Eine Entwicklungsumgebung für die interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Entwicklung des Image–Retrieval–Systems IRMA

J. Bredno, F. Vogelsang*, J. Dahmen†, T. Lehmann,
M. Kilbinger*, B. Wein*, R.W.Günther*, H.Ney†, K.Spitzer

Institut für Medizinische Informatik
* Klinik für Radiologische Diagnostik
† Lehrstuhl für Informatik VI
Rheinisch–Westfälische Technische Hochschule (RWTH), 52057 Aachen
Email: jbredno@bootes.imib.rwth-aachen.de

Zusammenfassung. Beim Aufbau eines Image–Retrieval–Systems, das inhaltsbasierte Anfragen an eine medizinische Bilddatenbank erlauben soll, muß das Zusammenführen der interdisziplinären Kompetenzen aller Beteiligten durch eine entsprechend gestaltete Entwicklungsumgebung unterstützt werden. Die Ressourcen eines Image–Retrieval–Systems sind das Bildmaterial, zu den Bildern extrahierte Merkmale inhaltlicher Relevanz und die Algorithmen zur Merkmalsextraktion, die bei den Projektpartnern verteilt zur Verfügung stehen. Eine Entwicklungsumgebung muß im interdisziplinären Rahmen den Austausch dieser Ressourcen möglichst einfach gestalten. Dies erst erlaubt die konstruktive Zusammenarbeit trotz räumlicher Trennung der Partner, die in der klinischen Routine und im Forschungsbereich tätig sind.

Schlüsselwörter: Software Engineering, Image Retrieval, Verteilte Systeme, Interdisziplinäre Entwicklung

1 Einleitung

In einem Röntgenarchiv können bislang Aufnahmen nur dann gezielt aufgefunden werden, wenn Indexeinträge bekannt sind. Dies schränkt den Nutzen des Archivs stark ein. Bisherige Konzepte zum Content–Based Image Retrieval [1], also dem Zugriff auf Bilder aufgrund einer inhaltlichen Beschreibung [2, 3], haben insbesondere für medizinisches Bildmaterial noch nicht zum Erfolg geführt [4]. Das Hauptproblem ist dabei, benötigtes Wissen aus unterschiedlichen Disziplinen zur Entwicklung eines einsatzfähigen Systems zusammenzuführen. Die grundlegende Vorgehensweise beim Image Retrieval besteht darin, bei der Eingabe von Bildern in eine Datenbank Merkmale zu extrahieren und diese in Form eines dimensionsreduzierenden Merkmalsvektors gemeinsam mit dem Bild abzulegen. Eine häufig genutzte Form der Datenbankanfrage ist das *Query–by–Example* (QBE), wobei dem System ein Anfragebild über den Benutzer vorgegeben wird. Der hierzu gehörende Merkmalsvektor wird dann berechnet, mit den in der Datenbank gespeicherten Vektoren verglichen, und es werden die dem Anfragebild ähnlichsten Bilder zurückgeliefert, wobei die Ähnlichkeit von Bildern durch den Einsatz geeigneter Distanzmaße auf den Merkmalsvektoren definiert wird.

Hauptaufgabe des zu entwickelnden Image–Retrieval–Systems ist die Unterstützung medizinisch relevanter Anfragen. Hierzu muß a–priori–Wissen bezüglich der gestellten Anfragen und Bildinhalte eingebracht werden. Dies erfordert eine sehr intensive Zusammenarbeit zwischen Medizinern und Softwareentwicklern, die selten die Möglichkeit haben, über längere Zeit gemeinsam an einem Algorithmus zur Merkmalsextraktion zu arbeiten.

Das IRMA–System (Image Retrieval in Medical Applications an der RWTH Aachen) soll zunächst digitale Röntgenaufnahmen automatisch nach dargestellten Bildinhalten klassifizieren und für diese vorklassifizierten Aufnahmen diagnostisch relevante Anfragen ermöglichen. Eine mögliche Bildinformation zur Klassifikation ist die Textur [5]. In diesem Beitrag wird eine Entwicklungsumgebung vorgestellt, die durch einen selbständigen Methodenaustausch die Interdisziplinarität des Projektes und die unterschiedlichen Qualifikationen der Entwickler unterstützt.

