Eine verteilte Systemarchitektur für IRMA
(Image Retrieval in Medical Applications)

M.O. Güld[1], J. Bredno[1], D. Keysers[2], M. Kohnen[3], C. Thies[1], H. Schubert[3], B. Wein[3], T.M. Lehmann[1]

[1]Institut für Medizinische Informatik
[2]Lehrstuhl für Informatik VI
[3]Klinik für Radiologische Diagnostik
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH), Aachen
Email: mgueld@mi.rwth-aachen.de

Zusammenfassung. Die Realisierung medizinischer Bilddatenbanken mit inhaltsbasiertem Zugriff erfordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Medizin und Informatik. Daher ist für IRMA[1] neben der theoretischen Fundierung des Retrieval-Prozesses die Implementierung einer Entwicklungsplattform von Bedeutung, die neben den klassischen Vorteilen eines verteilten Systems eine einfache interdisziplinäre Kommunikation aller Projektteilnehmer ermöglicht. Hierfür bietet das System automatischen Methodentransfer zur raschen Evaluierung diagnostischer Methoden der Bildverarbeitung in der klinischen Routine.

1 Verteilte medizinische Bilddatenbanken

Da die textuelle Indizierung von Bildern gerade im medizinischen Anwendungsbereich ein Formulierbarkeitsdefizit aufweist, verspricht der inhaltsbasierte Zugriff auf große Bildarchive einen besseren Ansatzpunkt und erhält zunehmend wissenschaftliches Interesse [1]. Das IRMA-Konzept unterteilt den medizinischen Retrieval-Prozeß in einzelne Stufen, die unterschiedliche Abstraktionsebenen des Bildinhalts reflektieren [2]. Dieses theoretische Rahmenwerk wurde als verteiltes System umgesetzt. Anforderungen an die Architektur sind die ausgewogene Nutzung verteilter Rechenleistung, der gemeinsame Zugriff auf den Datenbestand (Bilder und Merkmale) sowie die Verteilung der Methodenentwicklung auf verschiedene Orte an den beteiligten Instituten. Gleichzeitig ist weitestmögliche Transparenz der systemspezifischen Aspekte für den medizinischen Anwender und den Implementierer von Methoden für die Merkmalsextraktion und -auswertung zu gewährleisten. Zum Vergleich befindet sich z.B. in [3] die Beschreibung der freien Retrieval-System-Plattform PICSearch, [4] beschreibt das (nichtmedizinische) Blobworld-System.

2 Realisierung der IRMA-Umgebung

Das System wird über eine zentrale Datenbank gesteuert, auf die alle Dienste und Programme zugreifen. Die Datenbank enthält Verwaltungsinformationen

[1] Das IRMA-Projekt wird gefördert durch die DFG (Le 1108/4).

für alle verteilbaren Ressourcen (Ortstransparenz). Ferner werden über die Datenbank alle vom System zu bearbeitenden Aufgaben (z.B. Merkmalsextraktion, Retrieval-Anfragen) angestoßen und synchronisiert. Verteilbare Ressourcen in IRMA sind Bilder, Merkmalsvektoren, Methoden, Anfragesichten und Jobs. Jede Ressource ist anhand einer systemweit eindeutigen Identifikationsnummer (ID) bzw. einer Kombination dieser ansprechbar. Große Datenobjekte werden außerhalb der Datenbank verwahrt, wobei die Datenbank einen Verweis auf den oder die physikalischen Ablageorte enthält. Jeder Ablageort muß per FTP oder NFS für die übrigen in das System integrierten Rechner verfügbar sein. Für Bilder und Merkmalsvektoren ist Replikationstransparenz implementiert. Die Replikation wird beim jeweiligem Zugriff auf eine dieser Ressourcen implizit durchgeführt. Methoden, die Algorithmen aus Bildverarbeitung, Merkmalsextraktion und Merkmalstransformation kapseln, werden vor Benutzung über das System auf allen angebundenen Rechnern automatisch repliziert. Hierbei ist stets der Standort des Methodenentwicklers die Replikationsquelle, d.h. jeder Entwickler behält die Verantwortung über seine Methode.

3 Verteilung der Ressourcen

Bilder Bilddaten werden als Dateien über das Ablageort-Management verwaltet. Darüber hinaus werden in der Datenbank Informationen über zusätzliche Bildattribute gespeichert, um z.B. Prüfungen durchführen zu können, ohne auf die Bilddatei selbst zugreifen zu müssen.

