Ein strukturiertes Konzept zum inhaltsbasierten Zugriff auf medizinische Bildarchive

T. Lehmann[a], B. Wein[b], J. Dahmen[c], J. Bredno[a], F. Vogelsang[b], M. Kohnen[b]

[a] Institut für Medizinische Informatik, RWTH Aachen
[b] Klinik für Radiologische Diagnostik, RWTH Aachen
[c] Lehrstuhl für Informatik VI, RWTH Aachen
Email: lehmann@computer.org

Zusammenfassung. Der inhaltsbasierte Zugriff auf große medizinische Bildarchive ist bislang methodisch noch nicht ausreichend konzeptioniert. Unser Ansatz für die Realisierung eines medizinischen Image-Retrieval-Systems basiert auf der strikten Trennung, der sequentiell aufbauenden Kombination und der eindeutigen Formalisierung von Kategorisierung, Registrierung, Merkmalsextraktion, Merkmalsselektion, Abstraktion, Identifikation und des eigentlichen Retrievals. Bilder einer Datenbank werden zunächst mit globalen Bildverarbeitungsalgorithmen oder DICOM-Informationen in Hauptklassen nach Modalität, Körperregion und Orientierung eingeteilt, bevor eine automatische Registrierung innerhalb der jeweiligen Kategorie erfolgt. Die Bilder befinden sich danach in einer standardisierten und somit vergleichbaren Darstellung. Aus den Bildern werden lokale Merkmale ermittelt und zu Merkmalsvektorbildern kombiniert. Nachfolgend wird eine abstrakte, im Informationsumfang stark reduzierte Bildrepräsentation bestimmt. Unter Berücksichtigung des medizinischen Kontextes können auf dieser abstrakten Ebene semantische Anfragen behandelt werden, die sowohl in der diagnostischen Routine als auch in der klinischen Forschung von Bedeutung sind.

Schlüsselwörter: Content-Based Image Retrieval (CBIR), Indexing, Medical Database, Image Content, Registration, Classification, Categorization, Picture Archiving and Communication Systems (PACS), DICOM

1 Motivation

Auch in modernen PACS-Systemen und DICOM-Archiven können bislang nur dann Aufnahmen gezielt aufgefunden werden, wenn Patientenname sowie Geburtsdatum bekannt ist. Dies schränkt den Nutzen für Diagnostik und Forschung stark ein. In bisherigen (auch kommerziellen) Ansätzen zum *Content-Based Image Retrieval* wird mit unspezifischen Datenbanken gearbeitet, die z.B. willkürliche Bildsammlungen aus dem Internet enthalten [1]. Die Indizierung der Bilder erfolgt automatisch nach einfachsten Kriterien. Die Farbe der Bilder ist dabei das maßgebende diskrimante Merkmal. Werden in den heute verfügbaren Systemen Bilder mit medizinischen Inhalten verarbeitet, sind Recall und Precision nach Angaben der Autoren selbst völlig unbefriedigend [2,3]. TAGARE et al. definieren generelle Anforderungen für medizinische Retrieval-Systeme, ohne diese jedoch in eine konkrete Architektur umzusetzen [4].

2 Methode

Unser Konzept zum Image Retrieval in Medical Applications (IRMA) basiert auf der strikten Trennung und eindeutigen Formalisierung von sieben sequentiellen Schritten [5]:

- Kategorisierung (globale Bildbeschreibung)
- Registrierung (geometrische Ausrichtung, Kontrastabgleich)
- Merkmalsextraktion (lokale Bildbeschreibung)
- Merkmalsselektion (kontextabhängig)
- Abstraktion (hierarchische Multiskalenbeschreibung durch Blobs)
- Identifikation (Erkennung von Bildobjekten)
- Retrieval (auf abstrakter Blob-Ebene)

2.1 Kategorisierung

Im Sinne einer intelligenten Verarbeitung der Bildinformation muß dem IRMA-System vor dem eigentlichen Retrieval bekannt sein, um welche Art von Bild es sich handelt. So ist z.B. ein Röntgen-Summationsbild nach anderen Maßgaben zu verarbeiten als ein Ultraschall-Schnittbild mit farbkodierter Doppler-Information. Die Bilder werden dazu durch Auswertung globaler Bildmerkmale oder DICOM-Informationen in Kategorien nach physikalischen (Modalität), anatomischen (Körperregion) und technischen (Aufnahmeorientierung) Parametern eingeteilt. Dabei kann ein Bild durchaus mehreren Kategorien zugeordnet werden, wobei die jeweilige Zugehörigkeitswahrscheinlichkeit mit gespeichert wird.

