

# Automatisierte Objektextraktion mittels intervallgestützter Merkmalsuche in hierarchisch partitionierten Bildern

Christian Thies, Tamara Ostwald, Benedikt Fischer und Thomas M. Lehmann

Institut für Medizinische Informatik der RWTH Aachen, 52057 Aachen

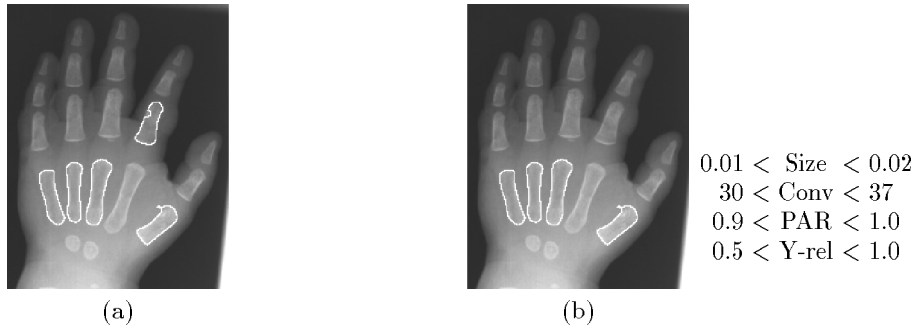
**Zusammenfassung.** Die Extraktion von Objekten aus medizinischen Bildern erfordert die Abbildung von Anwenderwissen in eine Extraktionsvorschrift, die derart verallgemeinerbar ist, daß bei der automatisierten Anwendung auf eine Bildserie sämtliche gesuchten Objekte detektiert werden. Zu diesem Zweck wird ein Bild in alle plausiblen Regionen partitioniert, und die Objekte anhand der charakteristischen Merkmale der resultierenden Regionen gesucht. Die dazu notwendige Formulierung der Suchanfragen in Form von Merkmalsintervallen erfolgt heuristisch durch den Anwender. Unterstützt wird er durch eine intuitive Benutzeroberfläche, die Zyklen aus Anfrageformulierung, Testen und erneuter Anfrageanpassung ermöglicht. Mit diesem Ansatz lassen sich heterogen ausgeprägte biomedizinische Objekte detektieren. So ist die Extraktion von Metakarpalknochen aus einer Datenbank von 105 Handradiographien mit einem Recall von 0.6 und einer Precision von 0.53 möglich.

## 1 Extraktion medizinischer Objekte

In der medizinischen Bildauswertung ist die Extraktion und Vermessung von Objekten ein wichtiges Instrument zur Diagnostik und zur Dokumentation. So lassen sich z.B. anhand der Größe und Lage der Handwurzelknochen sowie der Fingerglieder eines Kind der Entwicklungsstand und eventuelle Störungen im Wachstumsprozess erkennen. Zur genauen Quantisierung dieser Parameter ist es notwendig, die relevanten Objekte explizit zu extrahieren. Dabei sind unterschiedliche Charakteristika wie die Topologie, Form und Texturierung der Objekte von Bedeutung. Ferner ist eine Automatisierung der Extraktion notwendig, um wiederholte zeitaufwändige Parametrierungen zu vermeiden.

Die Objektextraktion lässt sich in zwei Schritte aufteilen. Im ersten Schritt des Verfahrens wird ein Bild hierarchisch in alle visuell plausiblen Regionen zerlegt, was einer Multiskalenzerlegung entspricht. Das verwendete Segmentierungsverfahren basiert auf dem Regionenverschmelzungsprinzip und liefert einen hierarchischen attributierten Regionen-Adjazenzgraph (HARAG) [1]. Im zweiten Schritt werden die Objekte mittels einer Intervallsuche auf den Merkmalen der partitionierten Regionen ermittelt. Die dazu notwendige Suchanfrage entspricht einem Merkmalsklassifikator und wird vom Anwender in einem Data-Mining-Zyklus formuliert [2].

