

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA NUMERO	**102006901399468**
Data Deposito	**24/03/2006**
Data Pubblicazione	**24/09/2007**

Titolo

PROCEDIMENTO E SISTEMA PER IL RICONOSCIMENTO AUTOMATICO DI ANOMALIE PRENEOPLASTICHE IN STRUTTURE ANATOMICHE, E RELATIVO PROGRAMMA PER ELABORATORE.

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo: "Procedimento e sistema per il riconoscimento automatico di anomalie preneoplastiche in strutture anatomiche, e relativo programma per elaboratore"

di: I-MED S.r.l., nazionalità italiana, via Principe Amedeo 12, 10123 TORINO

Inventore designato: Silvano AGLIOZZO

Depositata il: 24 Marzo 2006 TO 2006 A 000223

* * *

DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda l'elaborazione di immagini e specificamente il riconoscimento di oggetti e/o strutture nelle immagini, ed in particolare di formazioni rappresentative di anomalie in strutture anatomiche.

Più specificamente, essa riguarda un procedimento per il riconoscimento automatico di anomalie in strutture anatomiche ed in particolare di lesioni preneoplastiche del colon-retto secondo il preambolo della rivendicazione 1, nonché un sistema di elaborazione ed un programma per elaboratore per l'attuazione del suddetto procedimento.

Sono noti in generale procedimenti, sistemi e programmi per elaboratori per l'identificazione di lesioni tridimensionali in organi e tessuti del

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

corpo umano mediante l'analisi di rappresentazioni digitali di una struttura anatomica ed una successiva classificazione delle anomalie rilevate.

Il carcinoma colorettale rappresenta oggi la seconda causa di mortalità neoplastica nel mondo. Recentemente si sono affermate modalità diagnostiche meno invasive rispetto ai tradizionali esami medici di colonscopia, che consentono l'esplorazione dell'intero colon senza necessitare dell'introduzione di sonde che possono infastidire il paziente e, al limite, danneggiare i tessuti (perforazione, emorragia) comportando severe complicazioni.

Tali modalità diagnostiche sfruttano tecniche radiodiagnostiche per effettuare una cosiddetta "endoscopia virtuale". Secondo questa tecnica è possibile ottenere una visualizzazione degli organi del paziente, simile a quella delle procedure endoscopiche tradizionali, attraverso l'elaborazione tridimensionale di una serie di immagini ottenute mediante Tomografia Computerizzata (TC).

Attualmente sono in uso sistemi che effettuano una colonscopia virtuale (CV). Questo tipo di navigazione virtuale all'interno del lume del colon porta tuttavia ad effettuare sui pazienti esami molto lunghi a causa dei tempi di elaborazione del-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

le immagini e di lettura da parte del medico, poiché è necessario percorrere l'intera lunghezza del colon (1,5 metri circa).

Sono noti sistemi automatici che effettuano il riconoscimento e l'estrazione dell'immagine del colon a partire dall'insieme di dati di immagini ricavati dalla tomografia computerizzata sfruttando le differenze di intensità di assorbimento dei raggi X da parte dell'aria contenuta nel lume del colon e da parte del tessuto del colon stesso.

In particolare, viene eseguita una operazione di segmentazione della superficie interna del colon. La segmentazione è un'operazione dedicata all'estrazione di parti di immagine costituenti regioni omogenee sulla base di un prefissato criterio di appartenenza degli elementi di immagine ad una regione, per cui è estratta l'immagine della superficie interna del colon dall'immagine tridimensionale complessiva ottenuta per tomografia, riconoscendo ed eliminando i volumi d'aria esterna al paziente, i volumi d'aria interna ai polmoni, le regioni di grasso e muscoli ed infine il volume d'aria interno al colon stesso, in funzione delle differenze di intensità di assorbimento della radiazione X tra le suddette regioni.

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

Ottenuta la superficie interna del colon tali sistemi automatici effettuano una caratterizzazione quantitativa dello stesso, calcolando alcune proprietà morfologiche degli elementi di volume (tecnicamente: voxel) riconosciuti appartenenti ad essa. Queste proprietà vengono utilizzate per distinguere il tessuto sano da quello potenzialmente malato e dai residui fecali.

Un metodo per l'analisi tridimensionale di lesioni di organi operante come sopra detto è descritto, ad esempio, nella domanda di brevetto americana US 2003/0223627 A1.

Le soluzioni proposte fino a questo momento per eseguire un'identificazione automatica delle lesioni neo-plastiche al colon (polipi) hanno il grande inconveniente che l'interpretazione delle immagini può essere complessa e difficoltosa in presenza di numerose alterazioni della superficie, che possono essere riconducibili a polipi, ma anche ad artefatti (feci, artefatti da movimento, ecc.) generanti una percentuale di errore inaccettabile (falsi positivi e falsi negativi).

Scopo dell'invenzione è quello di fornire una metodologia di riconoscimento automatico di formazioni rappresentative di anomalie in strutture ana-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

tomiche, ed in particolare di lesioni preneoplastiche nel colon-retto, che sopperisca ai limiti della tecnica nota.

