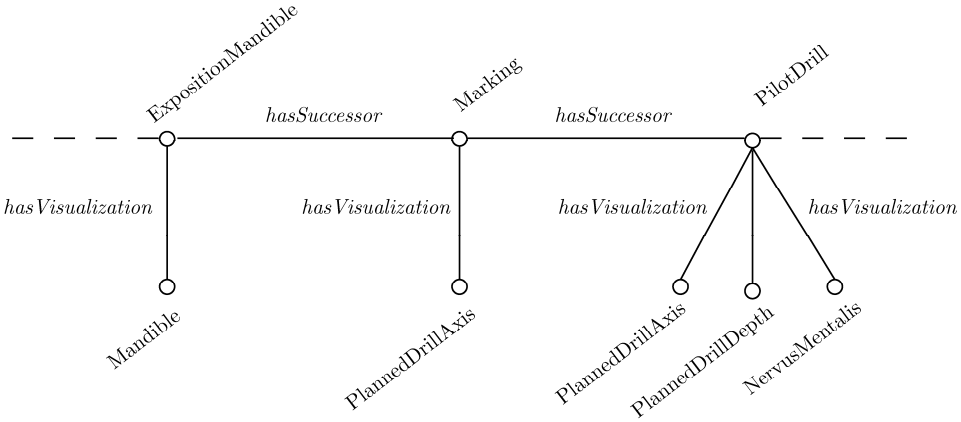

Abbildung 4: Ausschnitt eines Planungsmodells

4. Situationsinterpretation

Die Situationsinterpretation verfolgt zwei Ziele: die Erkennung des aktuell vorliegenden Operationsabschnitts sowie die Erkennung von Gefahrensituationen. Hierzu werden drei Verfahren entwickelt um das semantische und das geometrische Situationsmodell zu interpretieren: ein fallbasierter Ansatz unter Einbeziehung der Applikationsontologie, ein deduktiver Ansatz mittels generalisierten Situationsmodellen sowie ein regelbasierter Ansatz. Alle drei Verfahren eignen sich sowohl für die Interpretation des semantischen als auch des geometrischen Situationsmodells.

Die Komponenten der Situationsinterpretation sind in Abbildung 5 dargestellt. Die zentrale Stellung der Applikationsontologie verdeutlicht die Bedeutung der Wissensrepräsentation für den gewählten Ansatz. Alle drei Verfahren verwenden Schlussfolgerungsalgorithmen für die Interpretation. Die Realisierung erfolgt durch Agenten. Jedes der drei Verfahren weist unterschiedliche Stärken und Schwächen auf, weshalb sich eine Interpretation durch mehrere Verfahren und eine anschließende Fusion der Ergebnisse anbietet. In den folgenden Abschnitten werden die drei Verfahren näher erläutert.

