

Sviluppo di una procedura Web per l'ausilio alla diagnosi di enfisema su immagini TC

Tiziana Amendola, Massimo Chimenti, Enrico Fantini, Marco Tampucci
Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo" (ISTI-CNR)

Sommario

Grazie all'introduzione di sistemi di rilevamento e algoritmi di ricostruzione che consentono la vista tridimensionale delle strutture anatomiche e della loro funzionalità, durante l'ultimo decennio, le soluzioni di immagine per pubblicazioni mediche hanno subito una larga espansione e diffusione.

L'enorme quantità di dati disponibili per un singolo esame diagnostico richiede lo sviluppo di software in grado di memorizzare i risultati di analisi eseguite su immagini acquisite.

Questo articolo descrive un'infrastruttura web per l'analisi di immagini radiologiche del torace ottenute attraverso la tomografia computerizzata (CT) con acquisizione volumetrica. In particolare, l'infrastruttura è in grado di effettuare l'analisi densitometrica del polmone per la diagnosi e il controllo dell'enfisema polmonare. L'infrastruttura è stata realizzata come una versione aggiornata di un'unica offline condividendo, con essa, le tecniche di immagine [1].

Abstract

Thanks to the introduction of detection systems and reconstruction algorithms that allow three-dimensional views of anatomical structures and their functionalities, during the last decade, the imaging solutions for medical issues have suffered a wide expansion and diffusion.

The huge amount of available data for a single diagnostic exam requires the development of software able to store the analysis results performed on the acquired images.

This article describes a Web infrastructure for the analysis of thorax radiological images obtained through computed tomography (CT) with volumetric acquisition. In particular, the infrastructure is able to perform lung densitometry analysis for pulmonary emphysema diagnosis and follow-up. The infrastructure has been realized as an upgraded version of an offline one sharing, with it, the imaging techniques [1].

Parole chiave: Image analysis, infrastruttura Web, CT elaborazione dell'immagine, DICOM, diagnosi di enfisema, immagine di segmentazione, analisi di Blob

1 Introduzione

La broncopneumopatia cronica ostruttiva (COPD) è caratterizzata da un'ostruzione del flusso d'aria respiratorio parzialmente reversibile o non reversibile dovuto all'aumento della resistenza del flusso secondario combinato con la perdita di elasticità causata dall'enfisema polmonare. Mentre la COPD è diagnosticabile attraverso un esame spirometrico, l'enfisema, causato da un'alterazione strutturale del polmone, può essere diagnosticato attraverso tecniche che consentano un esame della struttura del polmone.

La CT è la tecnica più accurata per la diagnosi dell'enfisema: utilizzando parametri adatti, le regioni enfisematose vengono visualizzate come aree di attenuazione ridotta. Queste regioni possono essere valutate in modo oggettivo utilizzando tecniche di elaborazione d'immagini basate sull'analisi fotometrica, selezionando dei valori di soglia che dipendono dalle modalità di costruzione delle immagini CT e dalle consistenze dei tessuti esaminati [2, 3].

Per rendere disponibili su larga scala i vantaggi offerti da queste tecniche è stata sviluppata un'infrastruttura Web per supportare la diagnosi e la valutazione quantitativa dell'enfisema polmonare sulle CT del torace. Essa è in grado di fornire un insieme di funzionalità che caratterizzano il numero, la forma e la distribuzione delle regioni di attenuazione ridotta identificate attraverso le scansioni assiali del paziente. L'infrastruttura è stata realizzata Web orientata al fine di garantire la sua portabilità, accessibilità e per renderla facilmente collegabile con sistemi esterni, quali server DICOM [5] e Sistema di Informazione di Radiologia (RIS) [6]. Al giorno d'oggi l'infrastruttura sfrutta un server DICOM per la gestione delle immagini CT [7].