2.2 Registrierung

Innerhalb jeder Kategorie erfolgt die Berechnung der Registrierungsparameter bezüglich eines Musterbildes. Das Musterbild kann eine reale Aufnahme sein, aber auch synthetisch oder am Phantom erzeugt werden. Die eigentliche Transformation der Bildmatrix mittels der berechneten Parameter findet erst auf einer späteren, abstrakten und damit informationsreduzierten Ebene statt und kann dort effizient und performant durchgeführt werden.

2.3 Merkmalsextraktion

Durch automatische Algorithmen der Bildverarbeitung werden lokale Merkmalsvektoren berechnet und zusammen mit dem ursprünglichen Bild in der Datenbank abgelegt. Im Gegensatz zu den globalen Merkmalen, die zur Kategorisierung für jedes Bild zu einem Merkmalsvektor zusammengefaßt wurden, wird zur lokalen Bildbeschreibung für jedes Pixel ein individueller Merkmalsvektor berechnet. Die Vektoren sind generisch und können komponentenweise erweitert bzw. verändert werden, wobei lediglich die modifizierten Komponenten zur Anfragezeit neu berechnet werden müssen. Dies läßt sich im Batchbetrieb parallelisieren.

2.4 Merkmalsselektion

Die Kategorisierung liefert Vorgaben für eine sinnvolle Parameterauswahl. So spielen z.B. farbdiskriminative Merkmalskomponenten beim Retrieval in Radiographien keine Rolle und werden durch die Merkmalsselektion ausgeblendet. Weiterhin bestimmt der Kontext der jeweiligen Anfrage relevante Komponenten der Merkmalsvektoren.

2.5 Abstraktion

Auf Basis der selektierten Merkmalsvektoren werden Cluster gebildet und ähnlich dem Blobworld-System [6] zur abstrakten Beschreibung der Bilder verwendet. Der Detailreichtum, also die Anzahl und Größe der zu berücksichtigenden Blobs, wird durch den Inhalt der jeweiligen Anfrage bestimmt. Die Blobs werden dazu in einem hierarchischen Multiskalenansatz organisiert. Dieser Aspekt modelliert die Tatsache, daß ein großer Teil der Information in medizinischen Bildern durch die Lokalität der Strukturen bestimmt ist [4].

Das anschließende Retrieval erfolgt auf Ebene dieser Cluster (Blobs) sowie deren Lage zueinander. Bisherige Systeme, die auf abstrakter Ebene Bilder vergleichen, erlauben insbesondere bei geometrischen Transformationen der Bilder nur einen geringen Recall [1]. Die vorangegangene Kategorisierung und Registrierung der Bilder in IRMA ermöglicht ein erfolgreiches Retrieval auch auf abstrakter Ebene.

2.6 Identifikation

Für semantische Anfragen ist die Identifizierung von Objekten in Bildern oft notwendig. Im Gegensatz zur rein datenbasierten Cluster-Bildung im Abstraktionsschritt erfolgt diese inhaltliche Zuordnung von Blobs zu Organen oder anderen benennbaren Strukturen durch massiven Einsatz von a-priori Wissen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist durch Kategorisierung und Registrierung bekannt, an welchen Positionen welche Objekte mit welchen morphologischen Eigenschaften zu erwarten sind. Die Identifikation muß jedoch nicht vollständig erfolgen, um ein Retrieval durchführen zu können.

