Operatoren zur deskriptiven und modellbasierten unscharfen Wissensbeschreibung in der medizinischen Bildverarbeitung

Jens Hiltner

Universität Dortmund
Fachbereich Informatik, Lehrstuhl I
Otto-Hahn-Str. 16, 44227 Dortmund
Email: hiltner@ls1.informatik.uni-dortmund.de

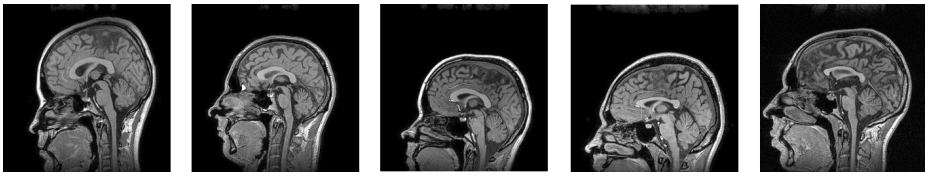
Zusammenfassung: Der Bereich der medizinischen Bildverarbeitung gewinnt zunehmend an Bedeutung, insbesondere bedingt durch die fortschreitende Entwicklung moderner bildgebender Verfahren und der weiten Verfügbarkeit entsprechender Aufnahmegeräte. Trotz wachsender Bildqualität können die Bilddaten verschiedenste Arten von Unsicherheiten enthalten, die bei einer computer-unterstützten Auswertung geeignet berücksichtigt werden müssen. In diesem Beitrag wird der Umgang mit den in Bilddaten auftretenden Unsicherheiten behandelt. Berücksichtigung findet dabei unter anderem die sogenannte interindividuelle Variabilität. Zur Segmentierung und Erkennung von Objekten trotz vorkommender Unsicherheiten werden neu entwickelte Lösungsansätze vorgestellt und diskutiert.

Schlüsselwörter: Medizinische Bildverarbeitung, MRT-Analyse, Fuzzy-Logik, Klassifikation, Wissensbeschreibung

1 Einleitung

In der modernen medizinischen Bildgebung treten viele interessante Fragestellungen im Bereich der automatisierten Strukturerkennung und Bildanalyse auf. Deren zentrale Bedeutung wird durch die Tatsache deutlich, daß die gefundenen Daten eine existentielle Grundlage für viele Diagnosen bilden. In den letzten Jahren haben sich durch die bildgebenden Verfahren in der Medizin gerade im Bereich der Invivo-Untersuchungen sehr gute Fortschritte gezeigt. Bei der Bildanalyse handelt sich um ein aktuelles Forschungsgebiet, bei dem noch viele Fragen offen sind [7, 8, 10, 13]. Beispielsweise treten in medizinischen Bilddaten verschiedene Arten von Unsicherheiten auf. Als erstes sei hier die interindividuelle Variabilität in den Aufnahmen genannt. So beinhaltet beispielsweise ein volumen-orientiertes Magnet-Resonanz-Tomogramm (MRT) verschiedener menschlicher (gesunder) Köpfe jeweils die gleichen Strukturen. Trotzdem unterscheiden sich diese teilweise sehr deutlich in Form, Lage und Größe voneinander (vgl. Abb. 1). Ein System zur automatischen Erkennung dieser Organ-Strukturen muß demzufolge in der Lage sein, solche Variabilitäten sowohl zu erkennen als auch zu handhaben, was die Entwicklung verschiedener speziell darauf abgestimmter Operatoren erfordert.

Abb. 1. Beispiel für die Variabilitäten menschlicher Köpfe (jeweils mittlere MRT-Schicht)



Weiterhin treten Ungenauigkeiten in den Bilddaten durch unterschiedliche Artefakttypen auf. So existieren z.B. Bewegungsartefakte, die dadurch entstehen, daß sich der Patient während der doch recht langen Aufnahmezeit bewegt. Darüber hinaus sind Bilddaten aufnahmebedingt häufig verrauscht oder unscharf. Für die Modellierung dieser Unsicherheiten zur Segmentierung und Erkennung von Bildobjekten hat sich die unscharfe Logik in den letzten Jahren als sehr nützlich erwiesen [3, 4, 5, 9, 11, 13]. In diesem Beitrag soll im folgenden eine Möglichkeit zur Verarbeitung der Variabilitäten mit Hilfe der Fuzzy-Logik vorgestellt werden. Mit dieser Technik ist es möglich, gesuchte Strukturen auf eine intuitivere Weise zu beschreiben und sich somit der natürlichen Vorgehensweise des Mediziners anzunähern. So kann beispielsweise der Hirnstamm als längliches Organ beschrieben werden, welches unter dem Großhirn liegt, nach unten hin schmaler wird und zudem einen hohen Grad an Homogenität besitzt. All diese Begriffe beschreiben Eigenschaften, die nicht exakt durch eine quantitative Anzahl von Pixeln oder Voxeln definiert werden können und sich somit nur schwer durch klassische mathematische Methoden ausdrücken lassen.