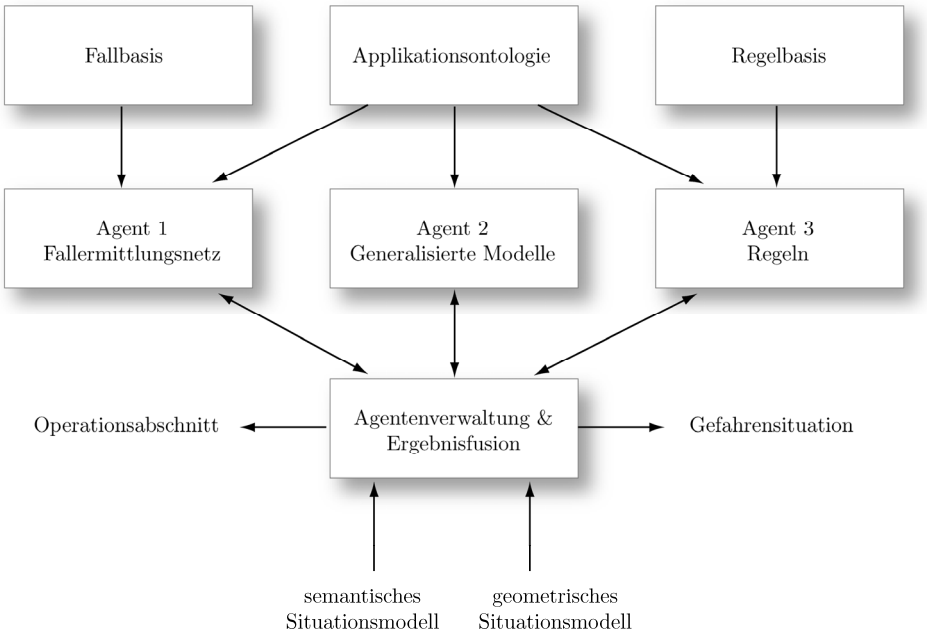

Abbildung 5: Komponenten der Situationsinterpretation

4.1 Situationsinterpretation durch ein Fallermittlungsnetz

In fallbasierten Systemen wird die Beschreibung und Lösung eines Problems durch einen sogenannten Fall repräsentiert. Verschiedene Fälle werden in einer Fallbasis gesammelt und für die Lösung neu auftretender Probleme verwendet. Hierzu wird eine Anfrage formuliert und mit den vorhandenen Problembeschreibungen in der Fallbasis verglichen.

Die Anfragebeschreibung ist durch das Situationsmodell gegeben und beschreibt die aktuell vorliegende Operationssituation. Problembeschreibungen sind in Form klassifizierter Referenzmodelle in der Fallbasis abgelegt. Unter Klassifikation wird hierbei die Zugehörigkeit zu einem Operationsabschnitt bzw. zu einer bestimmten Gefahrensituation verstanden. Die Interpretation erfolgt durch Auffinden des Referenzmodells, welches die größte Ähnlichkeit mit dem Situationsmodell aufweist. Der Operationsabschnitt bzw. die Gefahrensituation dieses ähnlichsten Referenzmodells ist das Ergebnis der Situationsinterpretation. Diese Vorgehensweise erfordert die Definition eines geeigneten Ähnlichkeitsmaßes. Hierzu wird ein Ansatz auf Basis von Fallermittlungsnetzen untersucht.

Ein solches Konzept wurde erstmals von Lenz et al. vorgestellt und verknüpft Anfrage- und Problembeschreibung durch eine Netzstruktur [LB96]. Das Ähnlichkeitsmaß orientiert sich an dem Vorschlag von Beltran-Ferruz et al. und zieht für die Berechnung der Ähnlichkeit die Konzepttaxonomie der Applikationsontologie heran [BDL06].

Es gelten folgende Definitionen:

- *E* ist die Menge der Informationsentitäten. Sie stellen die elementaren Einheiten zur Repräsentation einer Information dar. Informationsentitäten sind Tupel der Form *(I,r)*, wobei *I* eine Instanz und *r* eine Rolle bezeichnet.

- *R* ist die Menge der Referenzmodelle. Ein Referenzmodell wird durch Informationsentitäten beschrieben.

- σ ist die Ähnlichkeitsfunktion zur Beschreibung der Ähnlichkeit zweier Informationsentitäten.

- ρ ist die Relevanzfunktion zur Gewichtung des Beitrags einer Informationsentität im Referenzmodell.

- $\alpha_{0,1,2}$ ist die Menge der Propagierungsfunktionen anhand der das Ergebnis, d.h. die Aktivierung eines Referenzmodells berechnet wird.

Mittels eines mehrstufigen Propagierungsprozesses wird ein Ähnlichkeitswert für jedes Referenzmodell in der Fallbasis bezüglich des aktuell vorliegenden Modells berechnet. Hierzu werden folgende Aktivierungsfunktionen verwendet:

Die Funktion α_0 berechnet eine initiale Aktivierung der Informationsentitäten des aktuell vorliegenden Situationsmodells:

$$\alpha_0(e) = \begin{cases} 1, \text{ falls } e \text{ in der Anfrage enthalten ist} \\ 0, \text{ sonst} \end{cases}$$