Questo ed altri scopi vengono realizzati secondo l'invenzione attraverso un procedimento le cui caratteristiche principali sono definite nella rivendicazione 1.

Formano ulteriore oggetto dell'invenzione un sistema di elaborazione ed un programma per elaboratore per l'attuazione del suddetto procedimento, come rivendicato.

In sintesi, l'invenzione si basa sull'esecuzione di una operazione di segmentazione di potenziali formazioni anomale in una struttura anatomica estratta da un'immagine, secondo una tecnica di agglomerazione a passi successivi.

Nel caso specifico, è sfruttata l'intensità di assorbimento della radiazione X di cui si avvale la tecnica di tomografia per l'acquisizione e rappresentazione di immagini degli organi interni di un paziente, ma può trattarsi - analogamente - della risposta di oggetti ad altre radiazioni diagnostiche e, più in generale, della risposta di oggetti presenti nel campo di indagine, dovuta all'interazione tra gli oggetti ed una radiazione

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

elettromagnetica di eccitazione incidente su di essi, ad esempio il colore degli oggetti (caratterizzato da lunghezza d'onda ed intensità) determinato dalla riflessione da parte di essi di una radiazione luminosa incidente.

Vantaggiosamente, nell'impiego attualmente previsto alla colonscopia virtuale, la fase di segmentazione di potenziali formazioni anomale per agglomerazioni successive è in grado di ricostruire con maggior accuratezza tali formazioni, permettendo così di distinguere meglio gli eventuali polipi presenti da altre variazioni geometriche della superficie interna del colon aventi differenti caratteristiche morfologiche e differente origine.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione appariranno dalla descrizione dettagliata che segue, effettuata a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

la figura 1 è un diagramma di flusso del procedimento oggetto dell'invenzione;

la figura 2 è una rappresentazione di cinque diversi tipi di superficie caratterizzati dal corrispondente indice di forma, utilizzati per il riconoscimento di anomalie in strutture anatomiche; e

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

la figura 3 è uno schema di un sistema di elaborazione per il riconoscimento di lesioni preneoplastiche del colon retto secondo l'invenzione.

Con riferimento alla figura 1, il procedimento oggetto dell'invenzione ha origine dall'acquisizione di dati di immagini di Tomografia Computerizzata al passo 10, quindi al passo 20, sulla base delle immagini acquisite, è eseguita la segmentazione della superficie interna del colon mediante un algoritmo di "region growing".

Al passo 30 successivo si calcolano prestabiliti parametri geometrici dei voxel riconosciuti appartenenti alla superficie interna del colon e si selezionano i voxel candidati ad appartenere a regioni di polipi (passo 40).

Al passo 50 è eseguito un successivo processo di crescita di regioni adiacenti ai voxel selezionati e le regioni accresciute nell'intorno dei voxel candidati sono ulteriormente agglomerate in unità di analisi (passo 60).

Infine, si procede con la classificazione finale delle unità di analisi (passo 70) come polipi o artefatti non significativi.

Vengono ora descritti in dettaglio i vari passi rappresentati nel diagramma di flusso della fi-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

gura 1, sopra brevemente elencati.

Acquisiti i dati della Tomografia Computerizzata nel formato medico standard DICOM, essi sono innanzitutto convertiti in un formato adatto ad essere elaborato da un programma di rappresentazione e visualizzazione di immagini.

La successiva fase del procedimento consiste nella segmentazione automatica della superficie del colon, a partire dai dati di immagine convertiti. Tale procedura è eseguita sulla base di algoritmi di accrescimento ("region growing") noti in letteratura.

Ricavati i voxel della superficie interna del colon attraverso la fase di segmentazione se ne determinano prestabilite proprietà di riconoscimento, tra le quali le principali sono le caratteristiche geometriche, gli istogrammi di intensità dell'assorbimento dei raggi X, l'analisi statistica della tessitura tramite parametri quali, ad esempio, il contrasto, la correlazione, l'energia, l'entropia, l'omogeneità locale.

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche vengono calcolati preferibilmente l'indice di forma (SI) e la curvatura (CV). Questi parametri permettono di distinguere eventuali polipi presenti

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

all'interno del colon da strutture geometriche di curvatura e forma differente.

L'indice di forma e la curvatura sono espressi in funzione delle curvature locali su piani ortogonali k_{max} e k_{min} di una struttura, attraverso le seguenti equazioni:

$$SI(p) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \arctan \frac{k_{\max}(p) + k_{\min}(p)}{k_{\max}(p) - k_{\min}(p)}$$

$$CV(p) = \frac{2}{\pi} \ln \sqrt{\frac{k_{\max}(p)^2 + k_{\min}(p)^2}{2}}$$

dove p è la posizione del voxel.

L'indice di forma classifica la forma topologica volumetrica nella posizione p del voxel in cinque classi, generalmente note come: "cup", "rut", "saddle", "ridge", e "cap" (vedere figura 2). I valori più grandi di indice di forma corrispondono ad una forma di tipo "cap" e sono particolarmente interessanti perché molti polipi esibiscono questa forma.

Il parametro di curvatura caratterizza la grandezza dell'effettiva curvatura nel voxel e quindi fornisce una stima locale di quanto la su-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

perficie è curva nel voxel.