Trotz dieser Beschreibungsmöglichkeiten hat sich in den Wissensakquisitionssitzungen mit den Medizinern gezeigt, daß häufig eine deskriptive Beschreibung der gesuchten Objekte allein nicht ausreicht bzw. möglich ist. Hier ist es für den Experten leichter, das Objekt zu skizzieren, um die verbale Beschreibung zu ergänzen. Eine solche Skizze kann jedoch nicht absolut behandelt werden, sie beschreibt nur das schematische Aussehen der gesuchten Struktur, eine geeignete Flexibilität der Operatoren, die mit solchen Skizzen arbeiten, muß also gewährleistet sein, was wiederum durch den Einsatz von Fuzzy-Methoden erreicht werden kann.

2 Arten der Wissensbeschreibung

Deskriptive Beschreibungen werden schon länger und mit gutem Erfolg mittels unscharfer Eigenschaften modelliert und deshalb hier nicht sehr ausführlich beschrieben. Mehr Informationen kann der interessierte Leser in [2, 3, 4, 5] nachlesen.

2.1 Deskriptive Beschreibung

Die Beschreibung von Eigenschaften gesuchter Objekte lassen sich in vielen Fällen unscharf durchführen. Dies macht natürlich nur dort Sinn, wo auch derartige Unsicherheiten auftreten. Allgemein werden die Eigenschaften durch linguistische Variablen, welche die Eigenschaft selbst beschreiben, bezeichnet und mit linguistischen Termen belegt. Als Beispiel sei hier die linguistische Variable *Größe* genannt, die

etwa mit den linguistischen Termen *klein, mittel, groß* belegt werden kann. Wie die Terme interpretiert werden sollen, wird in den Fuzzy-Mengen definiert (vgl. Abb. 2).

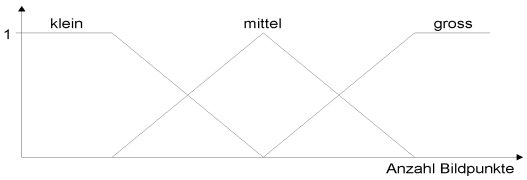


Abb. 2. Beispiel für Fuzzy-Mengen für die Eigenschaft *Größe*

Unscharfe Eigenschaften dienen zur Beschreibung der gesuchten Strukturen und werden zur Identifizierung gefundener Segmente herangezogen. Die Beschreibung selbst wird in einer unscharfen Wissensbasis abgelegt. Für scharfe Zahlenwerte (etwa die Anzahl der Bildpunkte eines Segmentes, vgl. Abb. 2) werden dann die Zugehörigkeiten zu den Fuzzy-Mengen ermittelt, mit denen in einem nachfolgenden Schritt weiter gerechnet werden kann. Nach Betrachtung verschiedener unscharfer Eigenschaften wird anschließend das Segment als das Objekt identifiziert, bei dem die Beschreibung am besten mit dem Inhalt der Wissensbasis übereinstimmt. Folgende Eigenschaften (mit entsprechenden umgangssprachlichen Beschreibungen) werden u.a. zur Identifizierung herangezogen: *Größe, Helligkeit, Formeigenschaften, Lage, Orientierung* und *Textur*.