Diese Aktivierung wird auf die Informationsentitäten e_f der Referenzmodelle in der Fallbasis mittels der Funktion α_1 wie folgt übertragen:

$$\alpha_1(e_f) = \max_{e_s \in E} \left\{ \sigma(e_f, e_s)\alpha_0(e_s) \right\}$$

Hierbei wird eine Ähnlichkeitsfunktion σ auf Basis der Applikationsontologie verwendet. Mittels Schlussfolgerungsalgorithmen werden die Konzepte der Informationsentitäten in Erfahrung gebracht. Die Funktion *super(c,C)* ermittelt die in der Taxonomie *C* übergeordneten Begriffe des Konzepts einer Instanz *I*.

Dies ermöglicht die Einbeziehung der Konzepttaxonomie für die Berechnung der Entitätsähnlichkeit wie folgt:

$$\sigma(e_1, e_2) = \sigma((I_1, r_1), (I_2, r_2)) = \begin{cases} \dfrac{\left|\left(\text{super}(I_1, C) \cap \text{super}(I_2, C)\right)\right|}{\sqrt{\left|\text{super}(I_1, C)\right|}\sqrt{\left|\text{super}(I_2, C)\right|}} & , r_1 = r_2 \\ 0 & , \text{sonst} \end{cases}$$

Zwei Informationsentitäten e_i und e_j, welche die gleiche Rolle besitzen sind also umso ähnlicher, je mehr gemeinsame Oberkonzepte sie besitzen. Die absolute Anzahl der Oberkonzepte der beiden verglichenen Informationsentiäten fließt ebenfalls in die Berechnung ein.

Die Aktivierung eines Referenzmodells in der Fallbasis ergibt sich durch die Propagierung der ermittelten Aktivierung entlang sogenannter Relevanzkanten. Die Relevanz ρ einer Informationsentität e_f bezüglich des Referenzmodells *f* berechnet sich aus der Anzahl und der Art der Rollen im Situations- und Referenzmodell. Die Relevanz gibt den Stellenwert an, welcher der Informationsentität des Referenzmodells zukommt. Ein Referenzmodell *f* wird wie folgt durch die Funktion α_2 aktiviert:

$$\alpha_2(f) = \sum_{e_j \in f} \rho(e_j, f)\alpha_1(e_j)$$

Das Referenzmodell mit der höchsten Aktivierung wird für die Bestimmung des aktuell vorliegenden Operationsabschnitts bzw. der Gefahrensituation verwendet. Hierzu wird die Klassifikation des Referenzmodells herangezogen.

Durch die Einbeziehung der Taxonomie für die Ähnlichkeitsberechnung vereint die Situationsinterpretation mittels fallbasierten Netzen das spezifische Wissen eines fallbasierten Systems mit dem allgemeinen Wissen einer Ontologie.

In Abbildung 6 sind ein semantisches Situationsmodell, ein Referenzmodell und ein Ausschnitt der Konzepttaxonomie exemplarisch dargestellt. Die Skizze verdeutlicht die Verknüpfung der beiden Modelle durch die Taxonomie der Applikationsontologie. Verglichen wird die aktuell vorliegende Situation „Chirurg *bohrt* mit *5mm Bohrer* im *Unterkiefer*“ mit der als Referenzmodell abgelegten Situation „Chirurg *schneidet* mit *Skalpell* am *Unterkiefer* (Anmerkung: um den Knochen freizulegen). Die Ähnlichkeit der beiden Modelle wird anhand der beschriebenen Funktionen unter Einbeziehung der Konzepttaxonomie ermittelt. Hierzu werden paarweise folgende Situationsmerkmale verglichen: die Instrumente *Drill5mm* und *Scissor*, die ausgeführten Aktivitäten *Drilling* und *Cutting* sowie die in beiden Situationen behandelte Struktur *Mandible*.

