

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-18339

(P2017-18339A)

(43) 公開日 平成29年1月26日(2017.1.26)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)  
**A 6 1 B 6/00 (2006.01)** A 6 1 B 6/00 3 5 0 M 4 C 0 9 3

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-138808 (P2015-138808)	(71) 出願人	304028726
(22) 出願日	平成27年7月10日 (2015. 7. 10)		国立大学法人 大分大学
			大分県大分市大字旦野原 7 0 0 番地
		(74) 代理人	100099759
			弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100092624
			弁理士 鶴田 準一
		(74) 代理人	100114018
			弁理士 南山 知広
		(74) 代理人	100165191
			弁理士 河合 章
		(74) 代理人	100119987
			弁理士 伊坪 公一

最終頁に続く

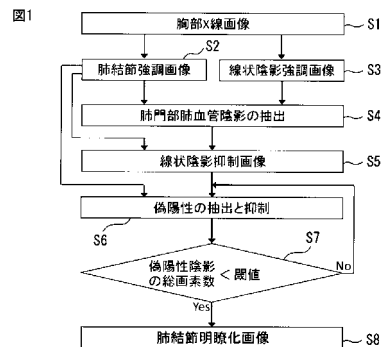
(54) 【発明の名称】 胸部X線画像における肺結節明瞭化法

(57) 【要約】

【課題】胸部X線画像から、肺結節を明瞭に描出する方法を提供する。

【解決手段】本発明の方法は、胸部X線画像から肺結節強調画像を作成する段階S 2 と、胸部X線画像から線状陰影強調画像を作成する段階S 3 と、p 軸に肺結節強調画像とq 軸に線状陰影強調画像を取る2次元ヒストグラムと第1の抽出曲線を用いて肺結節強調画像から肺門部肺血管陰影を線状陰影として抽出する段階S 4 と、肺結節強調画像と肺結節強調画像に最大値フィルタを適用した画像とに基づいて、肺門部肺血管陰影の輝度値を抑制することにより、線状陰影抑制画像を作成する段階S 5 と、上記の2次元ヒストグラムと第2の抽出曲線を用いて、偽陽性陰影を抽出する段階S 6 と、偽陽性陰影の総画素数が予め決定された閾値を上回るまで、偽陽性陰影を抽出する段階を繰り返す段階S 7 と、を備える。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

胸部 X 線画像から肺結節強調画像を作成する第 1 の段階と、  
 前記胸部 X 線画像から線状陰影強調画像を作成する第 2 の段階と、  
 p 軸に前記肺結節強調画像と q 軸に前記線状陰影強調画像を取る 2 次元ヒストグラムと  
 第 1 の抽出曲線を用いて前記肺結節強調画像から肺門部肺血管陰影を線状陰影として抽出  
 する第 3 の段階と、  
 前記肺結節強調画像と前記肺結節強調画像に最大値フィルタを適用した画像とに基づい  
 て、肺門部肺血管陰影の輝度値を抑制することにより、線状陰影抑制画像を作成する第 4  
 の段階と、  
 前記 2 次元ヒストグラムと第 2 の抽出曲線を用いて、偽陽性陰影を抽出する第 5 の段階  
 と、  
 前記偽陽性陰影の総画素数が予め決定された閾値を上回るまで、前記偽陽性陰影を抽出  
 する段階を繰り返す第 6 の段階と、を備えてなる、胸部 X 線画像における肺結節明瞭化法  
 。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法において、前記第 1 の段階は、胸部 X 線画像において肋骨に収ま  
 る程度の大きさのテンプレート T を用い、前記テンプレート T 内にガウス関数による重み  
 を用いて、前記テンプレート中心における注目画素の輝度値と、近傍の重み付き平均との  
 差を強調した重み付き強調画像を作成し、前記重み付き強調画像に特徴抽出フィルタを適  
 用して特徴抽出画像を作成し、前記特徴抽出画像のヒストグラムの値を平方根し、得られ  
 た値からヒストグラム平坦化処理にてコントラスト強調処理を行うことを含む、胸部 X 線  
 画像における肺結節明瞭化法。

20

## 【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の方法において、前記第 2 の段階は、前記胸部 X 線画像から線  
 検出フィルタを用いて線状陰影を抽出し、ヒストグラム平坦化処理によって前記線状陰影  
 の輝度値を強調することを含む、胸部 X 線画像における肺結節明瞭化法。

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載の方法において、前記線検出フィルタとして 4 方向の Kasvand フ  
 ィルタを用いることを含む、胸部 X 線画像における肺結節明瞭化法。

30

## 【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の方法において、前記第 3 の段階における第 1 の抽  
 出曲線は、以下の式であらわされ、

## 【数 1】

$$p = 255 \times \left( \frac{q}{255} \right)^{\frac{1}{r}}$$

40

前記  $r$  は線状陰影抽出パラメータであり、 $r = 1.5 \sim 2.5$ であることを特徴とする胸  
 部 X 線画像における肺結節明瞭化法。

## 【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の方法において、前記第 5 の段階における第 2 の抽  
 出曲線は、以下の式であらわされ、

【数 2】

$$p = 255 \times \left( \frac{q}{255} \right)^{\frac{1}{\epsilon}}$$

前記は偽陽性陰影抽出パラメータであり  $\epsilon = 0.4 \sim 0.5$ であることを特徴とする、胸部 X 線画像における肺結節明瞭化法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、胸部 X 線画像における肺結節明瞭化法に関し、線状陰影と偽陽性とを効果的に抑制して肺結節の検出を容易にする、肺結節明瞭化法に関する。

【背景技術】

【0002】

肺がんの早期発見は課題である。特に Computer - aided diagnosis (以下、CAD) 手法では、結節の検出率を上げ、偽陽性を減らすことが1番の課題となっており、胸部単純 X 線写真(以下、胸部 X 線像)から肺結節を検出するために、これまでさまざまな手法が提案されている。