I parametri SI e CV richiedono il calcolo delle curvature principali k_{max} e k_{min} che a loro volta richiedono il calcolo delle derivate prime e seconde parziali della superficie del colon nelle tre direzioni ortogonali di riferimento x, y e z. Per il calcolo delle derivate parziali si preferisce l'applicazione ricorsiva dei filtri di Deriche, secondo una tecnica nota dalla letteratura. Le equazioni alle derivate parziali vengono applicate per calcolare i parametri SI e CV per ogni voxel appartenente alla superficie. I voxel caratterizzati da valori di SI e CV compresi tra un minimo e un massimo sono selezionati come candidati ad appartenere a regioni sospette di contenere polipi, e successivamente utilizzati come punti iniziali da cui estrarre regioni di candidati polipi.

Il calcolo dei parametri di indice di forma e curvatura può rivelarsi significativamente costoso in termini computazionali e di risorse di memoria. Questo è dovuto al fatto che il calcolo è effettuato su tutta la superficie o su grandi porzioni di superfici contenenti centinaia di migliaia di voxel. Per ridurre la quantità di memoria necessaria ai calcoli è conveniente suddividere la superficie

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

del colon in "bounding box" o volumi di analisi adiacenti. Data una sezione assiale di partenza, le dimensioni dei volumi di analisi vengono aumentate un passo per volta nella direzione di sviluppo del colon (asse z) e per entrambi i versi. La crescita dei volumi viene interrotta quando si raggiunge una dimensione in z prefissata oppure quando è terminata la superficie del colon. Le dimensioni nelle direzioni x e y variano in funzione della sezione del lume del colon interessata, mentre la dimensione z è configurata prima del calcolo delle stesse, e convenientemente corrisponde ad un numero di immagini bidimensionali compreso tra 20 e 30 sezioni assiali.

Vantaggiosamente, viene configurato anche un secondo parametro dedicato a sovradimensionare i volumi di analisi, i cui valori possono essere modificati nelle direzioni x, y e z. Nella direzione z tale parametro genera una sovrapposizione tra volumi di analisi e ciò viene effettuato per ridurre gli effetti di distorsione del calcolo della curvatura ai bordi dei volumi di analisi stessi.

La selezione dei voxel per mezzo dei parametri morfologici di indice di forma (SI) e curvatura (CV) è seguita da una crescita, in termini di nume-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

ro di voxel, delle regioni adiacenti ai voxel selezionati tramite tecniche di Hysteresis, da una agglomerazione dei voxel selezionati accresciuti e da un'ulteriore crescita di voxel all'interno del tessuto adiacente alle regioni di superficie selezionate.

Il metodo di Hysteresis consente di estrarre un insieme di voxel spazialmente connessi alle regioni iniziali precedentemente selezionate. Questo metodo porta ad estrarre un maggior numero di voxel di superficie interna del colon che corrispondono potenzialmente ad una maggiore porzione di un polipo. La selezione dei voxel aggiuntivi avviene diminuendo la soglia inferiore del parametro di indice di forma (SI) ed aumentando l'intervallo di interesse del parametro di curvatura (CV).

Una volta che i voxel sono stati caratterizzati in base alle loro proprietà fisico-geometriche, essi sono agglomerati in singole unità di analisi che rappresentano le regioni candidate ad essere classificate come appartenenti, oppure no, a polipi.

Il raggruppamento dei voxel in unità di analisi avviene sulla base della distribuzione di densità spaziale dei voxel selezionati. Il principio su

BUGNION & PARTNERS S.p.A.

cui si basa tale operazione di agglomerazione consiste nel riconoscere le regioni di maggiore densità di voxel selezionati, per cui all'interno di ciascuna agglomerazione la densità di voxel è maggiore che all'esterno, e la densità all'interno di zone di rumore risulta sempre inferiore che all'interno delle agglomerazioni. L'operazione necessita della definizione di due parametri: il numero minimo di punti che l'intorno di un voxel deve possedere e il raggio dell'intorno stesso. I valori dei parametri sono scelti, ad esempio, empiricamente a partire da una serie di immagini di Tomografia Computerizzata.

Questa operazione di agglomerazione è effettuata, ad esempio, applicando il noto algoritmo di DBSCAN, descritto nell'articolo "Density Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Database with Noise" di Ester, Kriegel, Sander e Xu pubblicato su Proceedings of 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (1996). Detto algoritmo permette il riconoscimento di un numero qualunque di agglomerazioni di forma qualsiasi e indipendentemente dal rumore, a partire dai voxel selezionati.

Le unità di analisi così ottenute possono con-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

tenere solo una porzione della superficie del polipo. Ciò è dovuto al fatto che i parametri di curvatura rilevano solo l'apice del polipo che più protrude verso il lume del colon, non rilevando la base del polipo che ha valori di curvatura differenti da quelli del suo apice. Inoltre, uno stesso polipo può essere rilevato da più unità di analisi che necessitano di essere fuse in un'unica unità di analisi. Al fine di estendere l'unità di analisi a tutta la superficie del polipo, si procede come segue.

Per ogni unità di analisi si verifica se esistono delle unità di analisi vicine, che potrebbero essere candidate a essere fuse insieme all'unità di analisi in esame.