2 Procedura di analisi

Un'immagine CT è prodotta da un algoritmo di ricostruzione basato sulla back-projection, che consente di assegnare a ciascun pixel il valore del coefficiente di attenuazione lineare del corrispondente tessuto. Normalmente questi valori sono proiettati sulla scala Hounsfield, ottenendo così valori HU nell'intervallo compreso tra -1000, in corrispondenza di acqua, e 3000, in corrispondenza di tessuto osseo con alta densità.

Le immagini sono rappresentate mediante una scala di valori di luminanza, e per un esame dettagliato si sceglie una finestra HU in base al tipo di tessuto da esaminare: la finestra è normalmente definita mediante i valori di C (valore centrale) e W (larghezza).

Nella nostra applicazione le immagini d'ingresso, con dimensioni 512x512 ed espresse nel formato DICOM, sono state convertite nel formato Bitmap con 256 valori di luminanza per pixel, scegliendo la finestra di rappresentazione più adatta per l'esame dei tessuti polmonari: si sono scelti $C = -512$ e $W = 1024$.

L'analisi automatica delle immagini CT mira ad identificare le aree di attenuazione ridotta che caratterizzano l'enfisema polmonare mediante un confronto dei valori di luminanza dei pixel con opportuni valori di soglia: è così possibile discriminare inizialmente il tessuto polmonare (parenchima) rispetto ai tessuti che lo circondano (ossa, muscoli, grasso), e rilevare quindi in questa regione i pixel con basso valore di luminanza, causato da un basso coefficiente di attenuazione.

Si può quindi calcolare il parametro RAI (Indice Relativo di Attenuazione), dato dal rapporto tra il numero complessivo dei pixel con basso valore di luminanza e l'area del parenchima: questo parametro è indipendente dall'anatomia del paziente e dal numero di immagini ottenute durante l'esame.

Un'ulteriore caratterizzazione dello stato del parenchima è ottenuta mediante la blob analisi: con questa tecnica si individuano gli aggregati di pixel (blob, Binary Object) con valore di luminanza inferiore alla soglia stabilita e se ne ricavano le relative caratteristiche, come forma, dimensioni e localizzazione.

A causa del gran numero di immagini che compongono un esame (circa 900), l'identificazione del parenchima e la blob analisi devono essere eseguite in concomitanza con la conversione dell'immagine. Infine, una volta che l'analisi è stata effettuata su tutte le immagini in esame la procedura analizzerà i risultati ottenuti al fine di valutare se il paziente soffre di enfisema polmonare o meno.

La procedura, messa a punto sulla base di osservazioni precedenti, elabora la sequenza di immagini del paziente in esame e restituisce i seguenti di parametri.

- A_p = area del parenchima
- A_b = area dei blob
- N_b = numero di blob rilevati all'interno del parenchima
- $RAI = A_b / A_p$
- Area media blob: $m_b = A_b / N_b$
- Densità blob: $D_b = N_b / A_p$

La procedura calcola per ogni paziente l'istogramma dei valori di area dei blob in base alle impostazioni dell'utente relative al numero di classi e alle dimensioni minima e massima dei blob da elaborare; si ottengono anche alcuni momenti descrittivi dell'istogramma, costituiti da valore medio, varianza, deviazione standard, asimmetria e kurtosis.

3 Architettura del sistema

L'infrastruttura è stata progettata e sviluppata secondo il modello Model-View-Controller. Come mostrato in fig. 1, l'architettura del sistema è costituita da due componenti principali, il *Service Provider* (Controller) e la *User Interface* (View), e dalla componente esterna *CT Image Manager* (Model).