20

【0003】

胸部 X 線像は、鎖骨や肋骨、肺動静脈との重なりなどが多いことから、結節を見つけるためには、そのままではノイズが多い。そのため、これまでに提案されている手法には、胸部 X 線像から、差分を用いて肺結節を強調するもの(非特許文献1-4参照)、特徴量を用いて結節候補の中から偽陽性を除去するもの(非特許文献5、6参照)や、胸部 X 線像に直接、フィルタを用いて結節候補を検出し、最尤法による判別分析から、偽陽性を除去する手法(非特許文献7参照)、などが提案されている。

【0004】

また、肺結節強調フィルタと閾値を用いて、初期結節候補を検出し、ニューラルネットワークなどの識別器を用いて、初期候補の中から偽陽性を削減するもの(非特許文献8参照)や、ニューラルネットワークによる機械学習を用いて、胸部 X 線像から骨部をうまく除去し、結節を描出するもの(以下、肋骨抑制画像と呼ぶ)(非特許文献9参照)、などがある。しかし、非特許文献9に記載の方法では、システムの学習に時間が掛かり、プログラムは市販化されているが非常に高価である。

30

【0005】

その他にも、非特許文献10では医師の経験的知識を利用して、偽陽性を除去している。その理由は、肺結節と似た輝度や形を示す陰影が肺の中に複数存在するため、検出した陰影の中から、種々の手法を用いて、真の結節と偽陽性を分類することである。これは、胸部 CT 画像における CAD でも同様で、特に肺血管陰影が偽陽性になりやすいと考えられる(非特許文献11参照)。

40

【0006】

このように、胸部 X 線像上、特に肺門近傍では、肺血管同士の間や肺血管の正接像などが、輝度や形の点で肺結節陰影と似ており、結節状に見える。そのため、胸部 X 線像から肺結節を検出しようとする場合、どうしても偽陽性を多く含んでしまう(非特許文献12参照)という欠点があった。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】Ishida T、Ashizawa K、Engelmann R et al: Application of temporal subtraction

50

n for detection of interval changes on chest radiographs: Improvement of subtraction images using automated initial image matching. Journal of Digital Imaging 12 (2): 77 - 86、1999

【非特許文献2】Nakagawa K、Oosawa A、Tanaka H et al: Clinical effectiveness of improve temporal subtraction for digital chest radiographs. Proc SPIE 4686: 319 - 330、2002

【非特許文献3】島田哲雄、児玉直樹、佐藤英哉、他: 胸部一般X線写真における腫瘍除去フィルタを用いた腫瘍性陰影強調法の提案。Med Imag Tech 21(1): 59 - 67、2003

【非特許文献4】川口剛、原田義富、永田亮一、他: 胸部X線画像の対側差分のための位置合わせ。Med Imag Tech 28(5): 351 - 361、2010

【非特許文献5】小田紘弘、木戸尚治、庄野逸、他: 胸部単純X線写真における経時的差分画像を用いた結節状陰影の自動検出システムの開発。電子情報通信学会論文誌D - 11 J 87 - D - 11(1): 208 - 218、2004

【非特許文献6】杜下淳次、桂川茂彦、土井邦雄: 胸部X線写真における肺結節状陰影の形状特徴量分析による偽陽性陰影の除去。日本放射線技術学会論文誌57(7): 829 - 835、2001

【非特許文献7】魏軍、萩原義裕、小畑秀文: 胸部X線像処理による腫瘍影検出システムの開発。Med Imag Tech 19(6): 468 - 476、2001

【非特許文献8】Shiraishi J、Li Q、Suzuki K et al: Computer-aided diagnostic scheme for the detection of lung nodules on chest radiographs: Localized search method based on anatomical classification. Med Phys 33(7): 2642 - 2653、2006

【非特許文献9】Suzuki K、Abe H、MacMahon H、K Doi、"Image-processing technique for suppressing ribs in chest radiographs by means of massive training artificial neural network (MTANN)." IEEE Trans Medical Imaging 25(4): 406 - 416、2006

【非特許文献10】日浦美香子、木戸尚治、庄野逸: 胸部単純X線画像における結節性陰影抽出法の開発。Med Imag Tech 23(4): 250 - 258、2005

【非特許文献11】深野元太郎、滝沢穂高、山本眞司、他: 胸部X線CT画像における肺がん偽陽性陰影の削除 - 血管領域抽出による可変N - Quoit候補点の真偽判定 - 。Med Imag Tech 21(1): 49 - 58、2003

【非特許文献12】Schalekamp S、van Ginneken B、Koe dam E et al: Computer-aided detection improves detection of pulmonary nodules in chest radiographs beyond the support by bone-suppressed images. Radiology 272: 252 - 261、2014

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上述したように、肺がんの見落としを防ぐために、コンピュータによる肺結節の自動検出が研究されているが、検出率の向上と偽陽性の減少が課題となっている。そこで、本発

10

20

30

40

50

明では、コンピュータによる肺結節自動検出の前処理として、2次元ヒストグラムを用いて、偽陽性となりやすい肺血管陰影やその正接像の信号を抑制して、肺結節を明瞭に描出する方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

前記課題を解決するために、本発明の方法は、胸部X線画像から肺結節強調画像を作成する第1の段階と、前記胸部X線画像から線状陰影強調画像を作成する第2の段階と、p軸に前記肺結節強調画像とq軸に前記線状陰影強調画像を取る2次元ヒストグラムと第1の抽出曲線を用いて前記肺結節強調画像から肺門部肺血管陰影を線状陰影として抽出する第3の段階と、前記肺結節強調画像と前記肺結節強調画像に最大値フィルタを適用した画像とに基づいて、肺門部肺血管陰影の輝度値を抑制することにより、線状陰影抑制画像を作成する第4の段階と、前記2次元ヒストグラムと第2の抽出曲線を用いて、偽陽性陰影を抽出する第5の段階と、前記偽陽性陰影の総画素数が予め決定された閾値を上回るまで、前記第5の段階を繰り返す第6の段階と、を備える。