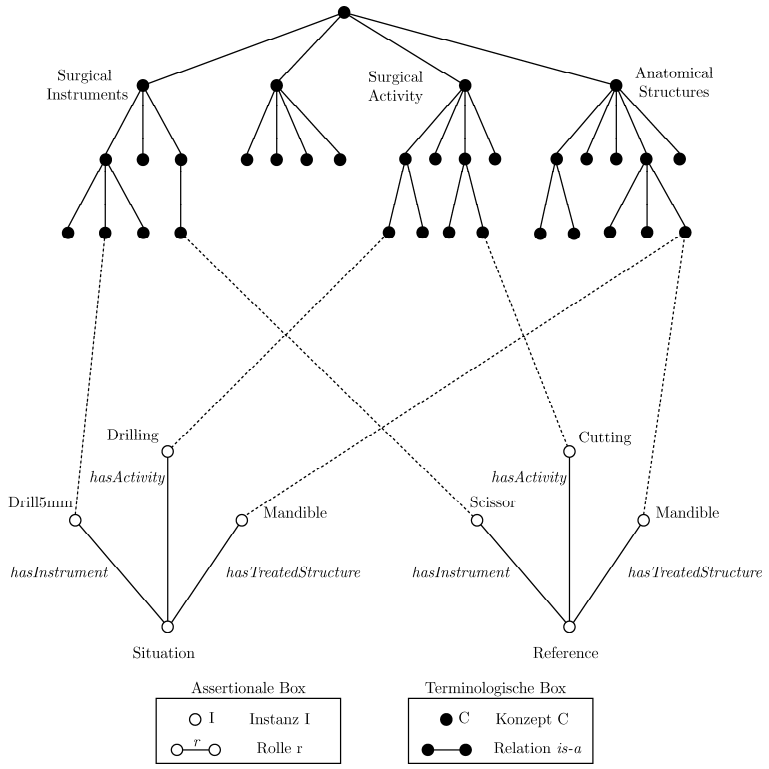

Abbildung 6: Verknüpfung von Situations- und Referenzmodell durch die Konzepttaxonomie

4.2 Situationsinterpretation durch generalisierte Modelle

Das Verfahren zur Situationsinterpretation mittels generalisierter Modelle orientiert sich an dem Konzept von Neumann et al. zur Situationsinterpretation mittels Beschreibungslogiken [NM06]. Die Repräsentation eines generalisierten Modells erfolgt in der Terminologischen Box. Für jedes Modell wird eine Konzeptbeschreibung angelegt, die detaillierte Informationen über die Merkmale der Situation enthält. Die Interpretation erfolgt durch die Anwendung von Schlussfolgerungsalgorithmen.

Entscheidend für die Ausdrucksmächtigkeit der Modellierung ist die Menge der zulässigen Syntaxregeln. Diese ergibt sich aus der verwendeten Beschreibungssprache. Zur Sicherstellung der effizienten Anwendung von Schlussfolgerungsalgorithmen wird die Beschreibungssprache *AL* verwendet. Für einen Überblick möglicher Beschreibungssprachen und deren Syntax wird auf [BCM03] verwiesen. Der folgende Abschnitt verdeutlicht die Vorgehensweise zur Erstellung eines generalisierten Modells am Beispiel der Situation: „Der Chirurg führt mit einem 5mm Bohrer eine Bohrung im Unterkiefer durch. Ein erstes Implantat ist bereits im Unterkiefer gesetzt.“ Zunächst wird hierzu ein Konzept mit der Modellbezeichnung angelegt.

Die Merkmale werden als notwendige und hinreichende Bedingungen formuliert. Dies entspricht der Definition des Konzepts wie folgt:

∃ *hasInstrument* some Drill5mm

∃ *hasActivity* some Drilling

∃ *hasTreatedStructure* some Mandible

∃ *externallyConnected* some ((*hasObject* some Mandible) and (*hasObject* some Implant))

Die ersten drei Bedingungen der Konzeptdefinition beschreiben die chirurgische Handlung. Anhand der letzten Bedingung wird der Patientenzustand beschrieben. Es wird ausgedrückt, dass sich bereits ein Implantat in der Mandibula *(Mandible)* befindet. Hierzu wird die topologische Relation *externallyConnected* verwendet.

