Objektorientierte Inhaltsbeschreibung hierarchisch partitionierter medizinischer Bilder

Christian Thies[1], Volker Metzler[2], Thomas Lehmann[1], Til Aach[2]

[1]Institut für Medizinische Informatik
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Email: cthies@mi.rwth-aachen.de
[2]Institut für Signalverarbeitung und Prozeßrechentechnik
Medizinische Universität zu Lübeck

Zusammenfassung. Eine reproduzierbare und robuste Extraktion von Bildobjekten ist Voraussetzung für die zuverlässige, automatisierte Analyse und Reihenuntersuchung von medizinisch-biologischem Bildmaterial. Die dazu notwendige Beschreibung des Bildinhaltes durch optisch relevante Objekte ist kontextabhängig und wird durch Aufnahmeparameter des Bildes, wie Auflösung, Orientierung und Ausschnitt, sowie die klinisch-diagnostischen Fragestellungen bestimmt. Ein computergestütztes Analyseverfahren muß diese Aspekte als Expertenwissen modellieren. Eine statische Lösung ist dabei unbefriedigend, da jede Änderung der Fragestellung ein Redesign des Verfahrens erfordert. Wünschenswert ist vielmehr ein flexibler Ansatz, der es dem medizinischen Experten ermöglicht, ohne Kenntnis technischer Details unterschiedliche Objekte kontextabhängig aus Bildern zu extrahieren. Seine intuitive Vorgehensweise kann dabei protokolliert, normalisiert und in einer anschließenden automatischen objektorientierten Bildanalyse reproduziert werden.

1 Hierarchische Repräsentation visueller Information

Grundlage des Verfahrens ist eine hierarchische Partitionierung des Eingangsbildes, mittels derer ein Bild in visuell signifikante Regionen zerlegt wird. Eine solche Zerlegung wird durch ein etabliertes morphologisches Multiskalenverfahren geliefert [1]. Dabei ist die Signifikanz einer Region in der Regel über ihren Kontrast gegeben, dessen Extraktion in Form der Wendestellenkonturen des Bildes mit der menschlichen Wahrnehmung korrespondiert. Die Hierarchie wird in Form eines Baumes repräsentiert, dessen Kanten eine Inklusionsbeziehung zwischen den Regionen der einzelnen Auflösungsstufen beschreiben. Aufgrund der Kausalität der Regionen im Skalenraum schließt eine Region einer groben Skala die korrespondierenden Regionen aller feineren Skalen ein. Daher kann der Baum als hierarchische Regionendatenbank aufgefaßt werden. Die Objekte lassen sich nun ausschließlich mittels deskriptiver Attribute repräsentieren, die charakteristische, skalenbedingte, morphologische und grauwertstatistische Eigenschaften beschreiben [2]. Solche Attribute sind beispielsweise Varianz, mittlerer Grauwert, Kompaktheit, Fourier–Deskriptoren oder die Anzahl der im Baum folgenden Objekte. Diese Attribute werden zu einem Merkmalsvektor zusammengefaßt, der seinem erzeugenden Baumknoten zugeordnet wird. Die Vektoren liefern eine effiziente und robuste Beschreibung der Regionen. Bis zu diesem Schritt ist keine Benutzerinteraktion notwendig. Die Zerlegung eines Bildes in Regionen und deren Beschreibung mittels invarianter Merkmale liefert den statischen Aspekt einer objektorientierten Bildanalyse. Analog zur objektorientierten Programmierung können die Regionen als Instanzen von Klassen betrachtet werden, und die Merkmalsbeschreibung als zugehörige Attribute. Die Hierarchie der Regionen kann als Analogon der Vererbungshierarchie betrachtet werden, wobei anstelle der Vererbungsmechanismen die Inklusionsbeziehung tritt. Weiter reicht allerdings die Analogie von objektorientierter Bildanalyse und Programmierung nicht. Der Begriff Objekt bezeichnet daher im folgenden eine opake Entität im Sinne der visuellen Wahrnehmung zweidimensionaler Szenen.