10

【0010】

上記方法において、前記第1の段階は、胸部X線画像において肋骨に収まる程度の大きさのテンプレートTを用い、前記テンプレートT内にガウス関数による重みを用いて、前記テンプレート中心における注目画素の輝度値と、近傍の重み付き平均との差を強調した重み付き強調画像を作成し、前記重み付き強調画像に特徴抽出フィルタを適用して特徴抽出画像を作成し、前記特徴抽出画像のヒストグラムの値を平方根し、得られた値からヒストグラム平坦化処理にてコントラスト強調処理を行うようにしても良い。

20

【0011】

上記方法において、前記第2の段階は、前記胸部X線画像から線検出フィルタを用いて線状陰影を抽出し、ヒストグラム平坦化処理によって前記線状陰影の輝度値を強調するようにしても良い。その場合、前記線検出フィルタとして4方向のKasvandフィルタを用いても良い。

【0012】

上記方法において、前記第3の段階における第1の抽出曲線は、以下の式であらわされる。

【0013】

【数1】

$$p = 255 \times \left( \frac{q}{255} \right)^{\frac{1}{r}}$$

30

前記  $r$  は線状陰影抽出パラメータで1.5~2.5の範囲内であり、 $r = 2.0$ が好ましい。

【0014】

上記方法において、前記第5の段階における第2の抽出曲線は、以下の式であらわされる。

【0015】

【数2】

$$p = 255 \times \left( \frac{q}{255} \right)^{\frac{1}{e}}$$

40

50

前記 は偽陽性陰影抽出パラメータで、 $\alpha = 0.4 \sim 0.5$  の範囲内であり、 $\beta = 0.45$  が好ましい。

【発明の効果】

【0016】

肺がんの見落としを防ぐために、コンピュータによる肺結節の自動検出法が考案されており、検出率の向上と偽陽性の減少が課題となっている。中でも、肺門近傍では肺血管同士の重なりや肺血管の正接像が偽陽性として抽出される頻度が高い。本発明では、1枚の胸部X線画像から、2次元ヒストグラムを用いて、偽陽性となりやすい肺門部肺血管陰影を抽出し、周囲の輝度値と均一化することで、偽陽性陰影を抑制し、相対的に肺結節を明瞭化する新しい手法を提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の一実施形態に係る肺結節明瞭化法の実施手順を示すフローチャート。

【図2】胸部X線画像の一例と座標系を示す図。

【図3】特徴抽出フィルタの一例を示す図。

【図4】肺結節強調画像を示す図。

【図5】Kasvandフィルタを示す図。

【図6】線状陰影強調画像を示す図。

【図7】p軸に肺結節強調画像、q軸に線状陰影強調画像を取る2次元ヒストグラムを示す図。

20

【図8】曲線を境界とする抽出曲線を示す図 ( $\alpha = 2.0$ )。

【図9】肺門部肺血管画像を示す図。

【図10】線状陰影抑制画像を示す図。

【図11】偽陽性抽出 ( $\alpha = 0.45$ ) を示す図。

【図12】偽陽性 (黒点) を抽出した画像を示す図。

【図13】本発明の一実施形態に係る方法によって得られた、肺結節が明瞭化された画像を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0018】

図1のフローチャートに、本発明の一実施形態に係る胸部X線画像における肺結節明瞭化法の操作手順を示す。本方法の概要は、2次元ヒストグラムを用いて、線状陰影を示す肺門部肺血管陰影と偽陽性を抽出し、偽陽性として抽出した画素の総数が、閾値を上回るまで、線状陰影抑制画像内の偽陽性陰影の輝度値を更新することである。偽陽性陰影の輝度値を更新することにより、相対的に肺結節陰影が明瞭化される。

30

【0019】

[ステップS1: 胸部X線画像の取得]

まず、ステップ1において、解析対象である胸部X線画像を取得する。なお、本発明の一実施形態では、図1のフローチャートの説明のために、解析の対象としてJSTの標準デジタル画像データベース(日本放射線技術学会作成)(参考文献1)中の胸部腫瘍画像中の1例を抽出し、これを、マトリックス寸法 $2048 \times 2048$ (ピクセル寸法 $0.175 \text{ mm}$ )に対して、ImageJを用いて、マトリックス寸法を $512 \times 512$ (ピクセル寸法 $0.7 \text{ mm}$ )、階調を8bitとなるように画像を変換して用いた。

40

【0020】

図2は、このようにして抽出された胸部X線画像例とその座標系を示す図である。図2に示すように、左上隅を原点とし、p軸、q軸をそれぞれx、yとする座標系を用いる。ここでは、輝度値0を黒、255を白とし、輝度値255を高いとする。図2において、矢印は肺結節を示している。さらに、本実施形態では、肺結節の強調処理に用いる局所テンプレートTのサイズを、 $T = 20 \times 20$ 画素とし、肺結節の大きさは、肺血管の正接像よりも大きいものを対象とする。

【0021】

50

[ ステップ S 2 : 肺結節強調画像の作成 ]