2.2 Modellbasierte Beschreibung

Unter einer modellbasierten Beschreibung soll hier die Beschreibung von in Skizzen vorgegebenen Strukturen verstanden werden. Dazu muß eine geeignete Repräsentationsform gefunden werden, die auch die Behandlung von Variabilitäten zuläßt. Durch die Verwendung von unscharfen Kanten (vgl. Abb. 3) kann ein gewisser Grad an Flexibilität gewonnen werden [1, 3, 6]. Ausgehend von der Kontur der Skizze wird ein unscharfer Rand mit sinkenden Zugehörigkeitswerten aus dem Einheitsintervall definiert, dessen Breite über einen Parameter δ eingestellt werden kann. Die Wahl von δ soll objektabhängig erfolgen und muß experimentell festgelegt werden. Dazu werden aus einer größeren Anzahl segmentierter Datensätze die Variabilitäten zwischen den einzelnen Strukturen ausgewertet und in die Berechnung der Breite δ mit einbezogen.

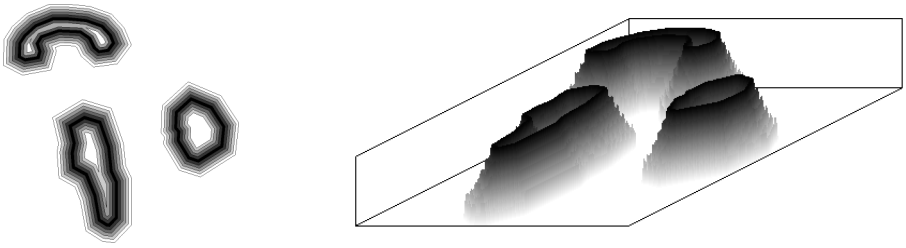


Abb. 3. Schematische Darstellung von unscharfen Referenzobjekten (Auf- und Seitenansicht)

Um die Erkennung bzw. den Vergleich von gefundenen mit dem vorgegebenen Segment zu erleichtern, werden beide Strukturen an ihrer Hauptachse ausgerichtet und bzgl. der Kopfgröße normiert. Die Normierung ist aufgrund der unterschiedlich großen Köpfe notwendig (vgl. Abb. 1). Der Grad der Zugehörigkeit des gefundenen Segmentes zum gesuchten Objekt wird durch die Zugehörigkeitswerte des unscharfen Referenzobjektes bestimmt, wobei derzeit noch verschiedene Möglichkeiten der Bestimmung überprüft werden (denkbar sind u.a. Minimum, Maximum oder Durchschnitt).

Falls keine zufriedenstellenden Ergebnisse bei einem Vergleich des gefundenen Segmentes mit allen möglichen in der Wissensbasis definierten Objekten erreicht werden, werden Fuzzy-Regeln (vgl. Abb. 4) zur Modifikation des Referenzobjektes herangezogen. Diese können z.B. das Objekt stauchen, strecken oder auch gezielt deformieren.

```
WENN SollObj=lang UND IstObj=kurz   DANN Strecken = pos_viel
WENN SollObj=lang UND IstObj=mittel DANN Strecken = pos_mittel
WENN SollObj=kurz UND IstObj=mittel DANN Strecken = neg_mittel
```

Abb. 4. Drei Beispielregeln mit unscharfen Begriffen

Die Regeln können aus der deskriptiven Beschreibung des Objektes gewonnen werden, falls bis auf die Formeigenschaften das gefundene Segment schon klassifiziert wurde und mit der Formänderung eine Bestätigung erreicht werden soll. Andererseits wirken diese Modifikationen sich negativ auf den Zugehörigkeitsgrad aus, um extreme Änderungen und somit falsche Klassifikationen zu vermeiden.

2.3 Kombination beider Methoden

Sinnvoll erscheint die Kombination beider Verfahren (deskriptive und modellbasierte Beschreibung) für bestimmte Problembereiche, wo ein deskriptiver Ansatz allein nicht ausreicht. Dieses unterschiedliche Vorgehen erlaubt eine gegenseitige Kontrollinstanz für das jeweils komplementäre Verfahren, so daß eine deutlich verbesserte Qualität und somit Sicherheit erwartet werden kann, was die Akzeptanz seitens der Anwender erhöht.

Dieser Vorteil muß durch erhöhten Rechenaufwand und auch von einer im Vorfeld aufwendigeren Wissensakquisition erkauft werden. Da aber gerade im Bereich medizinischer Bilddaten der gesundheitliche Aspekt des Patienten im Vordergrund steht, ist dieser Mehrpreis als gering einzustufen. Weiterhin tritt aufgrund schnell steigender Rechnerleistungen dieser Mehraufwand zumindest in der Nutzungsphase des Systems in den Hintergrund.