2 Methode

Ein Image–Retrieval–System muß unterschiedlichste Daten als zu verteilende Ressourcen ablegen und verwalten. Die Bilder sind heterogen, neben primär digitalen DICOM–Daten müssen auch sekundär digitalisierte Bilder verarbeitet werden können. Zu Bildern sind die Merkmalsvektoren, üblicherweise von geringerer Dimension als die Bilder selbst [6], präsent zu halten, damit diese bei einer Anfrage nicht neu zu berechnen sind. Im vorgestellten System sind auch die Extraktionsalgorithmen zur Merkmalsbestimmung Ressourcen, die in der Datenbank mit abgelegt werden müssen.

Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau der Datenbank. Die heterogenen Bilder werden über eine Liste von Dateinamen verwaltet. Zu diesen Bildern werden Informationen über Format und Größe abgelegt. Mit der Bildwertrepräsentation ist bekannt, ob ein Bild Graustufen, Farbwerte oder multimodale Bildinformationen enthält, und welchen Datentyp diese Werte haben. Mit diesen Informationen kann dann festgestellt werden, welche Merkmalsextraktionsverfahren auf einzelne Bilder angewendet werden können. Dies ist wichtig, da in einem heterogenen System nicht alle Extraktionsverfahren sinnvoll mit jedem Bild kombiniert werden können. Die Verfügbarkeit der Bilder wird über die Verwaltung von Bildquellen sichergestellt. Hier sind Rechner und Verzeichnisse oder auch wechselbare Datenmedien, beispielsweise für eine konkrete Problemstellung zusammengestellte CDs, abgelegt. Merkmalsvektoren sind jeweils genau einem Bild und einem Extraktionsverfahren zugeordnet. Zusätzlich wird eine Liste an noch durchzuführenden Merkmalsextraktionen geführt. Extraktionsverfahren werden über den Dateinamen eines ausführbaren Programms verwaltet, das über Parametrisierungen Merkmale verschiedener Eigenschaften extrahieren kann. Zu Extraktionsverfahren müssen die Quelldateien verfügbar sein, um einen automatischen Methodenaustausch zu gewährleisten.