次のステップ 2 では、胸部 X 線画像から肺結節強調画像を作成する。本実施形態では、肺結節強調画像を作成するために、胸部 X 線像における淡い肺結節陰影の輝度値と、その周囲の僅かな輝度差を局所的なテンプレート T を用いて強調する。テンプレート T の大きさは、胸部 X 線像において、およそ肋骨に納まる程度の大きさである  $20 \times 20$  の画素数とした。また、淡い肺結節陰影は、肋骨や鎖骨、横隔膜などの構造物がもつ輝度値の中に埋もれており、結節が存在する背景やその周囲の輝度から影響を受ける。このため、背景や周囲の輝度からの影響を抑え、僅かな差を強調するために、テンプレート T 内にガウス関数による重みを用いる。

【 0 0 2 2 】

具体的には、テンプレート T の中心における重みが 1 . 0、標準偏差が 2 0 . 0 のガウス関数を用いて、テンプレート中心における注目画素の輝度値と、近傍の重み付き平均との差を強調した重み付き強調画像を作成する。次に、重み付き強調画像に、図 3 に示す  $3 \times 3$  の特徴抽出フィルタを適用し、特徴抽出画像を作成する。最後に、特徴抽出画像のヒストグラム値を平方根し、得られた値から、ヒストグラム平坦化処理にて、コントラスト強調処理を行った画像を、肺結節強調画像とする。図 4 は、このようにして作成された、肺結節強調画像を示す。

【 0 0 2 3 】

[ ステップ S 3 : 線状陰影強調画像の作成 ]

ステップ S 3 では、胸部 X 線画像から線状陰影強調画像を作成する。具体的には、胸部 X 線画像から、線検出フィルタを用いて、線状陰影を抽出し強調する。線検出フィルタには、図 5 に示すような 4 方向の K a s v a n d フィルタを用いる ( 参考文献 2 )。このフィルタは、反復型として用いられるが、本実施形態では、反復回数を 1 回とした。

【 0 0 2 4 】

線検出フィルタを用いる目的は、偽陽性となりやすい肺門部肺血管とその正接像を抽出するためである。K a s v a n d フィルタを用いて検出される線状陰影は、肺門部肺血管の正接像と比べ小さく、肺血管の先端部の細さとなる。そのため、先端部の細い肺血管を、線として検出し、ヒストグラム平坦化処理にて、線状陰影の輝度値を強調する。図 6 に、線状陰影を強調した線状陰影強調画像を示す。

【 0 0 2 5 】

なお、ステップ S 2 及びステップ S 3 の実行に時間上の前後関係はなく、例えば並行して行われても良い。

【 0 0 2 6 】

[ ステップ S 4 : 肺門部肺血管陰影の抽出 ]

ステップ S 4 では、ステップ S 2 及び S 3 で作成された肺結節強調画像と線状陰影強調画像に基づいて、肺門部肺血管陰影を抽出する。この抽出には、図 7 に示す 2 次元ヒストグラムを用いる。具体的には、左上隅を原点とした座標系において、p 軸、q 軸に、それぞれ 2 5 6 階調の肺結節強調画像、線状陰影強調画像をとる 2 次元ヒストグラムを用いて、肺結節強調画像から肺門部肺血管陰影を線状陰影として抽出する。臨床において、肺門部における腫瘍として線状陰影は考えにくい。そこで、線状陰影を利用して、肺結節強調画像から、偽陽性となりやすい肺血管や、その正接像が、抽出されるような曲線を求める。ここでは、これを抽出曲線と呼び、2 次元ヒストグラムにおける曲線をとる。図 8 に、曲線を境界とする抽出曲線を示す。この抽出曲線には、以下の式 ( 1 ) を用いた。

【 0 0 2 7 】

10

20

30

40

【数 3】

$$p = 255 \times \left( \frac{q}{255} \right)^{\frac{1}{r}} \quad (1)$$

【0028】

抽出したい肺門部肺血管陰影は、図7に示すように、2次元ヒストグラムの上隅の原点から、曲線より下側に存在する座標である。ここで、2次元ヒストグラムを用いて、元画像からどの程度線状陰影を抽出するかを決定する、抽出曲線(1)の線状陰影抽出パラメータは、実験から  $r = 2.0$  とした。図8において、灰色の部分(曲線より左下側部分)に、抽出した線状陰影が含まれる。

10

【0029】

図9は、図8の灰色の部分に存在する座標を黒(輝度値:0)で表示したものである。この線状陰影を抽出した画像を、肺門部肺血管画像と呼ぶ。

【0030】

[ステップS5:線状陰影抑制画像の作成]

次のステップS5では、ステップS4で抽出された肺門部肺血管陰影とステップS2で作成された肺結節強調画像とに基づいて、線状陰影抑制画像を作成する。図8に示す2次元ヒストグラム上の抽出曲線により、線状陰影を抽出しただけでは、胸郭の外側部分に存在する肺結節陰影や、肋骨エッジなどの線状陰影も抽出されてしまう。そこで、画像中心からある一定の範囲以外では、抽出した線状陰影の影響を抑える。そのために、画像全体に、ガウス関数による重み付けを行い、抽出された肺門部肺血管陰影を抑制した、線状陰影抑制画像を作成する。

20

【0031】

具体的には、まず、ステップS2で作成された肺結節強調画像Aと、Aに最大値フィルタ(5×5)を適用させた画像Bを作成する。次に、最大値1.0を画像中心とする、標準偏差が150.0のガウス関数を、画像全体に対する重みとして、画像AとBとの間に次の式にて重み付けを行う。

30

$$C = (1 - \text{重み}) A + \text{重み} B \quad (2)$$

【0032】

ただし、出力される輝度値Cは、肺門部肺血管抽出画像において、輝度値が0となる座標、つまり、肺結節強調画像にて、線状陰影として抽出した座標は、輝度値Cを採用し、その他の座標では、画像Aの輝度値を採用する。その結果、式(2)にて得られる画像は、肺門部肺血管陰影の輝度値が抑制され、肺結節が明瞭化されたものとなる。ただし、この段階では、肺門部肺血管陰影の境界にてリング状の偽像が表れるため、3×3の中間値フィルタを用いて、画像全体に平滑化処理を行う。最後に、画像全体の平均輝度値を、肺結節強調画像の平均輝度値と同じ値になるように、明るさを調整する。このようにして、図10に示す線状陰影抑制画像が得られる。