Weiterhin bietet der Identifikationsschritt die Möglichkeit, Fehlklassifikationen zu erkennen und falsch positive Aufnahmen an dieser Stelle in der Verarbeitungskette noch zurückzuweisen, um so die Precision bzw. Spezifität des Systems zu verbessern.

2.7 Retrieval

Die Datenbankabfragen erfolgen auf abstrakter Ebene, also durch Vergleich der aus den Merkmalsvektoren gebildeten Blobs. Zunächst muß dazu die Auflösungsebene der Blobs bestimmt werden, auf der die Anfrage ausgeführt werden soll. Die bereits erfolgte Registrierung der Bilder in eine Normallage erlaubt auch die Definition von ROIs, auf denen Anfragen zu bearbeiten sind. Über solche ROIs können zusätzlich unterschiedliche Blob-Ebenen innerhalb einer Anfrage modelliert werden, wenn Details bestimmter Objekte oder in bestimmten Bildbereichen von Interesse sind. Somit können semantische Anfragen sowohl für die diagnostische Routine als auch für die klinische Forschung behandelt werden.

3 Ergebnis

Abbildung 1 faßt die zeitliche Abfolge der einzelnen Verarbeitungsschritte zusammen, wobei 1:n bzw. m:n Relationen durch die dünnen Pfeile visualisiert werden. Es ergeben sich die folgenden Systemeigenschaften, die das IRMA-Konzept gegenüber anderen Retrieval-Ansätzen hervorhebt:

- Die Kategorisierung ermöglicht eine adaptive, inhaltsbasierte Verarbeitung und Interpretation der Bilder.
- Für jedes Bild in der Datenbank sind mehrere Kategorien möglich.
- Das Konzept beinhaltet die saubere methodische Trennung zwischen globalen und lokalen Merkmalen.
- Die Registrierung modelliert den Vorgang der vergleichenden Befundung
- Das eigentliche Retrieval basiert auf lokalen (und damit informativen) Merkmalen, wird jedoch auf abstrakter (und damit informationsreduzierter) Ebene durchgeführt.
- Die Abstraktion ist abhängig vom jeweiligen Kontext der Anfrage.
- Die abstrakte Blob-Beschreibung der Bilder ist in einem hierarchischen Multiskalenansatz organisiert und ermöglicht die Modellierung von Details innerhalb von ROIs.