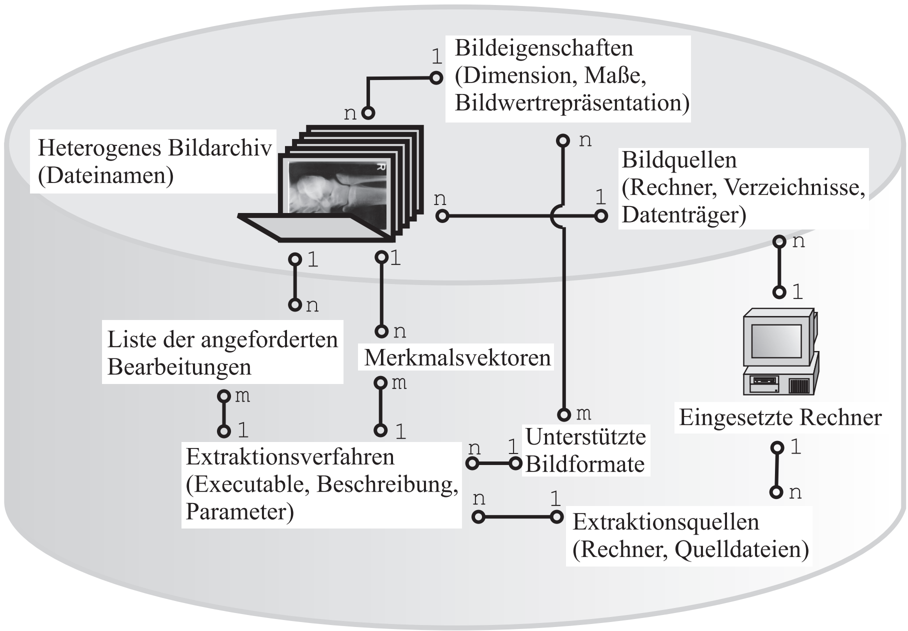

Abb. 1. Schematischer Aufbau der Datenbank

Zur Datenhaltung und Bereitstellung der Einträge wurde eine SQL–Datenbank aufgebaut. Der Datenbankserver steht zur Zeit am Institut für Medizinische Informatik, Zugriff auf die Daten wird über die Netzwerkadressen der anfordernden Client–Rechner und eine Nutzerverwaltung geregelt. In der Entwicklungsphase werden ausschließlich mit etablierten Methoden anonymisierte Röntgenbilder ohne Patientenbezug und Bilder aus frei verfügbaren Falldatensammlungen eingesetzt. Die zur Zeit verwendete SQL–Datenbank kann in einer späteren Projektphase durch ein kommerzielles und für patientenrelevante Daten zertifiziertes Softwareprodukt ersetzt und in das spezifische Sicherheitskonzept eines beispielsweise über Firewall-Rechner geschützten Krankenhausinformationssystems integriert werden.

Durch den heterogenen Aufbau der Rechnersysteme bei den beteiligten Projektpartnern war es von vorneherein ausgeschlossen, Extraktionsalgorithmen in binärer Form auszutauschen. Die Entwicklungsumgebung wurde daher mit einem hohen Abstraktionsgrad realisiert, so daß eine Source–Kompatibilität für alle beteiligten Rechnersysteme erreicht werden konnte. Merkmalsextraktionsverfahren, die so weit fertiggestellt sind, daß die Relevanz durch einen befundenden Mediziner beurteilt werden kann, werden in der Datenbank eingetragen. Für die Extraktionsalgorithmen wurde dabei eine Zugriffs– und auch Replikationstransparenz implementiert. Wenn zum Zeitpunkt einer Retrieval–Anfrage ein Extraktionsalgorithmus auf dem anfragenden Rechner nicht zur Verfügung steht, in der Datenbank aber die Existenz des Verfahrens dokumentiert ist, dann wird automatisch eine FTP–Verbindung zu dem Rechner aufgebaut, auf dem die Sourcen für das Verfahren verfügbar sind. Diese werden auf dem lokalen Rechner an einer definierten Stelle abgelegt. In Abhängigkeit der gelesenen Sourcen wird automatisch ein Makefile generiert, mit dem das Compilieren und Linken der erhaltenen Sourcen zu einem Executable durchgeführt wird. Der Nutzer des Extraktionsverfahrens muß kein Wissen über diese systemnahen Vorgänge einbringen, dieses Wissen wird bei der Installation Bestandteil des Systems.

Die Entwicklungumgebung ist auf nur wenige installierte Komponenten wie einen C++–Compiler, ein Make–Utility und die frei verfügbare Datenbank postgreSQL [7] angewiesen. Ein wesentlicher Bestandteil ist die Rahmenapplikation, die beliebige Bilder und Algorithmen zur Merkmalsextraktion kombiniert. Für jeden der Projektpartner stehen alle in der Datenbank eingetragenen Bilder zur Verfügung. Diese werden bei Bedarf ebenfalls automatisch über das Hochschulnetz ausgetauscht, ohne daß hierzu andere Nutzerinteraktion als das Eingeben eines FTP–Paßwortes erforderlich ist. Extrahierte Merkmalsvektoren werden in der Datenbank abgelegt und stehen damit für Recherchen, beispielsweise einem QBE, bei allen Projektpartnern ohne erneute Bearbeitung zur Verfügung. Die nötigen Schritte zum QBE werden von der Rahmenapplikation organisiert, welche bei Bedarf auch noch Extraktionsverfahren zu den Bildern der Recherche startet, wenn zugehörige Merkmalsvektoren fehlen oder nach einer Änderung des Verfahrens aktualisiert werden müssen.

Die beschriebene SQL–Datenbank wurde am Institut für Medizinische Informatik installiert, alle Projektpartner können darauf zugreifen. Wenn Einträge in der Datenbank auf Bilder oder Extraktionsverfahren verweisen, die bei einem Projektpartner nicht verfügbar sind, erfolgt die automatische Übertragung. Aufgrund der konsequenten Zugriffstransparenz benötigt der Nutzer für diesen Vorgang kein Wissen über die physische Lage der Dateien auf dem lokalen Rechner oder dem FTP–Server. Jeder beteiligte Rechner kann hierbei FTP–Server sein. In der Datenbank ist abgelegt, von welchem Rechner Extraktionsquelldateien und Bilder bereitgestellt werden.