40

【0033】

[ステップS6:偽陽性の抽出と抑制]

次のステップS6では、ステップS5で求めた線状陰影抑制画像とステップS2で求めた肺結節強調画像に基づいて、偽陽性の抽出と抑制を行う。まず、2次元ヒストグラムと式(1)に示した抽出曲線を用いて、偽陽性陰影を抽出する。具体的には、横軸、縦軸をそれぞれ、肺結節強調画像、線状陰影抑制画像とする2次元ヒストグラムと、抽出曲線を用いて肺血管の正接像を抽出する(図10の )。肺結節強調画像において、肺血管やその正接像は、輝度値が極めて低い。しかし、線状陰影抑制画像においては、それらの輝度値は比較的高い。そのため、抑制したい肺血管の正接像は、2次元ヒストグラムにおいて

50



、左下の部分に存在する可能性が高い。そこで肺血管陰影と肺結節を抽出曲線を用いて、真の結節を含まないように分離し、偽陽性陰影を抽出する。

【 0 0 3 4 】

ここで、偽陽性抽出のための抽出曲線を以下の式 ( 3 ) で表す。

【 0 0 3 5 】

【 数 4 】

$$p = 255 \times \left( \frac{q}{255} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}} \quad (3)$$

10

【 0 0 3 6 】

は、偽陽性陰影抽出パラメータであり、実験から、抽出曲線のパラメータ  $\varepsilon = 0.45$  と固定して用いた ( 図 1 1 )。図 1 1 の 2 次元ヒストグラムにおいて、左下の灰色の部分に分布する画素を偽陽性と判別する ( 図 1 1 の円内部は、2次元ヒストグラムにおける、真の結節がもつ輝度分布の大まかな位置を表す )。

【 0 0 3 7 】

本発明に係る方法では、2次元ヒストグラムにおいて、抽出曲線よりも下側に存在する画素を偽陽性とする。図 1 0 のように、画像中心に近く、輝度値が抑制された線状陰影の画素の中で、特に輝度が低いものを偽陽性として選ぶと、その中に、肺血管の正接像が含まれる。このとき、肺結節以外の心臓エッジなどの陰影も含まれるため、肺血管の正接像を偽陽性として抽出した。図 1 1 の 2 次元ヒストグラムから得られた偽陽性陰影を、黒点として図 1 2 に示す。

20

【 0 0 3 8 】

2次元ヒストグラムを用いて得られた、偽陽性陰影の総画素数 ( 図 1 2 に示す黒点の集合 ) が、閾値 ( = 1 8 0 0 ) を上回るまで、ステップ S 5 と同様の操作を繰り返す。ただし、ここで取り扱う画像は、線状陰影抑制画像 A と、A に最大値フィルタ ( 5 × 5 ) を適用させた画像 B を用いる。その結果、式 ( 3 ) にて得られる画像は、肺血管の正接像を含む偽陽性陰影の輝度値が抑制されたものとなる。最後に、ステップ S 6 と同様、3 × 3 の中間値フィルタを用いて、画像全体に平滑化処理を行う。

30

【 0 0 3 9 】

[ ステップ S 7 : 輝度値の更新 ]

ステップ 7 において、ステップ 6 で偽陽性陰影として選ばれた画素の総数が、閾値よりも少ない場合、その画素の輝度値を更新し、新たな線状陰影抑制画像とする。条件を満たすまで、この操作を繰り返し、抽出曲線により抽出した偽陽性陰影の輝度値を、その周囲の輝度と置き換えることで、偽陽性は目立たなくなる。偽陽性陰影をその周囲の輝度値と均一化することで、肺結節を相対的に明瞭化する。

【 0 0 4 0 】

[ ステップ S 8 : 肺結節明瞭化画像の取得 ]

ステップ 7 における条件が満たされた場合、肺結節明瞭化画像が得られる。図 1 3 は、このようにして得られた肺結節明瞭化画像を示す。

40

【 0 0 4 1 】

[ 評価実験 ]

本発明者等は、本発明の方法を評価するために、日本放射線技術学会の標準デジタル画像データベース中の胸部腫瘍画像 1 5 4 例を用いて実験を行った。これらの画像は、結節の位置があらかじめ示されており、また、結節検出の難易度によって、1 ( きわめて困難 )、2 ( 非常に困難 )、3 ( 困難 )、4 ( 比較的容易 )、5 ( 容易 ) の 5 つのレベルに分類されている。また、各レベルはそれぞれ、2 5、2 9、5 0、3 8、1 2 枚になり、これらすべての画像 1 5 4 例に対し、以下の実験を行った。方法は、前もって知らされた

50

位置に、本発明の方法により、結節が明確に描出されているかを、1名の放射線診断専門医が判定することによって行った。評価には、非特許文献4で用いられている、結節描出の観点からの画質評価である、3 (clearly depicted)、2 (subtly depicted)、1 (not depicted) の3段階の評点で行った。評価結果を表1に示す。また、本発明の方法と対側差分法(非特許文献4)による結果について、同様に評価し比較を行った(表2)。本発明の方法での実行時間は、1画像当たり2.2GHzのPCで平均3078 [ms]であった。

【0042】

【表1】

10

難易度	5	4	3	2	1	
i=3	100	100	92.0	65.5	36.0	80.5
i=2	0	0	2.0	24.1	36.0	11.0
i=1	0	0	6.0	10.3	28.0	8.4

表1 難易度別の評点*i*の割合(%)

