

## &gt; 研究速報 &lt;

円筒型フィルタと肺の構造解析による  
胸部 CT 画像からの結節検出

池谷 愛\*1 寺本 篤司\*1 原 武史\*2 藤田 広志\*2

## 要 旨

胸部 CT 画像における結節の高速検出手法として、我々は円筒型フィルタを開発し、評価を行ってきた。その問題点として、気管支や血管と近接あるいは付着した結節の検出率が低いことがあげられる。そこで、肺の正常構造である気管支や血管の構造を利用し、肺結節の検出能力を改善する手法を提案する。本手法では、胸部 CT 画像を肺正常構造とそれ以外の領域に分類し、おのおのに対して特性の異なる円筒型フィルタで処理し肺結節を検出する。本手法の有効性を評価するために、胸部 CT 画像に対し従来手法と提案手法を適用し、結節検出能力を比較した。その結果、従来手法の真陽性率が 0.72 であったのに対し、提案手法は 0.79 となった。このときの 1 症例あたりの偽陽性数は従来手法、提案手法ともに 4.19 であった。よって、本手法を用いることで結節検出能力が向上することが確認された。

キーワード：CT, 結節, 自動検出, 気管支, 血管  
Med Imag Tech 30(5): 293-297, 2012

## 1. はじめに

肺がんはがんによる死亡率の第 1 位であり、5 年生存率は初期のステージから末期に進行するにつれ極端に低下する。そのため肺がんを早期に発見し、早期に治療することが望まれ、その克服には CT による検診が有効とされている。事実、米国国立がん研究所が実施した肺がん検診の臨床試験により、低線量 X 線 CT による検診は単純 X 線写真による検診と比較し、肺がん死亡率が低減することが立証された [1]。よって今後 CT による肺がん検診への注目度がますます高まり、それに伴い読影する医師を支援するコンピュータ支援診断手法への期待が大きくなると予想される。

これまでに CT 画像を用いた肺結節の自動検出手法が多く提案されている。Lee らは遺伝的アルゴリズムを用いる手法 [2]、Li らは点状、線状、面状組織を選択的に強調するフィルタを用いる手法 [3]、早瀬らは形状特徴量と最小方向差分

フィルタを用いる手法 [4]、澁谷らはモフォロジカルフィルタの一種である N-Quoit フィルタとベクトル集中度を併用した結節検出手法 [5] を提案した。我々は胸部 CT 画像における結節の高速検出手法として、円筒型フィルタを開発し、評価を行ってきた [6]。これらの手法は、結節が塊状構造であることや、結節と周囲にコントラストが生じることなどの画像特徴に着目した処理となっている。しかし、気管支や血管に付着あるいは近接した結節についてはこれらの画像特徴を呈さない場合が多いため、検出率が低下するという問題点があった。

そこで本研究では従来手法では検出が困難であった上述の結節に対する検出能力を改善するため、肺の正常構造である気管支や血管の構造を利用した新しい結節検出手法を提案する。また提案手法の有効性を評価するために胸部 CT 画像を従来手法と提案手法に適用し、結節検出能力の比較を行った。

## 2. 肺結節検出手法

本章では、我々が開発してきた円筒型フィルタによる結節検出手法 [6] について概略を述べ、続いて提案手法について述べる。

\*1 藤田保健衛生大学大学院保健学研究科 [〒 470-1192 豊明市杣掛町田楽ヶ窪 1-98]

e-mail: 82012304@fujita-hu.ac.jp

\*2 岐阜大学大学院医学系研究科  
投稿受付：2012 年 5 月 20 日  
最終稿受付：2012 年 8 月 21 日  
採用決定日：2012 年 10 月 2 日

### 1) 従来手法

胸部CT画像の肺野領域内に存在する孤立状結節を自動検出する。処理は(1)前処理(肺野領域の抽出)、(2)初期候補領域の検出、および(3)偽陽性削除の順に行うことで結節候補陰影を得る。

#### (1) 前処理

まず、肺野領域を二値化とクロージング処理により抽出し、得られた領域を結節検出の対象領域とする。

#### (2) 肺結節の初期検出

抽出された肺野において、塊状構造をもつ結節を強調した後にしきい値処理を適用し初期候補領域を得る。

塊状構造である結節の強調には、我々が開発した円筒型フィルタ(Cylindrical filter, CF)を利用する。CFのフィルタ構造はFig. 1に示したように半径 $r_1$ 、高さ $2r_1$ を有する円筒形であり、1画素ごとに式(1)の演算を行いフィルタ処理画像が得られる。フィルタ出力は注目画素の濃度値と円柱表面の最大値の差で表される。塊状の結節はCFの内部に収まるため、注目画素との差が生じる。このときCFの半径 $r_1$ は検出対象となる結節の半径より大きな値を用いる。一方、連続した形状を有する血管は注目画素とCFの両者に接するため出力に差が生じない。このため結節陰影のみを選択的に強調することができる。