2 Objektrepräsentation und hierarchische Analyse

Objektrepräsentation in einer Regionenhierarchie. Die attributierten Regionen stellen noch keine wirklichen Bildobjekte im Sinne der visuellen Wahrnehmung dar. Dazu muß ihnen eine Bedeutung zugeordnet werden, die sich aus abstraktem Wissen ergibt. Das Objekt "Gesicht" kann z.B. durch eine ellipsoide Region mit den eingeschlossenen Subobjekten "Augen", "Nase", "Mund" und deren räumlicher Anordnung beschrieben werden. Dabei läßt sich die Eigenschaft "ellipsoid" als invariante Eigenschaft einer Region beschreiben und der Einschluß von Subobjekten als Inklusion in der Hierarchie der Regionen. Die Subobjekte und deren Beziehungen zueinander müssen "gelernt" werden, was mit Hilfe der beschriebenen statischen Semantik noch nicht möglich ist. In einer kausalen hierarchischen Bildpartitionierung entspricht das Beispiel jedoch einem formalisierbaren Teilbaum wenn die hierarchische Bildanalyse zwei Anforderungen erfüllt.

- Da endliche Entitäten vorliegen, müssen spezielle Regionen atomare Objekte definieren können (kleinste Objekte)
- Diese kleinsten Objekte müssen zu anderen Objekten in Beziehung gesetzt werden können, um größere Objekte zu definieren.

Atomare Objekte eines Bildes sind extrahierbar, indem durch Vergleichsprädikate der zulässige Wertebereich einzelner Attribute definiert wird. Fallen nun alle Attributwerte eines Merkmalsvektors in diese Wertebereiche, so wird der Knoten bzw. die Region als gesuchtes Subobjekt klassifiziert. Diese Prädikatenauswertung kann in der baumartigen Regionenhierarchie sowohl top–down/coarse–to–fine als auch bottom–up/fine–to–coarse in effizienter Weise durchgeführt werden und so die Regioneninklusion bestimmen aus der ein Gesamtobjekt zusammengesetzt ist. Prädikatenauswertung und Baumdurchlauf definieren die dynamische Semantik der Objektbeschreibung und lassen sich in einer einfachen Programmiersprache realisieren.

Auswertung der Hierarchie zur Bildanalyse. Eine einmal formulierte Merkmalsauswahl, Prädikatenauswertung und Inklusionsbestimmung in Form eines Programmes ist eine Regel, die beliebig auf Bilder angewandt werden kann, in denen gleichartige Objekte gesucht werden sollen. Sie stellt also zum einen eine Beschreibung von Bildinhalt und zum anderen dessen Extraktionsvorschrift dar. Über die Formulierung der Regeln fließt das geforderte Kontextwissen in das Verfahren ein. Der Untersucher muß zur atomaren Objetkbeschreibung eine Attributauswahl und deren Beschränkung auf geeignete Wertebereiche bestimmen. Dies ist auf drei Abstraktionsebenen möglich:

– Entwicklungssicht zur Spezifikation über einfache Programmiersprache: Der Anwender implementiert auf den Rohdaten der Regionen eigene Attributberechnungen und erstellt sich so seinen problemspezifischen Satz von Merkmalen.
– Expertensicht zur Spezifikation durch Merkmalsauswahl: Es werden domänenspezifische Merkmalssätze zur Verfügung gestellt, die im Vorfeld von Experten definiert werden.
– Anwendersicht zur Spezifikation durch visuelle Regionenauswahl: In einem iterativen Prozeß werden deskriptive Merkmale ausgewählt und ihre Diskriminanz auf vorgegebenen Objekten bewertet.

Zu Ihrer Realisierung stehen ein Interpreter und darauf aufsetzend eine graphische Benutzeroberfläche zur Verfügung. Mittels dieser Schnittstellen wird in der Regionenhierarchie navigiert, und es können Regionen markiert sowie Merkmale sowohl implementiert als auch ausgewählt werden. Die so erstellten Extraktionsvorschriften beschreiben die gesuchten Objekte. Mittels eines Entscheidungsbaumes werden dann Regeln berechnet, die die diskriminativsten Attribute und deren Werteintervalle zur Beschreibung der markierten Regionen liefern [3]. Bei dieser automatischen Berechnung können auch manuelle Vorgaben für die Attributauswahl berücksichtigt werden. Das heißt der Benutzer legt fest, welche Attribute vom Entscheidungsbaum betrachtet werden sollen. Einmal ermittelte Regeln lassen sich auf die hierarchische Repräsentation anderer Bilder anwenden, um aus ihnen ähnliche Objekte mit entsprechenden Attributwerten zu extrahieren (Abb. 1). Dieses allgemeine Vorgehen ist auch zum inhaltsbasierten Zugriff auf Bilddatenbanken einsetzbar [4].