\*右端の行は、154例に対する各評点の割合

20

【0043】

【表2】

手法	肺結節描出の観点からの評価において、評点 <i>i</i> が与えられた症例の割合(%)		
	i=3	i=2	i=1
非特許文献4による方法	73.8	7.5	18.7
本発明に係る方法	90.7	5.6	3.7

表2 対側差分法(非特許文献4参照)との比較(107例)

30

【0044】

[考察]

40

胸部X線像において、淡い結節陰影は、周囲の輝度値との差が小さい。そのような、差の小さいところに、大きいテンプレートを用いて強調すると、テンプレート内の平均輝度値が平滑化の影響を大きく受け、淡い小さい陰影のコントラストを低下させてしまう。しかし、よく見るとわかるような淡い陰影であっても、局所的に見れば、肋骨などの背景と重なることで、結節の輝度はその周囲よりも比較的上昇している。これらのことから、わずかな差を強調し、局所的なコントラストを維持するために、テンプレートサイズを小さくし、非特許文献5の場合とは異なり、背景トレンドを含めた形で、局所的に輝度値を制御した。本発明の方法では、ガウス関数による局所的な重み付けを用いて、局所的な差を制御することにより、重み付き強調画像を作成した。

【0045】

50

次に、ラブラシアン<sup>1</sup>の形をした特徴抽出フィルタを用いて、重み付き強調画像から、濃淡変化の傾きを抽出した。このフィルタは、中心の値が大きければ、画像のエッジ部分が抽出されたエッジ画像に近づく。しかし、ここでは、画像のコントラストを保存するために、フィルタ中心の値が1.0を採用した。また、特徴抽出フィルタのサイズが大きくなれば、画像全体に対し平滑化の影響が強くなるため、フィルタサイズを3×3として用いた。

#### 【0046】

ところが、特徴抽出フィルタのみでは、画像全体のコントラストが低い。そこで、次に、ヒストグラム平坦化処理を用いて、コントラスト変換を行う。ここでの処理に、補正とアンシャープマスキングによる鮮鋭化処理を用いて淡い陰影を強調すると、肺結節を肺血管陰影と見誤ってしまう可能性があった。そのため、コントラスト変換には、ヒストグラム平坦化処理のみを行った。

10

#### 【0047】

一方、胸部X線像から、偽陽性となりやすい肺門部肺血管陰影を抽出するために、線検出フィルタを検討した。線検出フィルタの代表としてVander Brugフィルタが利用されている(参考文献3)。このフィルタを用いることで、肺門部肺血管陰影をうまく抽出することが可能である。しかし、本発明に係る方法にVander Brugフィルタを用いて、肺血管陰影の抑制を行うと、大きな抑制効果が得られると同時に、肺結節陰影の信号も大きく抑制された。これは、Vander Brugフィルタにより検出される線が太いため、肺門付近の肺血管の抽出には優れているが、肺血管の正接像程度の小さい結節を、線状陰影として検出してしまふ。

20

#### 【0048】

このため、抽出した線状陰影内部の輝度値が、最大値フィルタにより、周囲の最大輝度値と置き換えられると、淡い小さい結節陰影は目立たなくなってしまう。そのため、検出される線は、細い方が望ましい。そこで、提案手法では、線検出フィルタとして、Kasvandフィルタを用いた。Kasvandフィルタは、Vander Brugフィルタと異なり、検出される線が細く、肺野末梢にまで多くの線が抽出される。2次元ヒストグラムで用いるの値が同じであれば、Kasvandフィルタの方が、肺野内に検出される線の密度が高く、肺野末梢にまで、最大値フィルタの影響を考慮することができる。このことは、結節のみでなく、その周囲の輝度値に対しても、最大値フィルタの影響がある方が、結節にコントラストを付けることになると考えられる。さらに、2つの線検出フィルタのうち、Kasvandフィルタの方が、実行時間が約1秒弱短く、有利であった。

30

#### 【0049】

しかし、線状陰影を検出しても、1次元のヒストグラムのみでは、肺門部から末梢まで太さの異なる肺血管や肋骨に重なる肺血管を、連続する陰影として、一度に抽出することは難しく工夫を要する。また、肺血管は、存在する場所によって、その輝度値が異なることや、肺血管の正接像なども、輝度や形が結節陰影と似ていることから、肺結節検出にて偽陽性となりやすい。そこで、提案手法では、胸部X線像から、2次元ヒストグラムを用いて、偽陽性となりやすい肺門部肺血管陰影を、連続する線状陰影として抽出した。

#### 【0050】

2次元ヒストグラムを用いた線状陰影の抽出では、抽出曲線を定義し、1つの線状陰影抽出パラメータを用いて制御した。パラメータは、肺血管の抽出能に影響し、1枚の画像から、抽出したい線状陰影の割合を決めるもので、1.5~2.5の範囲内とする。

40

の値が1.5より小さいときは、結節の外周エッジが抽出され、の値が2.5より大きくなると、結節の内部までが線状陰影として抽出される。提案手法では、抽出された線状陰影に、最大値フィルタを適用するため、の値が、画像全体のコントラストに影響することになる。また、提案手法では、抽出曲線として、パラメータがのみの単純な曲線を用いて、肺結節と肺血管陰影の抽出を試みた。

#### 【0051】

しかし、単純な曲線のみでは、肺結節と肺血管陰影を完全に分離抽出することはできな

50

い。肺血管陰影を多く抽出すれば、同時に肺結節陰影全体を抽出する。そこで、実験から、肺血管陰影の抑制効果を考慮し、 $\alpha = 2.0$ と固定して用いた。さらに、最大値フィルタのサイズが大きいほど、抑制効果は大きい。しかし、最大値フィルタのサイズが大きすぎると、輝度値が急激に変化するため、血管陰影とその境界に、リング状の偽像が発生する。そのため、最大値フィルタには、 $5 \times 5$ のサイズのものを使用し、発生するリング状の偽像を抑制するために、 $3 \times 3$ の中間値フィルタを使用した。