A questo proposito si calcola il centro di massa della porzione superficiale dell'unità di analisi in esame. A partire dal centro di massa calcolato, si verifica lungo la superficie segmentata del colon se sono presenti altre unità di analisi entro una predeterminata distanza massima dal centro di massa, il cui valore è determinato empiricamente. La distanza di ciascun voxel esplorato corrisponde alla lunghezza del cammino minimo sulla superficie che unisce il voxel in esame al centro

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

di massa.

Al fine di riconoscere unità di analisi vicine tra di loro, ogni unità di analisi è estesa sfericamente attraverso un metodo di region growing, per cui l'unità di analisi è estesa all'interno del tessuto del colon entro un raggio uguale alla massima distanza tra il centro di massa e i voxel già appartenenti all'unità di analisi. La crescita include anche i voxel di tessuto adiacente alla superficie segmentata.

In particolare, durante la crescita, per ogni voxel in esame viene tracciato un segmento che lo congiunge al centro di massa. Se anche uno solo dei voxel attraversati dal segmento è nel lume del colon, il voxel in esame non viene aggiunto all'unità di analisi. Diversamente, il voxel in esame è aggiunto all'unità di analisi. Questo condizione di crescita evita che il processo di estensione includa porzioni di colon non appartenenti ai polipi.

Successivamente all'estensione sferica delle unità di analisi, per ogni unità di analisi in esame si verifica se le unità vicine ad essa si sovrappongono o sono adiacenti ad essa. Le unità di analisi candidate alla fusione che verificano una di queste condizioni sono fuse con l'unità di ana-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

lisi in esame.

Le macro-unità di analisi così formate non includono sempre la base del polipo. A questo proposito, si determina un piano geometrico di supporto della macro-unità di analisi a partire dai voxel di bordo della sua superficie, che risulta essere parallelo alla base del polipo. Il piano di supporto viene mosso per passi successivi nella direzione ad esso normale e nel verso opposto a quello rivolto verso l'apice della macro-unità di analisi (l'apice è individuata dal fatto che i voxel della macro-unità di analisi, inclusi quelli dell'apice, giacciono da una parte del piano).

Ad ogni passo di scorrimento del piano di supporto si determinano i voxel della superficie segmentata che giacciono sul piano o sono adiacenti ad esso entro una predeterminata distanza, ad esempio definita empiricamente. Per ciascuno di questi voxel, si determina la minima distanza rispetto ai voxel del piano di supporto precedente a quello in esame. Se tale distanza è superiore ad una soglia predefinita (ad esempio, determinata empiricamente), il voxel non è aggiunto alla macro-unità di analisi, diversamente il voxel è aggiunto.

Se ad un certo passo almeno un voxel ha di-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

stanza superiore a tale soglia, si calcola la percentuale di voxel appartenenti al piano di supporto in esame con distanza minima superiore alla soglia. Se tale percentuale supera una percentuale di soglia, l'estensione dell'unità di analisi lungo la superficie è terminata.

Se tale percentuale è invece inferiore alla percentuale di soglia si calcola un nuovo piano di supporto a partire dai voxel con distanza dal voxel del piano di supporto corrente inferiore alla distanza di soglia, e dai voxel del piano di supporto calcolato in precedenza, adiacenti ai voxel del piano di supporto corrente con distanza superiore alla distanza di soglia.

Il procedimento prosegue iterativamente fino al raggiungimento della condizione precedente.

L'estensione delle unità di analisi condotta attraverso i passi descritti ha lo scopo di estendere la porzione di superficie delle unità di analisi.

Sebbene una porzione di tessuto adiacente sia stata selezionata durante il processo di estensione, questa porzione di tessuto non è considerata facente parte della macro-unità di analisi, poiché può includere anche tessuto circostante non appar-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

tenente al polipo. L'effettiva estensione della macro-unità di analisi nel tessuto, che estrae con maggiore precisione il tessuto del polipo, è ottenuta unendo i voxel di superficie individuati tramite segmenti rettilinei. I voxel attraversati da questi segmenti e appartenenti al tessuto adiacente alla superficie vengono aggiunti come nuovi voxel delle unità e macro-unità di analisi. Questo procedimento permette vantaggiosamente di estendere sufficientemente anche le unità di analisi più piccole per avere un numero significativo di voxel che le compongono.

Le agglomerazioni raggiunte rappresentano i candidati polipi per la successiva analisi del colon-retto.

Il numero di voxel appartenenti alle unità di analisi selezionate è normalmente molto inferiore rispetto alla globalità della superficie interna del colon-retto.

Tuttavia anche unità di analisi non appartenenti a polipi possono essere selezionate attraverso questo processo. Queste selezioni contribuiscono ad aumentare il numero di falsi positivi, cioè di candidati polipi selezionati come sospetti ma non effettivamente appartenenti a polipi.

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

Per ridurre il loro numero è conveniente calcolare ulteriori parametri descrittivi di altre proprietà delle unità di analisi, che potrebbero migliorare la discriminalità dell'algoritmo di riconoscimento.