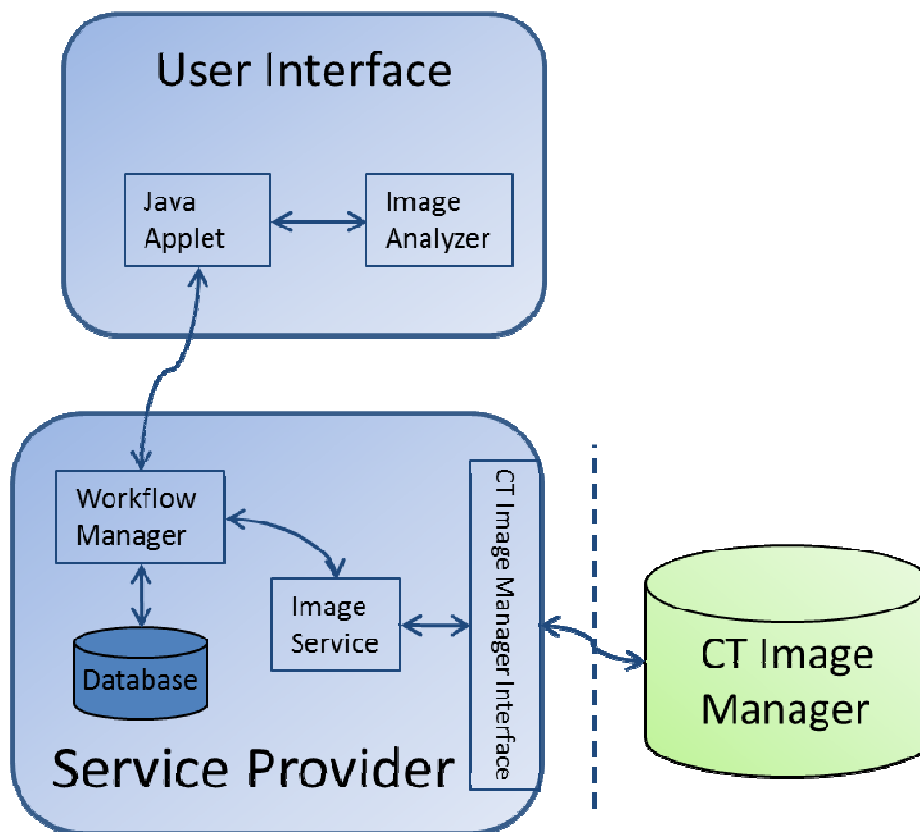


Figura 1. Architettura del sistema.

Il *Service Provider* ha il compito di soddisfare le richieste effettuate dall'utente, gestire il flusso di lavoro globale del sistema, recuperare le immagini DICOM e memorizzare i risultati di elaborazione nella banca dati interna, attraverso le sue componenti:

- Il *Workflow Manager* (Gestore del flusso di lavoro), che gestisce i collegamenti tra componenti e interfaccia utente. Al fine di soddisfare le richieste degli utenti, esso comunica con l'*Image Service* per recuperare le immagini DICOM corrette dal gestore esterno di immagini CT. Terminata l'analisi esso ha il compito di memorizzare i risultati nel database interno.
- L'*Image Service*, che riceve le richieste dal *Workflow Manager* e recupera le immagini DICOM necessarie attraverso la corretta *CT Image Manager Interface*. Per diminuire la dimensione delle immagini trasferite e facilitare la loro analisi, l'*Image Service* le converte da DICOM a bitmap. Esso ha anche il compito di estrarre le immagini selezionate dalla sequenza di studio.

- Il *Database*, realizzato sfruttando DBMS Postgre SQL [8], che gestisce le informazioni dell'utente necessarie per la loro autenticazione e i risultati dell'analisi.
- La *CT Image Manager Interface*, costituita da un insieme di componenti che interagiscono con diversi CT Image Manager esterni. Ognuna è dedicata a un Image Manager CT e si interroga per recuperare le immagini DICOM richieste dall'utente.

La *User Interface* gestisce l'interazione degli utenti col sistema ed è anche utilizzata per effettuare l'analisi delle immagini fornite dal *Service Provider*.

- Le applet Java forniscono direttamente l'interfaccia per sfruttare le funzionalità del sistema, ma si occupano anche di gestire parte del flusso di lavoro degli utenti e la connessione con il *Service Provider* e l'analizzatore di immagini.
- L'analizzatore d'immagini ha la funzione di analizzare le diverse immagini CT richieste dall'utente. A causa della grande quantità di immagini che compongono uno studio TC, l'analizzatore di immagini è stato sviluppato sfruttando la tecnologia thread al fine di aumentare le prestazioni del sistema, consentendo contemporaneamente l'analisi. Con il decentramento dell'analizzatore di immagini nella componente dell'interfaccia utente, si evitano i problemi di prestazioni che si avrebbero con un calcolatore centralizzato.