Da die Merkmalsextraktionsalgorithmen die Aufgabe haben, eine Dimensionsreduktion umfangreicher Bilddaten unter Einbeziehung von a–priori–Wissen durchzuführen, benötigen schon einzelne Bilder oftmals eine nicht unerhebliche Rechenzeit. In der Entwicklung der Algorithmen ist die Evaluation durch die Entwickler aus unterschiedlichen Disziplinen ein wichtiger Schritt, für den immer möglichst viele Bilder aus der Datenbank bearbeitet werden müssen. Um die Rechenzeit hier zu verringern, wurden Hintergrundprozesse entwickelt. Diese Prozesse können auf mehreren Rechnern vor einer Merkmalsextraktion gestartet werden. Sie führen dann ein regelmäßiges "Polling" der Datenbanktabelle von zu bearbeitenden Bildern für Merkmalsextraktionsverfahren durch. Wenn hier Einträge gefunden werden, wird der Extraktionsalgorithmus gestartet, die dazu benötigten Koordinationsschritte wurden in die Kapselung zum Aufruf eines

Extraktionsverfahrens integriert.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Leistungsfähigkeit und Praxistauglichkeit der Entwicklungsumgebung wurde anhand exemplarischer Fragestellungen getestet und nachgewiesen. Die Installation auf einem neuen Rechnersystem nimmt etwa zwei Stunden in Anspruch, eine Einarbeitung in die Erstellung von Extraktionsalgorithmen kann in wenigen Minuten erfolgen. Mit diesem schnellen Methodenaustausch konnte der Wissenstransfer zwischen den Projektpartnern aus den Disziplinen Medizin, Informatik und Ingenieurwissenschaften deutlich verbessert werden.

Bei der Entwicklung diagnostisch relevanter Merkmalsextraktionen kann ein neu realisierter Algorithmus direkt in der Klinik für Radiologische Diagnostik eingesetzt werden. Der Entwickler, der nicht über medizinisches Fachwissen verfügt, erhält so schnellstmöglich die Rückmeldung des Radiologen, von dem wiederum kein Wissen über das Rechnersystem und die Compilierung von Programmen gefordert wird. Damit wird es erstmalig möglich, in einem Image–Retrieval–System Bildmerkmale zu extrahieren, die diagnostisch relevante Bildähnlichkeit gut widerspiegeln. Die Entwicklungsumgebung gibt entscheidende Entlastung beim imterdisziplinären Austausch von Fachkenntnis für das Image Retrieval in Medical Applications (IRMA).

Literatur

1. Flickner M, Sawhney H, Niblack W, Ashley J, Huang Q, Dom B, Gorkani M, Hafner J, Lee D, Petkovic D, Steele D,Yanker P: Query by image and video content: The QBIC–system. Technical report RJ 9949 (87908), IBM Almaden Research Center, San Jose, 1995.
2. Doermann D: The indexing and retrieval of document images: A survey. Computer Vision and Image Understanding, 70(3):287–298, 1998.
3. De Marsicoi M, Cinque K, Levialdi S: Indexing pictorial documents by their content: a survey of current techniques. Image and Vision Computing, 15:119–141, 1997.
4. Dahmen J, Lehmann T, Spitzer K, Ney H: Image Retrieval für klinische Bilddatenbanken. In Lehmann T, Metzler V, Spitzer K, Tolxdorff T (Hrsg.) Bildverarbeitung für die Medizin 1998, 442–446, Springer–Verlag, Berlin, 1998.
5. Vogelsang F, Weiler F, Wein B, Kilbinger M, Günther RW: Determination of x-ray image classes by measurement of texture and shape. In Bartolozzi C, Caramella D (Hrsg.) 15th International EuroPACS Meeting, 61–64, Pisa, 1997.
6. Dahmen J, Beulen K, Ney H: Objektklassifikation mit Mischverteilung. In Levi P, Ahlers RJ, May F, Schanz M (Hrsg.) Mustererkennung 1998, 167–174, Springer–Verlag, Berlin, 1998.
7. Lockhart T (ed.): PostgreSQL Tutorial. Technischer Bericht des PostgreSQL Development Team, http://www.postresql.org/index.html, 1998.