**Abb. 1.** Für Metakarpalknochen wurden Größe (Size), Konvexität (Conv) und Hauptachsenverhältnis (PAR) als relevant ermittelt, was jedoch ein Fingerglied zuviel liefert (a). Die Hypothese, daß Metakarpalknochen in der unteren Bildhälfte liegen (Y-rel), vermeidet dies. (b). Der unmarkierte Handwurzelknochen war nicht im HARAG.



Aus diesem Ansatz ergeben sich drei Fragestellungen. Wie können die Anfragen bestehend aus Merkmalsauswahl und Intervallgrenzen formuliert werden? Lassen sich beliebige heterogen ausgeprägte biomedizinische Objekte differenziert extrahieren? Wie gut lassen sich Anfragen automatisiert reproduzieren? Diese Fragestellungen werden anhand der Extraktion von Fingerknochen exemplarisch untersucht.

## 2 Anfrageerstellung zur Merkmalsklassifikation

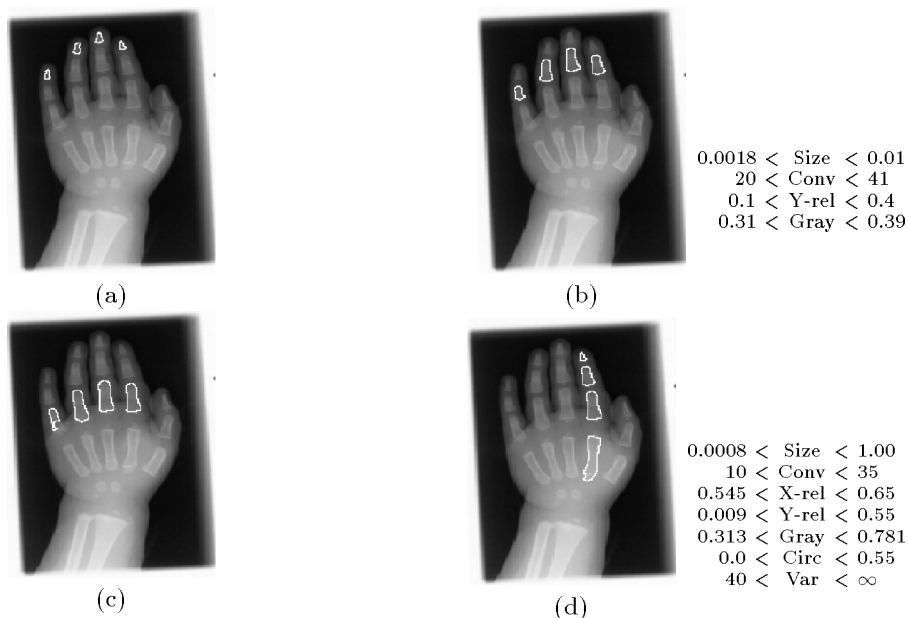
Der Klassifikator zur Extraktion von Objekten aus HARAGs ist als Top-Down-Durchlauf durch die Baumstruktur realisiert, wobei an jedem Knoten ein Intervallvergleich der regionenbeschreibenden Merkmale durchgeführt wird. Die Parametrierung besteht aus zwei Schritten, der Auswahl der Merkmale und der Festlegung der Intervallgrenzen. Die geeigneten Merkmale und die zugehörigen Intervalle sind aufgabenspezifisch und repräsentieren das Anwenderwissen. Dieses Wissen ist heuristisch und wird als solches auch explizit als Parameter behandelt. In dieser Arbeit wurden 38 Attribute in drei Kategorien aus der Literatur implementiert:

1. Geometrische Eigenschaften: BoundingBox, Rundheit, Ellipsen Fit, etc;
2. Grauwertmerkmale: Mittlerer Grauwert, Entropie, etc;
3. Texturparameter: Haralick'sche Texturmaße.

Um skalierungsinvariant suchen zu können, liegen alle Attribute sowohl absolut als auch normiert vor. Die Auswahl geeigneter Attribute und Intervallgrenzen sind fundamentale Probleme der freien Informationssuche. Sie sind im Allgemeinen durch generalisierte Automatisierungsansätze nicht zu lösen, da die Größe des Suchraumes proportional zur Potenzmenge der Attribute ist.