Methoden Die u.U. komplexen Verfahren zur Bildindizierung werden in eine Kette von hintereinander auszuführenden Methoden zerlegt, wobei eine Methode eine benutzerdefinierte Transformation eines oder, je nach Methodentyp, mehrerer Merkmalsvektoren in einen Ausgabe-Merkmalsvektor darstellt. Ein Ursprungsbild stellt aus Systemsicht einen Merkmalsvektor mit lediglich einem Bildmerkmal dar. Diese Prozeßsicht ist vom theoretischen Konzept des IRMA-Systems unabhängig. Bislang wurden fünf Methodentypen mit entsprechender Schnittstelle zum System definiert: *Lokale Methoden* erzeugen Merkmale pro Pixel. *Globale Methoden* berechnen eine konstante, geringe Anzahl von Merkmalen pro Bild. *Universelle Methoden* berechnen einen Merkmalsvektor aus einer Menge von Eingabevektoren, die aus verschiedenen Bildern resultieren. Verfahren zur statistischen Merkmalsreduktion wie die lineare Diskriminanzanalyse oder die Karhunen-Loève-Transformation sind Vertreter dieses Typs, ebenso Verfahren zum Training von Parametersätzen für Klassifikationsalgorithmen. *Klassifikationsmethoden* erzeugen eine Entscheidung auf Basis des Vektors der Beobachtung für das Klassifikationsmerkmal und eines zuvor trainierten Parametersatzes. *Distanzmethoden* berechnen ein Distanzmaß für zwei Merkmalsvektoren. Methoden dieses Typs werden vom System automatisch in einen NN-Klassifikator (Nearest Neighbor) eingebettet. Methoden können parametriert werden: Das System speichert zu diesem Zweck Parameterinformationen. Da das System in einem heterogenen Rechnerverbund eingesetzt wird, werden Methoden bei Replikation in Quelltextform transferiert: Die vom Benutzer implementierte Funktion wird bei

der Installation automatisch zu einem vom System gestellten Programmrumpf gelinkt. Für jede Methode kann die Schnittstelle zu benötigten und erzeugten Merkmalsvektoren frei definiert und implementiert werden, d.h. eine Methode wird als Box mit einer beliebigen Anzahl von Ein- und Ausgängen, an denen jeweils ein Merkmalsvektor anliegt, modelliert. Diese Verwaltungsinformationen werden in der Datenbank abgelegt, um eine Folge von aufeinander aufbauenden Methodenaufrufen zu ermöglichen. Derartige Verkettungen werden in Anfragesichten definiert.

Anfragesichten Anfragesichten bieten dem Benutzer des Systems die Möglichkeit, den Bildbestand unter einem medizinisch-diagnostischen Aspekt abzufragen. Eine Anfrage stellt die Auswertung von den zu dem Anfragemerkmal berechneten Vektoren dar. Dies kann z.B. der Vergleich der Anfragemerkmale für ein Anfragebild mit den entsprechenden Merkmalen der in der Datenbank gespeicherten Bilder sein (*query-by-example*). Hierzu muß die Erzeugungsvorschrift für das Anfragemerkmal bzw. die Systemantwort auf eine Anfrage festgelegt werden. Dies geschieht durch Kopplung von im Anfragemerkmal resultierenden Methodenaufrufen. Hierbei ist ferner die Parametrierung aller beteiligten Methoden zu fixieren. Weiterhin muß die Menge der Referenzen, d.h. der Bilder, die als Datenbasis für bestimmte Methoden dienen, festegelegt werden. Die reale Anfrage an das System wird als 2-Tupel aus Anfragesicht-ID und Anfragebild-ID gestellt.

Merkmalsvektoren Ein Merkmalsvektor kapselt ein Tupel von berechneten Werten und ist das Resultat eines Methodenaurufs für ein Bild bzw. eine Menge von Bildern innerhalb einer Anfragesicht. Dementsprechend findet der Zugriff auf einen Merkmalsvektor anhand eines 4-Tupels, bestehend aus IDs für Bild, Methode, Anfragesicht und der symbolischen Nummer des "Ausgangs" der Methode, statt. Das System bietet zur Speicherung von Merkmalswerten 5 Datentypen an: Neben den Basistypen *int* (Ganzzahl), *float* (Fließkommazahl) und *string* (Zeichenkette) existieren die Typen *filefeature* für Dateien in einem beliebigen benutzerdefinierten und -implementierten Format sowie *imagefeature* für Bilddateien. Werte zu den 3 Basistypen werden innerhalb der zentralen DB gespeichert, während Datei- und Bildmerkmale analog zu Bildern über das dezentrale Ablageort-Management verwaltet werden.