Oltre alle proprietà geometriche dei voxel è preferibile studiare anche altre proprietà, ad esempio proprietà connesse all'intensità di assorbimento dei raggi X dei singoli voxel. A questo proposito si studiano gli istogrammi dell'intensità per ogni voxel della superficie del colon e di un suo intorno. Lo scopo di questa analisi è di verificare se i voxel di regioni appartenenti a polipi presentano un istogramma caratteristico e differente rispetto a quelli di voxel di altre regioni del colon. Infatti, in molti casi i polipi manifestano una differenza in assorbimento dei raggi X rispetto al tessuto sano o ai residui fecali.

Al fine di studiare le caratteristiche degli istogrammi si possono utilizzare le reti neurali, ad esempio una rete neurale del tipo "feed-forward" di per sé nota.

Un'altra proprietà studiata è la tessitura, proprietà connessa all'intensità dell'immagine. Essa può essere percepita facilmente dall'occhio uma-

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

no ed è creduta essere una sorgente ricca di informazione sulla natura e la forma di oggetti tridimensionali. La tessitura è una forma visuale complessa composta da sottoforme macrostrutturali o microstrutturali che hanno una caratteristica brillantezza o colore o taglia. Le proprietà locali delle sottoforme permettono di distinguere caratteristiche luminosità, uniformità, densità, granularità, regolarità, rumorosità, direzionalità di una tessitura nel suo insieme.

Esistono diversi approcci per l'analisi della tessitura: strutturale, statistico, a modelli, a trasformata. Tra questi approcci, quelli statistici del secondo ordine hanno mostrato risultati superiori ad altri approcci di analisi. Per questo motivo, e per le caratteristiche delle immagini dell'addome prive di sottoforme macrostrutturali, risulta vantaggioso applicare un approccio statistico, ad esempio un approccio basato sulle matrici di co-occorenza, note nella letteratura.

Il calcolo è computazionalmente intenso e per questo motivo è convenientemente eseguito solo sulle tredici direzioni che definiscono i primi, secondi e terzi vicini di un voxel e le loro rispettive distanze.

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

Oltre all'istogramma dell'intensità e della tessitura è possibile utilizzare altri parametri caratteristici per la riduzione dei falsi positivi. Uno di questi è il calcolo dei momenti di Zernike.

Con questo metodo si sfrutta il fatto che i polipi possono essere riconosciuti non solo analizzando il contenuto informativo dei dati di immagini da Tomografia Computerizzata, relativi all'assorbimento e alla sua distribuzione spaziale 3D, ma anche attraverso la loro morfologia sferoidale. A tal proposito si calcolano i coefficienti di Zernike noti in letteratura. Questi descrittori geometrici sono stati utilizzati per il riconoscimento di immagini di oggetti in grandi basi di dati di immagini. Tali parametri permettono di riconoscere un oggetto di una data forma indipendentemente dalla sua taglia e orientazione. Queste peculiari proprietà di simmetria rendono i coefficienti di Zernike particolarmente interessanti per lo studio della morfologia dei polipi la cui forma è generalmente sferoidale, ma la cui taglia può variare da pochi millimetri fino a oltre il centimetro e la cui orientazione è qualunque nello spazio.

Tutti i parametri caratterizzanti i voxel rappresentano una grande quantità di informazione, da

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

analizzarsi al fine di classificare i voxel distinguendo tra voxel di regioni sospette appartenenti a polipi e voxel di regioni di tessuto sano.

La classificazione di voxel indirizza un problema di riconoscimento multidimensionale risolubile con reti neurali e/o altri classificatori statistici.

Il procedimento secondo l'invenzione viene eseguito da un sistema del tipo illustrato in figura 3, che comprende una stazione di lavoro computerizzata (workstation) 100, di tipo noto, avente un sottosistema elaboratore 110, un dispositivo di visualizzazione (display) 120, una tastiera 130, un dispositivo di puntamento (mouse) 140 e un dispositivo per la connessione ad una rete locale (bus di rete) 150. Alternativamente, il sistema di elaborazione può essere di tipo distribuito (non illustrato), avente un sottosistema elaboratore e dispositivi periferici di ingresso/uscita, locali o remoti. La workstation 100 o il sistema distribuito sono predisposti per elaborare gruppi o moduli di programmi di elaborazione e calcolo memorizzati su disco 160 o accessibili in rete, atti a visualizzare il procedimento descritto, e per visualizzare i risultati sul display 120. Tali soluzioni qui ri-

BARZANÒ & PARTNERS S.p.A.

chiamate sono considerate ben note nella tecnica e non saranno ulteriormente descritte in questa sede perché di per sé non rilevanti ai fini dell'attuazione e della comprensione della presente invenzione.

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, le forme di attuazione ed i particolari di realizzazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto è stato descritto ed illustrato a puro titolo di esempio non limitativo, senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione, definito dalle rivendicazioni allegate.