3 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden nach einer anfänglichen Erläuterung der Problematik bei der Strukturerkennung in medizinischen Bilddaten zwei verschiedene Arten der unscharfen Wissensdarstellung aufgezeigt. Schließlich wurde eine Kombination beider Verfahren kurz diskutiert.

Derzeit werden die Operatoren in einem Baukasten [12] implementiert und getestet. Dies hat den Vorteil der schnellen Überprüfbarkeit in einem Rahmen, der zudem weitere Bildverarbeitungsmethoden umfaßt. Das Ziel dieses Projektes liegt in einem Gesamtsystem, welches es dem Anwender erlaubt, sein Expertenwissen auf eine ihm verständliche Weise zu integrieren. Dazu soll er das Wissen in unterschiedlichen, sich ergänzenden Formen definieren können. Neben der umgangssprachlichen Eigenschaftsbeschreibungen ist beabsichtigt, dem Experten die Möglichkeiten zu geben, in intuitiver Form Skizzen und Modelle zu definieren. Dazu sind Editoren zu entwerfen, die den Inhalt geeignet für die unscharfe Wissensbasis aufbereiten.

Neben den Fuzzy-Methoden sollen noch weitere Methoden aus dem Bereich der *Computational Intelligence* genutzt werden [3], um die Ergebnisqualität und somit die Akzeptanz zu erhöhen, aber auch um mühsame Optimierungen (etwa der Fuzzy-Mengen oder des Parameters δ, vgl. Abschnitt 2) zu automatisieren.

4 Literatur

1. Han J.H, Koczy L.T, Poston T: Fuzzy-Hough Transform. Pattern Recognition Letters, Vol. 15, pp. 649-658, 1994.
2. Hiltner J, Jäger M, Meyer zu Bexten E, Tresp C, Fathi M: Analyse medizinischer Bilddaten mit Hilfe unscharfen Wissens. Digitale Bildverarbeitung in der Medizin. Tagungsband zum 5. Freiburger Workshop. Universität Freiburg, 1. Auflage, 1997.
3. Hiltner J: Einsatz von Methoden der Computational Intelligence in der digitalen Bildverarbeitung. 17. Workshop Interdisziplinäre Methoden in der Informatik. Forschungsbericht, Universität Dortmund, 1998.
4. Hiltner J: Formbeschreibungen in der Bildverarbeitung. 16. Workshop Interdisziplinäre Methoden in der Informatik. Forschungsbericht Nr. 639, Universität Dortmund, 1997.
5. Jäger M, Moser M: Ein Modellentwurf zur wissensbasierten Analyse von 3D-Bildern unter Berücksichtigung von Unsicherheiten. Diplomarbeit am Fachbereich Informatik, Lehrstuhl I, Universität Dortmund, 1996.
6. Kim Y. T, Han J.H: A Fuzzy Approach to Edge Detection and Representation. Fuzz-IEEE 97, pp. 69-74, 1997.
7. Lehmann T, Oberschelp W, Pelikan E, Repges R: Bildverarbeitung für die Medizin. Grundlagen, Modelle, Methoden, Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin, 1. Auflage 1997.
8. Lehmann T, Scholl I, Spitzer K (Hrsg.): Bildverarbeitung für die Medizin. Algorithmen, Systeme, Anwendungen. Proceedings des Aachener Workshops. Verlag der Augustinus Buchhandlung, Aachen, 1. Auflage, 1996.
9. Menhardt W: Unscharfe Mengen (Fuzzy Sets) zur Behandlung von Unsicherheit in der Bildanalyse. Dissertation, Universität Hamburg, 1990.
10. Meyer zu Bexten E, u.a.: Bedeutung und Perspektiven der medizinischen Bildverarbeitung. 3. Anwendersymposium "Aktuelle Entwicklungen und Realisierungen der Bildverarbeitung", Aachen, 1997.
11. Pedrycz W: Fuzzy Sets in Pattern Recognition: Methodology and Methods. Pattern Recognition, Vol. 23, No. 1/2, pp. 121-146, 1990.
12. Projektgruppe Bambus: Baukasten für die Analyse und Modellierung von Bildobjekten aufgrund unscharfen Wissens. Endbericht der Projektgruppe 294, Universität Dortmund, 1997.
13. Tizhoosh H.R: Fuzzy-Bildverarbeitung. Einführung in Theorie und Praxis. Springer-Verlag, Berlin, 1. Auflage 1997.