#### 【0052】

抽出される線状陰影には、肺がんや肋骨エッジなど、さまざまな線状成分が含まれる。中でも、肺門部付近は、太い肺血管が密集し、偽陽性陰影が多く存在する（非特許文献7、10参照）。そのため、肺門部の肺血管陰影には、最大値フィルタによる信号抑制の影響を大きくし、肺野末梢など、その他の部分では、肺結節強調画像の方に大きな重みを付ける必要がある。

10

#### 【0053】

本発明の方法では、肺門部に存在する腫瘍が、線状陰影を示すことは非常に考えにくいことから、肺血管陰影を線状陰影として抽出し、最大値フィルタを用いて、周囲の輝度値と置き換えることで、肺血管陰影の輝度値を抑制した。しかし、線状陰影の抑制のみでは、肺血管の正接像のサイズを小さくすることはできるが、肺血管の正接像の輝度が抑制されるとは限らない。ところが、肺血管の正接像は、線状陰影として検出される肺血管陰影よりも輝度値が低い。このため、線状陰影として抽出されたもので、輝度の低いものを偽陽性として選べば、その中に肺血管の正接像が含まれることになる。

20

#### 【0054】

肺血管の正接像を抽出するとき、肺結節以外の心臓エッジなどの偽陽性陰影も同時に抽出されるため、本論文では、肺血管の正接像を偽陽性陰影に含め、取り扱っている。ここで、2次元ヒストグラム上の抽出曲線（偽陽性陰影抽出パラメータ）の値は $0.35 \sim 0.45$ の範囲とするもので、 $\alpha = 0.45$ よりも大きくすると、偽陽性の中に、結節陰影の輪郭が含まれてしまう。また $\alpha = 0.35$ よりも小さくすると、偽陽性陰影の抽出効果が小さく、その他の陰影ノイズが残るため、不鮮明となる。

そこで、提案手法では、偽陽性を判別する境界を上限の $\alpha = 0.45$ として固定して用い、その抽出曲線よりも下側に存在する全ての画素を、肺血管の正接像も含めた偽陽性陰影として判別した。偽陽性として判別した画素を、その周囲の輝度値と置き換え、条件を満たすまで更新し、偽陽性陰影の輝度値を制御した。

30

#### 【0055】

本発明の方法は、肺血管やその正接像などの偽陽性陰影の信号を抑制するために、陰影周囲に存在する高輝度との置き換えを利用する。しかし、本発明の実施に当たっては、肺血管の正接像よりもサイズの大きい肺結節陰影を描出対象としているため、抑制にて周囲の輝度値が置き換えられても、肺結節陰影は、肺血管の正接像ほどの信号抑制が起こらず、指摘可能であった。実験結果では、J S R Tデータベースの腫瘍画像154例に対し、80.5%の症例で評点3が与えられた。また、容易なレベル5と極めて困難なレベル1を除く、レベル2~4の117例での評点3は、88.0%に上昇した。さらに、レベル2~4の107例（心大血管や横隔膜下に重なる結節を除く）を用いた対側差分法（非特許文献4参照）と比較すると、評点3の割合が16.9%増加し、有効であった。

40

#### 【0056】

肺結節検出の見落としの原因として、鎖骨や肋骨、肺血管との重なり、淡い小さい陰影などが考えられる。このような、僅かな濃淡差の結節を描出するには、結節周囲の輝度値をきれいに差分する必要がある。差分画像や肋骨抑制画像のように、肋骨等をうまく差分できれば、偽陽性を除去できる可能性は高い。しかし、肺結節を描出するための位置合わせや高い精度の骨陰影除去が求められる。

#### 【0057】

そこで、本発明においては、位置合わせや骨陰影の除去を用いず、偽陽性となりやすい肺血管陰影の信号を抑制した。線状陰影を抑制することで、エッジが抽出される鎖骨や肋

50

骨などの輝度値にも抑制効果が見られた。また、本発明の実施にあたって、肺結節の一部が強く描出されることがある。これは、肺結節が線状陰影として抽出されたため、肺血管などの線状陰影と同様に、肺結節の輝度値にも抑制効果が働いたことによる。しかし、肺結節の質的診断というよりも存在診断をすることが、まずは重要であり、本発明の方法は、能力からいって、存在診断として十分機能し得ると考えられる。

【0058】

[結論]

本発明の方法では、パターンとして捕らえ易い、肺血管陰影やその正接像などの偽陽性陰影を、1枚の胸部X線像の中から、2次元ヒストグラムを用いて、少ない特徴量にて抽出し、さらに、抽出した血管陰影の輝度値を周囲の輝度値と均一化することで、肺結節陰影を相対的に明瞭化した。偽陽性陰影が減少することで、人間の見た目においても、肺結節を指摘しやすい画像を作成することができた。

10

【0059】

(参考文献1) Shiraiishi J, Katsuragawa S, Ikezoe J et al: Development of a digital image database for chest radiographs with and without a lung nodule: Receiver operating characteristic analysis of radiologists' detection of pulmonary nodules. AJR 174 : 71 - 74, 2000

20

(参考文献2) Kasvand T: Iterative Edge Detection. CGIP (4) : 279 - 286, 1975

(参考文献3) Vander Brug G. J: Line detection in satellite imagery. IEEE Trans Geosci Electron (GE - 14) : pp. 37 - 44, 1976