L'infrastruttura è stata realizzata considerando il *CT Image Manager* come una componente esterna. Il *CT Image Manager* è responsabile della gestione delle immagini DICOM ed è interrogato dal sistema, attraverso un'apposita interfaccia, al fine di recuperare le immagini necessarie. Grazie a questa struttura la portabilità e la riusabilità sono migliorate e, attraverso la corretta interfaccia del *CT Image Manager*, il sistema può essere facilmente interfacciato con i diversi *CT Image Manager* adottati dagli ospedali, senza dover modificare altri componenti.

4 Flusso del sistema

Per impedire l'accesso non autorizzato al sistema e ai dati del paziente e per mantenere l'anonimato delle informazioni del paziente, il sistema utilizza un Identificatore Universale del Paziente (UID) per identificare il paziente tra le componenti globali, e richiede all'utente di essere autenticato per poter sfruttare le sue funzionalità.

L'utente accede all'infrastruttura tramite l'interfaccia. L'utente ed i suoi diritti sono riconosciuti controllando le informazioni memorizzate nel database interno. Una volta autenticato, l'utente seleziona uno studio CT da analizzare. La richiesta dell'utente, l'identificazione del paziente (UID) e quella dello studio CT ID (CTID) vengono inviate dalle Applet Java al *Workflow Manager* localizzato nel *Service Provider* centrale. Al fine di risolvere la richiesta dell'utente, il *Workflow Manager* contatta l'*Image Service* che si occupa di recuperare le immagini necessarie. L'*Image Service*, attraverso l'Interfaccia del *CT Image Manager*, recupera una sequenza di immagini a bassa qualità DICOM che compongono lo studio di TC. La sequenza di immagini viene inviata alle Applet Java.

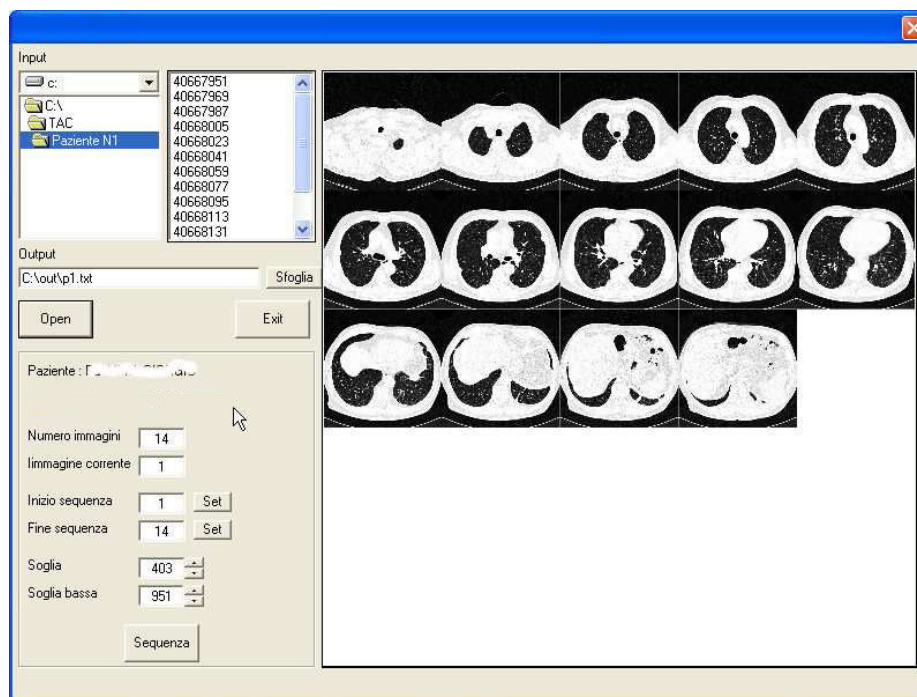


Figura 2. Selezione sottosequenza.