Grundlegend in dieser Arbeit ist daher die Integration einer Anwendergestützten heuristischen Anfrageformulierung mittels einer Suchmaske und schnell-

**Abb. 2.** In einer Handradiographie lassen sich Fingerglieder durch Attributanpassung und Intervallabschätzung anatomisch in die distalen (a), medialen (b) und proximalen Phalangen (c) differenzieren. Andere Kontexte, wie der Zeigefinger, sind ebenfalls formulierbar (d).



len Verifikationszykeln. Das erforderliche Visualisierungstool wurde als Java Applet implementiert und lässt sich ohne Installation in typische browserbasierte Nutzerschnittstellen zur Bildsuche integrieren. Im speziell entwickelten HARAG-Browser wird in einem Beispielbild eine relevante Region markiert und aus den Merkmalswerten relevante Merkmale und Intervalle abgeleitet. Die Hypothese wird auf das Bild angewandt und es wird visuell kontrolliert, ob die gesuchten Regionen identifiziert wurden. Diese Optimierung wird solange wiederholt, bis das korrekte Ergebnis ermittelt wurde (Abb. 1).

### 3 Objektdifferenzierung

In klinischen Anwendungen werden Objekte aus unterschiedlichen Fragestellungen extrahiert. Dieser Kontextwechsel wird mit Hilfe der intuitiven Attributauswahl und der Intervallfestsetzung durchgeführt. In einer Handradiographie lässt sich so z.B. zwischen der anatomischen Differenzierung der Fingerglieder und den Knochen eines einzelnen Fingers unterscheiden (Abb. 2). Die Formulierung der Anfrage erfolgt über intuitive Parameter, wie die Lage der Objekte, relativer Grauwert und die Größe. Dabei wird eine Anfrage aus der vorhergehenden entwickelt, indem einzelne Attribute bzw. Merkmalsintervalle ergänzt werden.

## 4 Automatisierte Auswertung

Die Suche von Objekten wurde an den HARAGs von 105 Handradiographien getestet. Die Bildgrößen betragen im Mittel 250 x 150 Pixel und die HARAGs bestanden aus ca. 2000 Knoten. Als Ground Truth wurden von Experten mit Hilfe des Browsers für jeden HARAG die segmentierten Regionen bestimmt, die den Metakarpalknochen entsprachen. Insgesamt konnten in den 105 Bildern 372 Regionen identifiziert werden. Bei der manuellen ad-hoc Anfragegenerierung wurden freie Auswahl und Verknüpfung von Attributen und Intervallen entsprechend dem Anwenderwissen zugelassen. So lassen sich Metakarpalknochen in einem ausgewählten Bild bereits durch wenige objektspezifische Attribute extrahieren (Abb. 1). Diese Anfrage wurde dann in der Feedback-Schleife verfeinert. Für den automatisierten Klassifikator wurden acht Merkmalsätze getestet: alle 38 Merkmale, dann die paarweise Kombination der drei Kategorien, die drei Kategorien und eine manuelle Zusammenstellung aus geometrischen und Grauwertmerkmalen. Die Ergebnisse wurden durch Vergleich der vom Suchalgorithmus pro HARAG ermittelten Regionen mit der Ground Truth des entsprechenden HARAGs verifiziert. Zur Anfragegenerierung wurden dabei acht Beispielbilder zufällig gewählt und aus ihnen die Maxima und Minima für die gewählten Merkmale, der insgesamt 12 sichtbaren Metakarpalknochen bestimmt. Diese ergaben die Intervallgrenzen für die Suche.

## 5 Ergebnisse

Mit Hilfe der heuristischen Attributauswahl und Intervallfestlegung im Data-Mining-Zyklus lassen sich Anfragen effizient und intuitiv entwerfen (Abb. 1). Die achsenparallele Intervallsuche über wenige Attribute bietet die Möglichkeit, Objekte differenziert zu extrahieren (Abb. 2). Auch dabei ist die intuitive Anpassung der Anfrage aus vorhergehenden Untersuchungen möglich.