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per il riconoscimento automatico di anomalie in strutture anatomiche, comprendente le operazioni di:

- acquisizione (10) di una pluralità di immagini bidimensionali di almeno una porzione del corpo di un paziente, atte a formare una rappresentazione tridimensionale di almeno una struttura anatomica sotto osservazione;

- segmentazione (20) di una regione di interesse di detta rappresentazione tridimensionale, potenzialmente recante dette anomalie;

- selezione (30, 40) degli elementi di immagine di volume (voxel) della regione segmentata candidati ad appartenere ad anomalie nella struttura anatomica rappresentata, in base a prestabiliti parametri morfologici;

- agglomerazione (60) di regioni di voxel in unità di analisi secondo un predeterminato criterio di prossimità; e

- classificazione (70) di detti voxel come elementi sospetti di appartenere ad anomalie o elementi non appartenenti ad anomalie,

caratterizzato dal fatto che detta fase di agglomerazione (60) di regioni di voxel in unità di

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

analisi viene eseguita raggruppando i voxel sulla base della distribuzione di densità spaziale dei voxel selezionati.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui la regione di interesse comprende la superficie interna del tessuto del colon, e dette anomalie in strutture anatomiche comprendono lesioni preneoplastiche del colon.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 2, in cui dette immagini bidimensionali sono immagini di sezioni trasversali del corpo di un paziente, ottenute attraverso tecniche radiodiagnostiche.

4. Procedimento secondo la rivendicazione 3, comprendente l'acquisizione di dati di immagini di tomografia computerizzata, per cui la segmentazione della regione di interesse è basata sul confronto di valori di intensità di assorbimento di radiazioni X relativi agli elementi d'immagine.

5. Procedimento secondo la rivendicazione 4, in cui detti parametri morfologici comprendono l'indice di forma (SI) e la curvatura (CV).

6. Procedimento secondo la rivendicazione 5, in cui l'indice di forma (SI) e la curvatura (CV) vengono calcolati a partire dalle curvature principali della superficie del tessuto del colon segmentata,

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

utilizzando il calcolo delle derivate prime e seconde parziali dell'immagine per mezzo dell'implementazione ricorsiva dei filtri di Deriche.

7. Procedimento secondo la rivendicazione 5 o 6, in cui i voxel caratterizzati da indice di forma (SI) e curvatura (CV) compresi entro rispettivi predeterminati intervalli di valori sono selezionati come candidati ad appartenere ad anomalie.

8. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 5 a 7, in cui il calcolo dei parametri morfologici viene effettuato suddividendo la regione segmentata in volumi di analisi adiacenti.

9. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente, successivamente alla selezione (40) dei voxel della regione segmentata candidati ad appartenere ad anomalie nella struttura anatomica rappresentata, la fase di crescita (50) di regioni nell'intorno dei voxel selezionati.

10. Procedimento secondo la rivendicazione 9, in cui detta fase di crescita (50) di regioni nell'intorno dei voxel selezionati è eseguita con tecniche di Hysteresis, selezionando voxel dell'intorno i cui indice di forma (SI) e curvatura (CV) sono compresi entro intervalli allargati di

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

valori.

11. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, includente la fusione di unità di analisi comprese entro una predeterminata distanza dal centro di massa di una unità di analisi di riferimento, e ad essa sovrapposte o adiacenti.

12. Procedimento secondo la rivendicazione 11, in cui le unità di analisi sono estese a voxel di tessuto adiacenti attraverso un accrescimento sferico condizionato con un raggio di crescita eguale alla massima distanza tra il centro di massa ed i voxel superficiali appartenenti all'unità di analisi in esame.

13. Procedimento secondo la rivendicazione 12, in cui un voxel di tessuto non viene aggiunto all'unità di analisi se almeno uno dei voxel attraversati dal segmento che congiunge detto voxel di tessuto al centro di massa appartiene al lume del colon.

14. Procedimento secondo la rivendicazione 11, 12 o 13, in cui una macro-unità di analisi, ottenuta per fusione di unità di analisi, è estesa comprendendo voxel di superficie che giacciono su piani paralleli ad un piano di supporto calcolato a partire dai voxel di superficie del bordo della macro-unità di

JACOBACCI & PARTNERS S.p.A.

analisi.

15. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui dette unità di analisi sono estese dalla superficie del colon al tessuto adiacente aggiungendo voxel di tessuto selezionati tra i voxel di tessuto attraversati da segmenti rettilinei che uniscono i voxel di superficie individuati in detta fase di agglomerazione.

16. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 4 a 15, in cui i voxel della regione segmentata candidati ad appartenere ad anomalie nella struttura anatomica sono selezionati in base alla relativa intensità di assorbimento di radiazioni X.

17. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 4 a 15, in cui i voxel della regione segmentata candidati ad appartenere ad anomalie nella struttura anatomica sono selezionati in base a proprietà di tessitura.

18. Sistema di elaborazione (100-160) per il riconoscimento automatico di anomalie in strutture anatomiche, predisposto per attuare un procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 17.

19. Programma di elaborazione o gruppo di programmi eseguibile/i da un sistema di elaborazione (100-

JACOBACCI & PERANI S.p.A.

160), comprendente/i uno o più moduli di codice per l'attuazione di un procedimento per il riconoscimento automatico di anomalie in strutture anatomiche secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 17.