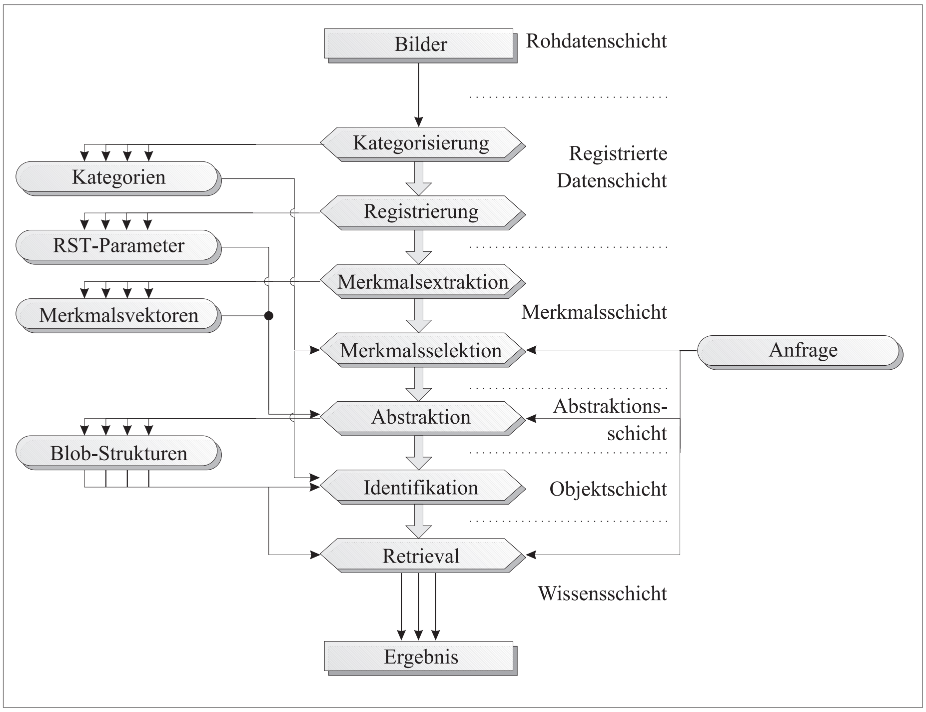

Abb. 1: Sequentielle Verknüpfung der Verarbeitungsmodule im IRMA-System

4 Diskussion

Die strukturierte Methodik des vorgestellten Konzeptes bildet sechs semantische Ebenen, auf denen das Retrieval medizinischer Daten stufenweise realisiert wird (Abb. 1):

1. Rohdatenschicht (raw data layer)
2. Registrierte Datenschicht (registered data layer)
3. Merkmalsschicht (feature layer)
4. Abstraktionsschicht (scheme layer)
5. Objektschicht (object layer)
6. Wissensschicht (knowledge layer)

In Erweiterung des Konzeptes von CHU et al. [7] werden somit zwei zusätzliche Ebenen modelliert: die registrierte Schicht und die Objektschicht. Durch diese Schichten wird es dem IRMA-System möglich, medizinische Anfragen auf Bildmaterial unterschiedlicher Modalitäten in verschiedenen Kontexten zu behandeln. Bislang sind Retrieval-Systeme für medizinische Anwendungen nur für einen Kontext in Aufnahmen einer Modalität realisiert [8,9].

Weiterhin setzt das IRMA-Konzept die wesentlichen Postulate von TAGARE et al. um [4]. Die lokalen Merkmalsvektoren erhalten die regionale Zuordnung einzelner Bildbeschreibungsmerkmale; Art und Anzahl der zum Bild gespeicherten Merkmale sind variabel; das IRMA-System ist offen konzipiert; der medizinische Kontext wird bei der Generierung jeder Anfrage individuell modelliert.

Literatur

1. Dahmen J, Lehmann T, Spitzer K, Ney H: Image Retrieval für klinische Bilddatenbanken. In: Lehmann et al. (Hrsg.) Bildverarbeitung für die Medizin 1998. Springer-Verlag, Berlin, S. 442-446, 1998.
2. Petrakis EGM, Faloutsos C: Similarity Searching in Medical Image Databases. IEEE Trans KDE, 9(3):435-447, 1997.
3. Nappi M, Polese G, Tortora G: FIRST, Fractal Indexing and Retrieval System for Image Databases. Image and Vision Computing 16:1019-1031, 1998.
4. Tagare HD, Jaffe CC, Dungan J: Medical Image Databases: A Content-based Retrieval Approach. Journal of the American Medical Informatics Association 4:184-198, 1997.
5. Lehmann T, Wein B, Dahmen J, Bredno J, Vogelsang F, Kohnen M: Content-based Image Retrieval in Medical Applications: A Novel Multi-Step Approach. Procs. SPIE 3972(32): in press.
6. Carson C, Thomas M, Belongie S, Hellerstein JM, Malik J: Blobworld: A system for Region-Based Image Indexing and Retrieval. Procs. 3rd Int. Conf. On Visual Information Systems, Springer-Verlag, 1999.
7. Chu WW, Hsu CC, Cárdenas AF, Tiara RK: Knowledge-Based Image Retrieval with Spatial and Temporal Constructs. IEEE Trans. KDE, 10(6):872-888, 1998.
8. Korn P, Sidiropoulos N, Faloutsos C, Siegel E, Protopapas Z: Fast and Effective Retrieval of Medical Tumor Shapes. IEEE Trans. KDE, 10(6):889-904, 1998.
9. Shyu CR, Brodley CE, Kak AC, Kosaka A, Aisen AM, Broderick LS: ASSERT - A Physician-in-the-Loop Content-Based Retrieval System for HRCT Image Databases. Computer Vision and Image Understanding 75(1/2):111-132, 1999.