Der Vorteil einer solchen Modellierung kommt besonders zum Tragen wenn durch die Einbeziehung der Taxonomie der Applikationsontologie Bedingungen generalisiert werden, beispielsweise indem das Konzept *Drill5mm* durch das in der Instrumententaxonomie höherstehende Konzept *DrillInstruments* ersetzt wird.

Bei der Interpretation der aktuell vorliegenden Situation wird geprüft, ob das zu interpretierende Situationsmodell die Instanz eines der definierten generalisierten Modelle ist. Das Verfahren eignet sich zur Feststellung ob eine bestimmte Situation vorliegt.

4.3 Situationsinterpretation durch Regeln

Bei der regelbasierten Interpretation wird das Wissen über eine bestimmte Situation mittels Regeln abgebildet. Eine solche besteht aus einem Bedingungs- und einem Aktionsteil, der ausgeführt wird, wenn die Bedingung erfüllt ist.

Im Bedingungsteil werden die für die Ausführung der Regel notwendigen Merkmale des Situationsmodells abgebildet. Im Aktionsteil der Regel werden zusätzliche Rollen, Instanzen oder Attribute im Situationsmodell eingefügt. Dadurch wird das implizite Situationswissen der Regel im jeweiligen Modell explizit dargestellt. Dies wird anhand des folgenden Beispiels verdeutlicht: „Befindet sich ein Bohrinstrument in der näheren Umgebung einer Nervenstruktur und verringert sich gleichzeitig der Abstand zwischen den beiden Objekten so existiert eine Bedrohung der Nervenstruktur durch das Instrument.“ Die Regel zur Umsetzung dieses Sachverhalts sieht folgendermaßen aus:

Bedingungsteil:

isNear(DrillInstrument,Nervus) AND

isApproaching(DrillInstrument,Nervus)

Aktionsteil:

isThreathenedBy(Nervus, DrillInstrument)

Mit dem regelbasierten Ansatz lassen sich klar definierbare Zusammenhänge einfach abbilden.

5 Anwendungsbeispiel

Die Eignung des wissensbasierten Ansatzes zur Modellbildung und Situationsinterpretation wird an einem häufig durchgeführten Eingriff im Bereich der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, dem Setzen von Dentalimplantaten, untersucht. Hierzu wird ein System entwickelt, das dem Chirurgen Informationen zur Positionierung des chirurgischen Instruments (z.B. Bohrposition, -orientierung und -tiefe) einblendet und ihn vor unbeabsichtigten Verletzungen der Vitalstrukturen warnt. Ausgangsbasis für die Experimente bildet das klinisch evaluierte INPRES[2] System [Sud05], ein Assistenzsystem auf Basis der Erweiterten Realität. Die Visualisierung der Plandaten erfolgt mittels einer Durchsichtbrille, Informationen bezüglich des Operationsgeschehens werden anhand eines optischen Positionsverfolgungssystems erfasst. Hierzu werden der Patient, die chirurgischen Instrumente und die Durchsichtbrille mit Markern versehen.

Bislang wurde eine regelbasierte Situationsinterpretation auf Basis des geometrischen Situationsmodells realisiert. Für die Erstellung des geometrischen Situationsmodells werden die Positionsinformationen des Patienten und der chirurgischen Instrumente ausgewertet. Die zugrundeliegende Applikationsontologie wurde mit dem Modellierungswerkzeug Protégé[3] erstellt. Für die Anwendung von Schlussfolgerungsalgorithmen wurde eine Anbindung an das Schlussfolgerungssystem RacerPro[4] realisiert. Die Regeln werden mittels der nRQL[5] formuliert und durch RacerPro ausgewertet. In einem Anwendungsbeispiel wurde die Situationsinterpretation für die Generierung einer kontextbezogenen Visualisierung verwendet. Abbildung 7 (links) zeigt eine Untersützung zur Positionierung des Bohrinstruments. Hierbei werden die Mittelachse des Implantats und die aktuelle Bohrachse eingeblendet. Die Visualisierung soll dem Chirurgen die korrekte Instrumentenführung erleichtern. Die für die Visualisierung verwendeten geometrischen Objektmodelle des Unterkiefers, des Implantats und der Vitalstruktur Nervus lingualis sind in Abbildung 7 (rechts) dargestellt.