Jobs Jobs stellen den Aufruf einer Methode bezogen auf ein Bild im Kontext einer Anfragesicht dar und werden demzufolge über 3-Tupel der entsprechenden IDs identifiziert. Alle wartenden Jobs werden in einer Tabelle der Datenbank verwahrt, die von allen Rechnern, die zur Merkmalsberechnung bereitstehen, regelmäßig abgefragt wird. Zur Jobbearbeitung wird auf dem jeweiligen Rechner ein Daemon-Dienst gestartet, der im Hintergrund abläuft und nach Übernahme eines Jobs (die Reservierung wird über die DB signalisiert) die entsprechende Methode ggf. installiert und startet. Die Methodenparameter und Abhängigkeiten der Methode von anderen Mermalen werden anhand der Anfragesicht ermittelt. Liegen alle benötigten Merkmalsvektoren vor, wird die benutzerimplementierte Funktion ausgeführt und der entstehende Merkmalsvektor anschließend im System abgelegt. Einmal gestartet, wird mit der Abarbeitung von Jobs zu der

entsprechenden Methode selbständig fortgefahren. Fehlen benötigte Merkmalsvektoren, werden die entsprechenden Jobs durch die Methode in die DB-Tabelle eingetragen.

4 Diskussion

Die Realisierung des IRMA-Systems zerlegt den Retrieval-Prozeß in eine Folge von Methodenaufrufen, die jeweils eine benutzerdefinierte Merkmalsvektor-Transformation kapseln. Der Kontext des Ablaufs wird über das Anfragesicht-Konzept festgelegt. Eine Anfragesicht verkettet und parametriert einzelne im System abgelegte Methoden und erlaubt so deren Wiederverwendung. Ferner definiert sie aus Benutzersicht einen medizinischen Kontext für den Zugriff auf den Bildbestand. Die vom System zur Verfügung gestellten Methodentypen ermöglichen die integrative Umsetzung aller im IRMA-Konzept definierten Abstraktionsschritte. Das realisierte System bietet die üblichen Vorteile eines verteilten Systems: Parallelitätstransparenz, Ortstransparenz sowie Nebenläufigkeitstransparenz. Es stellt eine kostengünstige und schrittweise erweiterbare Lösung dar. Die zur Realisierung verwendeten Werkzeuge (GNU-C Compiler, PostgreSQL-DBMS, offene Bildformatbibliotheken) ermöglichen eine einfache Portierung im UNIX-Umfeld. Aus Programmierersicht laufen die systemspezifischen Operationen der Methoden transparent ab, so daß er sich auf die medizinischen Bildverarbeitungsalgorithmen konzentrieren kann. Aus Anwendersicht erfolgt eine Anfrage transparent in Bezug auf die Bearbeitung von Jobs (d.h. Methodenaufrufe) und Methodenabhängigkeiten, d.h. der Benutzer spezifiziert lediglich eine Anfragesicht sowie ggf. ein Anfragebild. Gegenüber [5] wurde das System um die Datentypen *imagefeature* und *filefeature*, das Anfragesicht-Konzept, die Verwaltung von Methodenabhängigkeiten, die Verallgemeinerung des Methodenkonzepts sowie die Implementierung von Merkmals- und Bildreplikation erweitert. Für die Zukunft sind u.a. GUI-Unterstützung sowohl für Anfragen als auch die Erzeugung von Anfragesichten geplant.

Literatur

1. Tagare HD, Jaffe CC, Dungan J: Medical Image Databases: A Content-Based Retrieval Approach, JAMIA, Vol. 4, Nr. 3, S. 182-198, 1997
2. Lehmann TM, Wein B, Dahmen J, et al.: Content-based Image Retrieval in Medical Applications: A Novel Multi-step Approach, SPIE Vol. 3972, S. 312-320, 2000
3. Lemström K, Korte J, Kuusi P, et al.: PICSearch - A Platform for Image Content-based Searching Algorithms, 6th International Conference in Central Europe on Computer Graphics and Visualisation (WSCG), S. 222-229, 1998
4. Carson C, Thomas M, Belongie S, et al.: Blobworld: A System for Region-Based Image Indexing and Retrieval, 3rd Int. Conf. on Visual Information Systems, S. 509-516, 1999
5. Bredno J, Vogelsang F, Dahmen, J, et al.: Eine Entwicklungsumgebung für die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Entwicklung des Image-Retrieval-Systems IRMA, in: Evers H, Glombitza G, Lehmann TM, et al. (Hrsg.): Bildverarbeitung für die Medizin, Berlin, 1999, S. 362-366