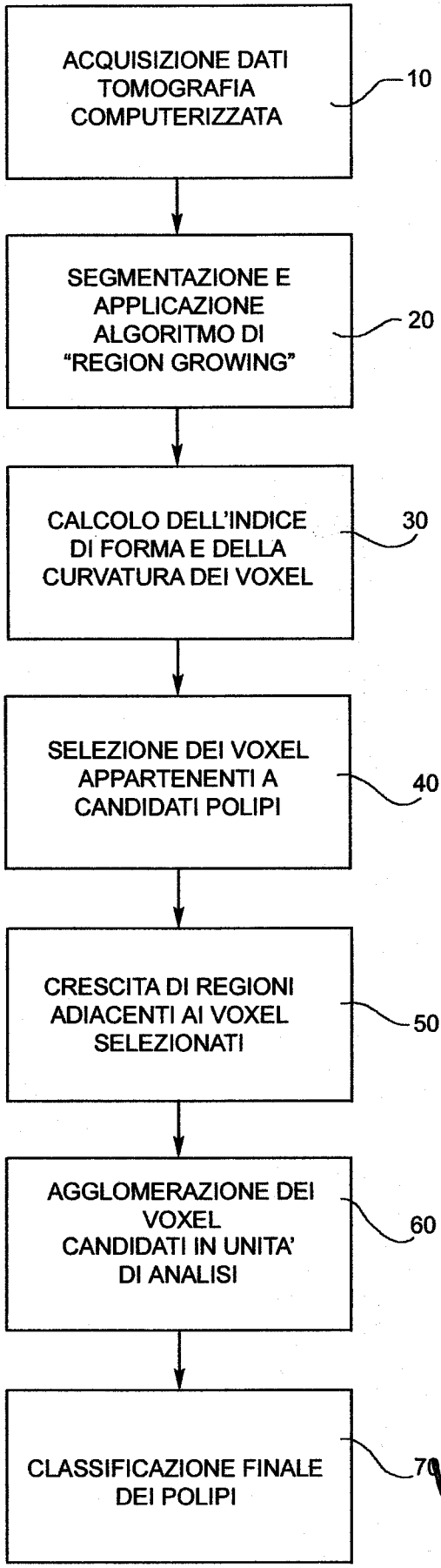
PER INCARICO

ANGELO GERBINO
(Iscr. No. 4[illegible])

CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA
DI TORINO

I. BOBACCI & PARTNERS S.p.A.

Fig.1



CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA
DI TORINO

ANGELO GERBINO
Iscr. No. 468BM

Per incarico di: I-MED S.R.L.