Die automatisierte Anwendung der Intervallsuche liefert unterschiedliche Ergebnisse in Abhängigkeit von der Anfrageerstellung. Das schlechteste Ergebnis liefert der systematisch erstellte Klassifikator unter Verwendung aller Attribute, wobei hier 92 Regionen gefunden wurden (Recall 0.25/Precision 0.83). Das beste systematisch ermittelte Ergebnis liefert die Kombination aus Form und Grauwert mit 121 korrekten Zuordnungen (Recall 0.33/ Precision 0.8). Mit der manuell generierten ad-hoc Anfrage konnten nach fünf Feedback-Zyklen 225 der 372 Regionen gefunden werden (Recall 0.6/Precision 0.53).

## 6 Diskussion

Mit dem vorgestellten Konzept lässt sich die Frage beantworten, wie sich intervallbasierte Anfragen zur Objektextraktion formulieren lassen: Die verwendete Intervallsuche über charakteristische Merkmale ist intuitiv parametrierbar und bietet die Möglichkeit zur Extraktion beliebiger, a-priori unbekannter Objekte mit Hilfe eines Data-Mining-Zyklus (Abschnitt 2).

Die Frage nach der Flexibilität des Konzepts zur Extraktion beliebiger medizinischer Objekte kann ebenfalls positiv beantwortet werden: Aus einem Bild lassen sich Objekte aus unterschiedlichen Anfragekontexten mit dem gleichen Mechanismus effizient extrahieren (Abschnitt 3).

Die Frage nach der Automatisierbarkeit muss differenziert betrachtet werden. In dieser Arbeit wurde daher eine manuell ermittelte Anfrage mit einer einfachen automatisierten Klassifikation verglichen. Die Ergebnisqualität hängt, wie zu erwarten war, hauptsächlich von der Merkmalsauswahl und Intervallfestlegung ab (Abschnitt 4). Allerdings ist auch die Partitionierungsqualität wichtig, da Regionen, die nicht im HARAG vorliegen, nicht extrahiert werden können. Da keine Anfrageoptimierung auf der Basis eines globalen Trainings über den 300.000 Regionen der Datenbank stattfindet, sind die Regeln für die systematisch ermittelten Regionen sehr streng und lassen nicht alle relevanten Regionen passieren. Die manuelle Regel ist flexibler, liefert allerdings mehr Regionen als notwendig. Beide Probleme sind charakteristisch für die regelbasierte Mustererkennung und werden in diesem Konzept vom Anwender gelöst. Dies entspricht dem Anspruch medizinischer Anwendungen, die automatisiert erzeugten Ergebnisse vollständig nachvollziehen zu können.

Das System unterstützt also den Anwender bei der freien Objektsuche im Datenbestand, erfordert jedoch die Verifikation und Verfeinerung einer Anfrage in Feedback- Zyklen bis zur benötigten Ergebnisqualität [3]. Daher wird der Nutzerschnittstelle besondere Bedeutung beigemessen. Der Prozess der Anfragegenerierung kann in einer Erweiterung durch geeignete Lernverfahren automatisiert werden. Hierbei ist auch eine Parametrierung geplant, für die der Anwender gesuchte Regionen mit der Maus markiert, und deren Merkmalsvektoren dann zur automatisierten Klassifikation verwendet werden. Das Konzept der Implementierung ist offen, so dass entsprechend komplexere Klassifikatoren integriert werden können, die nicht den Begrenzungen der achsenparallelen Intervallgrenzen unterliegen.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projekts Image Retrieval in Medical Applications (IRMA) durchgeführt (DFG Förderung Le 1108/4).

## Literaturverzeichnis

1. Beier D, Thies C, Gueld MO, Fischer B, Kohlen M, Lehmann TM. Ein lokal-adaptives Ähnlichkeitsmaß als Kriterium der hierarchischen Regionenverschmelzung. In: Procs BVM; 2004. p. 100–4.
2. Thies C, Metzler V, Lehmann TM, Aach T. Extraction of biomedical objects by sub-graph matching in attributed hierarchical region adjacency graphs. In: Procs SPIE. vol. 5370(3); 2004. p. 1498–508.
3. Tagare HD, Jaffe CC, Duncan J. Medical image databases: A content-based retrieval approach. JAMIA 1997;4(3):184–98.