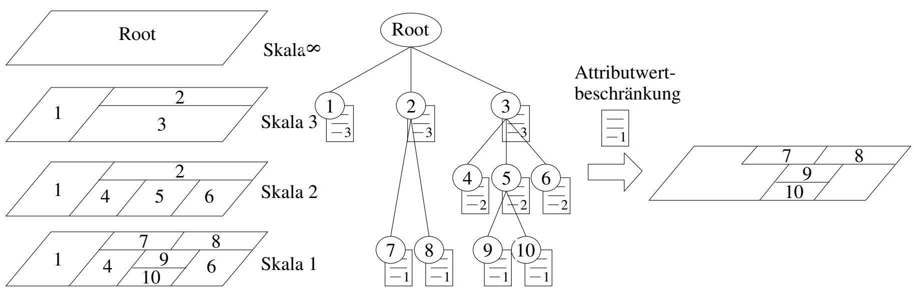

Abb. 1. Die Auswertung der Regionenhierarchie mittels Attributwerteinschränkung liefert spezielle Regionen, die im Analysekontext ein Objekt beschreiben.

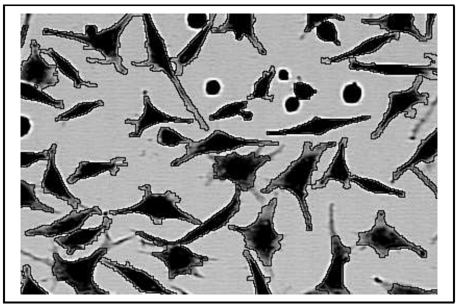

Abb. 2. Die markierten Objekte entsprechen vitalen Zellen mit differenzierter Kontur, ihre Erkennung basiert auf der Einschränkung der morphologischen Konvexität (4π Fläche/Umfang^2) unterhalb einer ermittelten Schwelle (Konvexität $< 0{,}7$). Die inverse Anwendung des Vergleiches markiert die kreisrunden und defekten Zellen (Konvexität $> 0{,}7$).

3 Ergebnisse und Diskussion

Das Verfahren wurde auf Fragestellungen der Zytometrie getestet. In einer Anwendung der Biomaterialforschung wurden geschädigte Fibroblasten in digitalisierten Mikroskopien gesucht. Gesunde Zellen weisen dabei eine differenzierte und dynamische Kontur auf, während geschädigte Zellen sich kreisrund kontrahieren. Als Regel wurde eine Einschränkung des Attributwertbereiches der Konvexität, der Regionengröße und des mittleren Grauwerts ermittelt. Damit ließen sich in 11 Aufnahmen mit insgesamt 967 Zellkörpern alle 44 defekten Zellen identifizieren. Es gab 6 falsch positive Klassifikation gesunder Zellkerne, die als defekte Zellen identifiziert wurden (Abb. 2). Der objektorientierte Ansatz trennt die Zerlegung eines Bildes in wahrnehmungskorrelierte Regionen und deren semantische Beschreibung. Die Voraussetzung hierzu ist ein Verfahren zur domänenunabhängigen hierarchischen Bildpartitionierung. Die semantische Beschreibung wird mittels einer Benutzerschnittstelle eingegeben, die Interaktion auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen bis hin zu einem automatischen Lernprozeß zuläßt. Damit ist die einfache Modellierung von Expertenwissen und dessen reproduzierbare Anwendung möglich. Die dazu notwendige Verknüpfung geeigneter Attribute zu einem Merkmalsvektor ist applikationsspezifisch. An der Ermittelung der Klassifikationsleistung des Verfahrens auf umfangreicherem Bildmaterial und anderen Bilddomänen wird derzeit gearbeitet. Ferner ist die explizite Berücksichtigung der räumlichen Beziehungen bzw. der Topologie von Objekten im Regionenbaum geplant.

Literatur

1. Thies C, Metzler V, Lehmann T, Aach T: Ein morphologisches Multiskalenverfahren zur Segmentierung medizinischer Bilder, Procs BVM 2001, 212-216, 2001.
2. Lindeberg T, Eklundh JO: Scale-space primal sketch – constructions and experiments, Image and Vision Computing, 10(1), pp. 3-18, 1992.
3. Quinlan RJ: C4.5, Methods for machine learning; Morgan & Kaufmann, San Mateo CA, 1992.
4. Metzler V, Thies C, Aach T: A novel objectoriented approach to image analysis and retrieval, IEEE South West Symposium on Image Analysis and Interpretation 2002, Im Druck.