Al fine di impedire l'analisi di immagini CT non valide (ad esempio quelle che non contengono zone di interesse), che potrebbero compromettere il risultato complessivo dell'analisi, l'utente può scegliere la sottosequenza di immagini da analizzare. Il sistema, attraverso l'interfaccia, mostra l'intera sequenza d'immagini dell'esame e l'utente può selezionare la prima e l'ultima immagine della sottosequenza desiderata (vedi Fig. 2). Gli ID delle due immagini selezionate vengono inviati all'*Image Service*, attraverso il *Workflow Manager*, che li utilizza per determinare la sottosequenza scelta dall'utente e recuperare correttamente, attraverso l'interfaccia del *CT Image Manager*, le immagini DICOM da

analizzare. Al termine del trasferimento l'*Image Service* converte le immagini in formato Bitmap e le invia alla *User Interface* che la analizza.

Al termine dell'analisi dell'intera sequenza di immagini, i risultati vengono memorizzati nel database interno; per ciascun esame si ha un file che contiene:

- *Dati generali* come paziente UID, area del parenchima e area blob, RAI, numero di immagini analizzate, numero di blob, valori di soglia
- *Dati statistici* quali media, varianza, deviazione standard, asimmetria e kurtosis
- *Valori* per la ricostruzione dell'istogramma

Se è necessario, l'utente può scaricare il file come documento.

5 Conclusioni

L'infrastruttura sviluppata è in grado di gestire la grande quantità di dati ottenuti dalle scansioni CT del torace, attraverso la componente *CT Image Manager Interface*; l'infrastruttura è facilmente interfacciabile con i diversi *CT Image Manager* utilizzati dagli ospedali, promuovendo la sua portabilità e la diffusione. Grazie all'interfaccia utente realizzata sfruttando la tecnologia Applet Java, il medico può accedere al sistema senza alcuna restrizione di luogo e installazione del software.

L'infrastruttura può essere efficacemente usata sia con finalità di studio che durante l'attività diagnostica. Nel primo caso, il sistema può essere interfacciato con un *CT Image Manager* locale e l'utente può valutare come cambiano i risultati modificando i parametri della procedura di analisi (valori di soglia, classificazione di blob, ecc), o studiare la correlazione o la complementarietà dei parametri ottenuti. Nel secondo caso, il sistema si interfaccia con il *CT Image Manager* dell'ospedale e il medico può selezionare l'esame desiderato e analizzarlo attraverso l'interfaccia Applet Java.

Il risultato ottenuto può essere utilizzato come un suggerimento durante la diagnosi.

Riferimenti

1. M. Chimenti, E. Fantini, M. Miniati, S. Monti: A procedure for the numeric analysis of pulmonary tissue in CT images. Technical Report, National Research Council of Italy (2008).
2. G. K. Kemerink et al: CT Densitometry of the Lungs: Scanner Performance. *J. of Computer Assisted Tomography*, vol. 20, n. 1, pp. 24-33 (1996)
3. G. K. Kemerink et al: CT Lung Densitometry: Dependence of CT Number Histograms on Sample Volume and Consequences for Scan Protocol Comparability. *J. of Computer Assisted Tomography*, vol. 21, n. 6, pp. 948-954 (1997)
4. M. Mishima et al: Complexity of terminal airspace geometry assessed by lung computed tomography in normal subjects and patients with chronic obstructive pulmonary disease. In: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol.96, pp. 8829-8834 (1999)
5. Digital Imaging and Communication in Medicine, <http://medical.nema.org/>
6. The Royal College of Radiologists: Radiology information systems. Technical report, The Royal College of Radiologists (2008)
7. Open Source Clinical Image and Object Management, <http://www.dcm4che.org/>
8. Open Source Object-Relational Database Management System, <http://www.postgresql.org/>