---

[2] Intraoperative Presentation of Planning and Simulation Data
[3] http://protege.stanford.edu
[4] http://www.racer-systems.com
[5] new Racer Query Language

Neben dem vorgestellten Anwendungsszenario wurde die Übertragbarkeit des Konzepts auf minimalinvasiv durchgeführte Eingriffe in der Viszeralchirurgie untersucht. Hierbei wurden die Interpretation des geometrischen Situationsmodells mittels generalisierten Modellen [Spe08] und die Interpretation des semantischen Situationsmodells mittels Fallermittlungsnetzen untersucht [Sud09].

Die nächsten Schritte beinhalten die Evaluation der regelbasierten Situationsinterpretation sowie Experimente zur Situationsinterpretation mittels Fallermittlungsnetzen und generalisierten Modellen am Beispiel dentaler Implantate.

Abbildung 7: Links: Einblendung der geplanten und aktuellen Bohrachse. Rechts: Mandibula, Implantatposition und Vitalstruktur Nervus lingualis

6. Diskussion und Ausblick

Die wesentlichen Vorteile des wissensbasierten Ansatzes zur Generierung einer kontextbezogenen Unterstützung des Chirurgen liegen in der einfachen Pflege und flexiblen Erweiterbarkeit des abgebildeten Wissens. Die Verwendung einer Beschreibungslogik als Repräsentationsformalismus begünstigt die Anwendbarkeit von Schlussfolgerungsalgorithmen sowie die Anbindung an existierende Wissensrepräsentationen. Das Modellierungskonzept zur Abbildung der Operationssituation und der Operationsplanung ist eingriffsunabhängig.

7 Danksagung

Dieses Projekt wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Normalverfahrens "Situationsbezogene Erweiterte Realität im Operationssaal“ gefördert.

Literaturverzeichnis

[BCM03] Baader, F.; Calvanese, D.; McGuiness, D.: The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications, Cambridge University Press, 2003

[BDL03] Beltran-Ferruz, P.; Diaz-Agudo, B.; Lagerquist, O.: Retrieval over Conceptual Structures, Advances in Case-Based Reasoning, Springer-Verlag, 443-457, 2006

[BRS06] Boeker, M.; Raufi, D.; Schulz, S.: Deskriptions-Logik basierte räumlich-topologische Repräsentation anatomischer Strukturen mit dem Region Connection Calculus, Tagungsband GMDS, 2006

[Don04] Donelly, M.: On Parts and Holes: The Spatial Structure of the Human Body, Tagungsband 11th World Congress on Medical Informatics, 2004

[FGJ97] Fernandez-Lopez, M.; Gomez-Perez, A.; Juristo, N.: METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering, Ontological Engineering. Papers from the AAAI Spring Symposium, 33-40, 1997

[LB96] Lenz, M.; Burkhard, H.D.: Case retrieval nets: Basic ideas and extensions, Advances in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, 227-239, 1996

[NM06] Neumann, B.; Möller, R.: On Scene Interpretation with Description Logics in Cognitive Vision Systems. Sampling the Spectrum of Approaches, Springer 2006

[Neu06] Neumuth, T. et al.: Structured Recording of Intraoperative Surgical Workflows. Tagungsband SPIE Medical Imaging, 2006

[NR08] Noy, N.; Rubin, L.: Translating the Foundational Model of Anatomy into OWL, Journal of Web Semantics 6(2), 133-136, 2008

[Spe08] Speidel S. et al.: Recognition of Risk Situations Based on Endoscopic Instrument Tracking and Knowledge Based Situation Modeling. Tagungsband SPIE Medical Imaging, 2008

[Sud05] Sudra G. et al.: First Clinical Tests with the Augmented Reality System INPRES, Tagungsband MMVR, 2005

[Sud09] Sudra G. et al.: Estimating Similarity of Surgical Situations with Case-Retrieval-Nets, Tagungsband MMVR, 2009