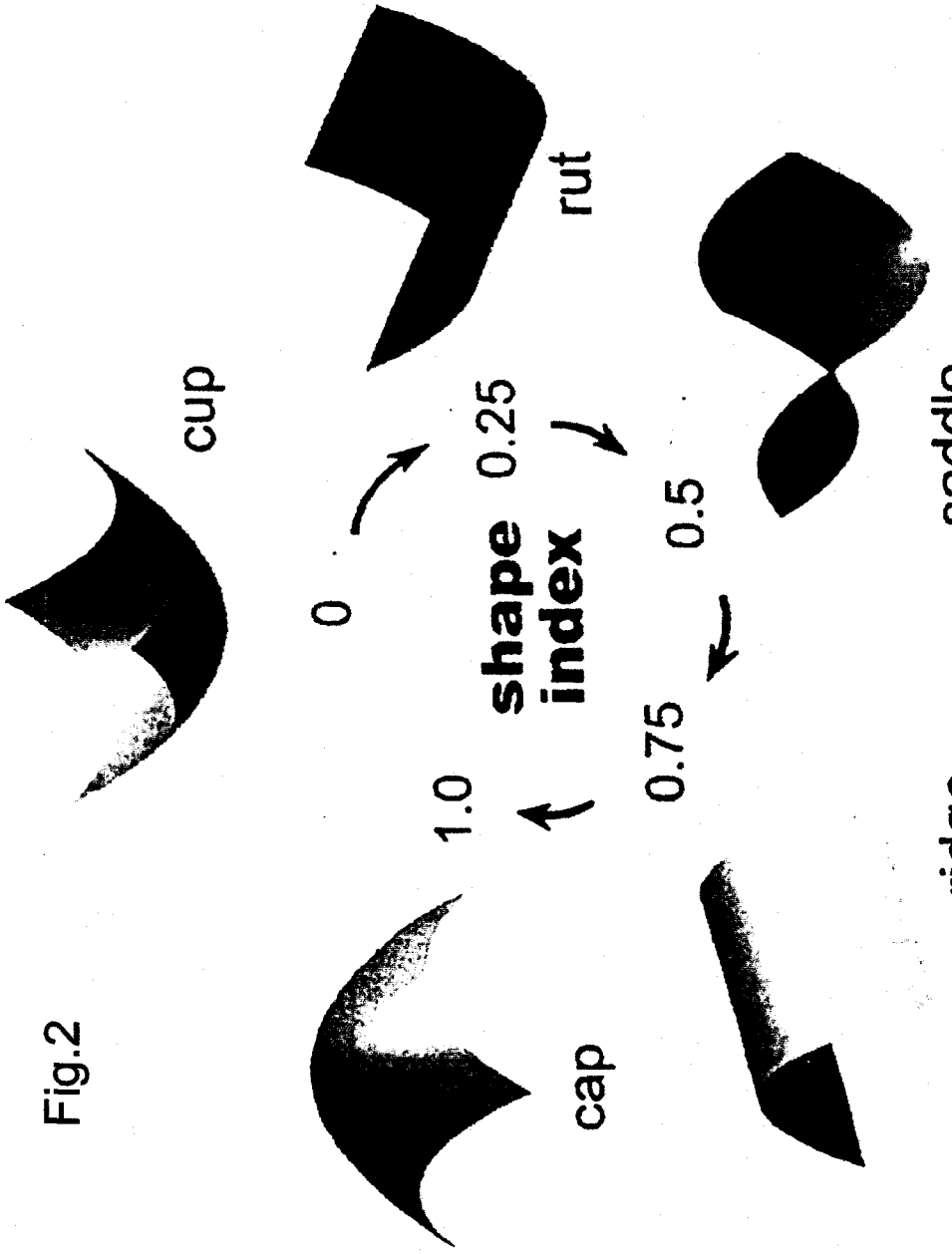


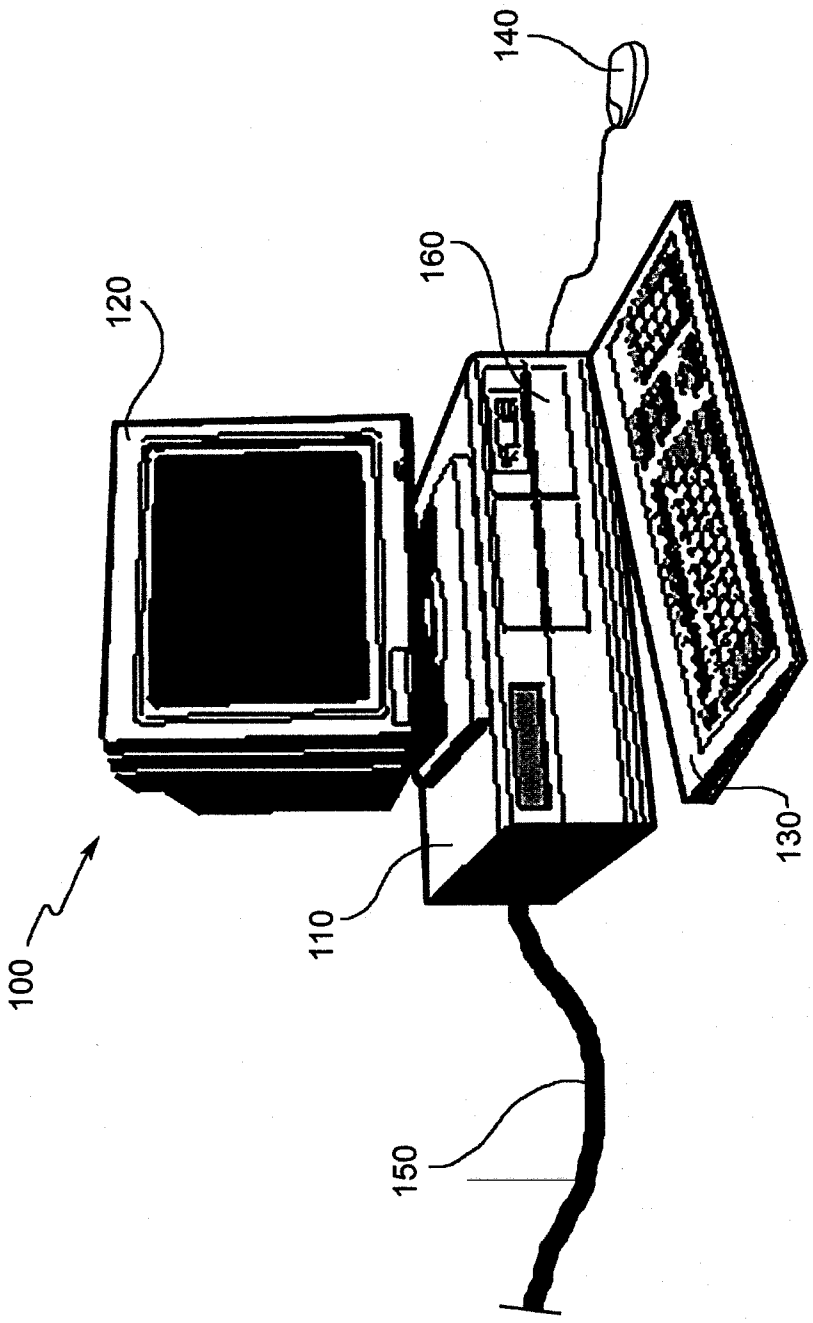
Fig.2

CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA
DI TORINO

ANGELO BERBINO
(Iscr. No. 488BM)

Per incarico di: I-MED S.R.L.

Fig.3



CAMERA DI COMMERCIO
INDUSTRIA ARTIGIANATO E AGRICOLTURA
DI TORINO

ANGELO GERBINO
(Iscr. N. 488BM)

Per incarico di: I-MED S.R.L.