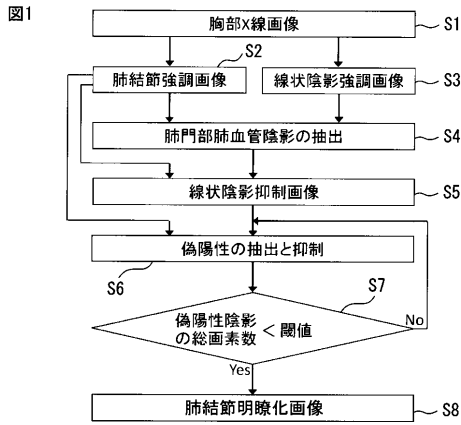
【符号の説明】

【0060】

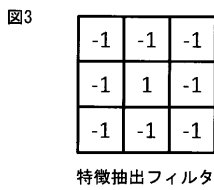
- |        |             |
|--------|-------------|
| ステップS1 | 胸部X線画像の取得   |
| ステップS2 | 肺結節強調画像の作成  |
| ステップS3 | 線状陰影強調画像の作成 |
| ステップS4 | 肺門部肺血管陰影の抽出 |
| ステップS5 | 線状陰影抑制画像の作成 |
| ステップS6 | 偽陽性の抽出と抑制   |
| ステップS7 | 輝度値の更新      |
| ステップS8 | 肺結節明瞭化画像の取得 |

30

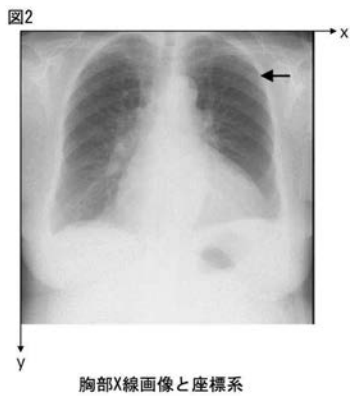
【 図 1 】



【 図 3 】



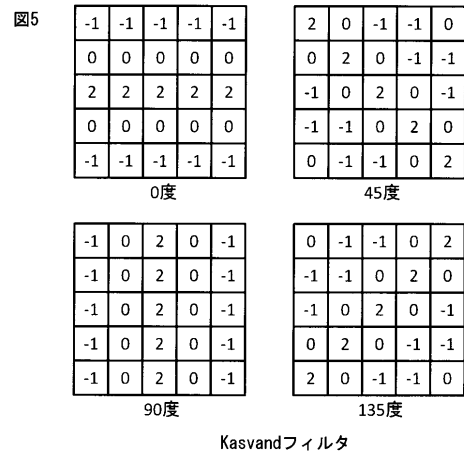
【 図 2 】



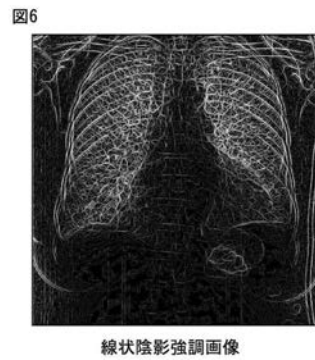
【 図 4 】



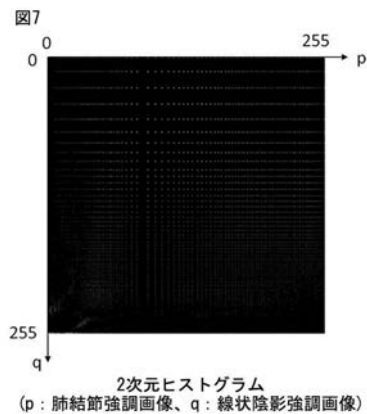
【 図 5 】



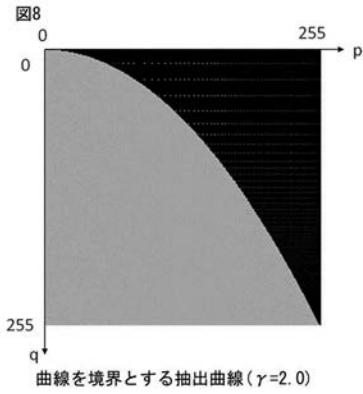
【 図 6 】



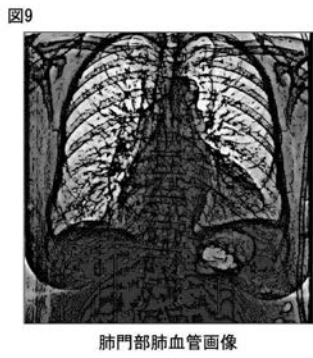
【 図 7 】



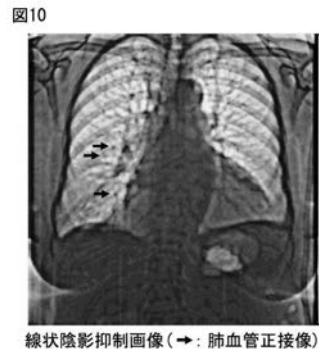
【 図 8 】



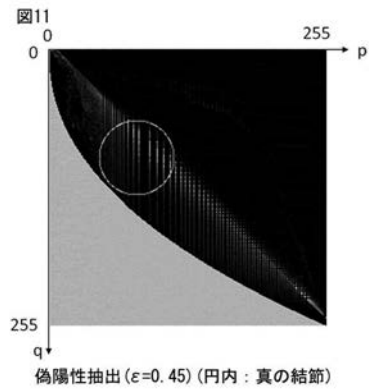
【 図 9 】



【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 三宅 秀敏

大分県由布市挾間町医大ヶ丘1丁目1番地 国立大学法人大分大学医学部内

(72)発明者 原田 義富

大分県大分市城崎町2-4-26 森ビル 101号

(72)発明者 野村 達八

大分県大分市坂ノ市中央5-10-5

Fターム(参考) 4C093 AA00 AA26 CA18 DA03 FD03 FD11 FF03 FF08 FF09 FF19  
FF20