ここでCFにおける円筒側面の出力はスラブ幅 $2r_1$ で最大値投影した画像に対して半径 $r_1$ のリング上の最大値を算出することと等価である。また円筒上下面の円盤領域については二次元のディスクフィルタを適用する。すなわちCFは3枚の二次元画像を用いて処理を行えばよい。このため、球状のフィルタ形状を用いた手法と比較し、大幅に演算量を削減することができる。

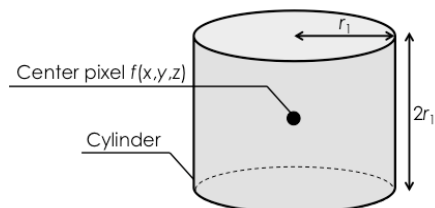


Fig. 1 Structure of the cylindrical filter.

$$c(x,y,z) = f(x,y,z) - \max_{(x_c, y_c, z_c) \in K_{CF}} \left\{ f(x-x_c, y-y_c, z-z_c) \begin{cases} x_c^2 + y_c^2 \leq r_1^2 & \text{and } z_c = \pm r_1 \\ x_c^2 + y_c^2 = r_1^2 & \text{and } -r_1 < z_c < r_1 \end{cases} \right\} \quad (1)$$

ここで、 $f(x,y,z)$ は入力画像であり、 $c(x,y,z)$ は出力画像である。 $CF(x,y,z)$ はCFのフィルタカーネルを示し、 $K_{CF}$ はフィルタカーネル表面の画素集合を表す。

CFを胸部CT画像に適用した結果をFig. 2に示す。図中、矢印で示した領域が充実性結節であり、同図(a)の原画像では血管などの正常組織とほぼ同等のCT値を有する。CFを適用した同図(b)においては、血管などの陰影が抑制され、結節が選択的に白く描出されている。

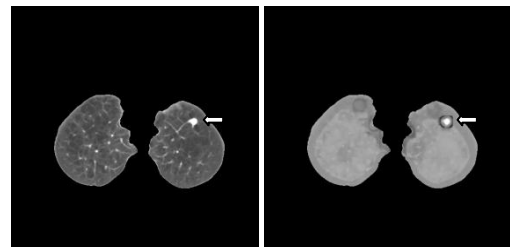
次に、強調処理画像に対して2値化処理を適用し、続いて3次元的なラベリング処理を行うことで初期候補領域を得る。

#### (3) 偽陽性削除

初期候補領域には、結節だけでなく血管などの正常組織も含まれる。そこで、7種類の特徴量(面積、表面積、体積、CT値、集中度、直径、はみだし量)を算出し、それらをサポートベクタマシン(Support vector machine, SVM) [7]に投入し結節と正常組織を識別する。

### 2) 提案手法

Fig. 3に提案手法の概要をフローチャートに示す。提案手法では、肺野を2つの領域に分類して肺結節を検出する。まず、原画像(Fig. 4(a))から抽出した気管支と血管の領域(以下、正常構造と呼ぶ)の画像(同図(b))に対して結節検出を行う。次に、原画像から正常構造を削除した領域(以下、削除画像と呼ぶ)(同図(c))に対して結節検出を行う。これらの独立に検出された2つの検出結果を統合し、最終的な結節候補領域とする。以下にそれぞれの検出方法について述べる。



(a) Original image (b) Enhanced image  
Fig. 2 Nodule enhancement result.

**(1) 正常構造抽出画像に対する肺結節検出**

正常構造に付着した肺結節を自動検出する。処理は (i) 前処理 (肺野領域の抽出, 正常構造の抽出), (ii) 初期候補領域の検出, (iii) 偽陽性削除の順に行うことで結節候補陰影を得る。

(i) 前処理

2. 1) (1) と同様の手順により, 胸部 CT 画像から肺野領域の抽出を行い, 続いて平滑化を行う。次に, 抽出された肺野領域において, 領域拡張法を用いて以下に示すように気管支と血管を抽出する [8, 9].

**気管支の抽出:** 領域拡張開始点 1 点を手動で選択し, しきい値以下の CT 値を有する領域を拡張させる。しきい値を 1 ずつ変化させながら領域拡張を行い, 画素数が指定値  $TH_1$  を超えない最大しきい値を自動的に決定する。得られたしきい値を用いて領域拡張した結果を気管支領域とする。

**血管の抽出:** 領域拡張開始点を左右の肺それぞれ 1 点を手動で選択し, しきい値以上の領域を拡張させる。しきい値を 10 ずつ変化させながら領域拡張を行い, 式 (2) の  $\Delta V$  が指定値  $TH_2$  を

超えない最小しきい値を自動的に決定する。得られたしきい値を用いて領域拡張した結果を血管領域とする。

$$\Delta V = \frac{V(a) - V(a-10)}{V(a-10)} \times 100 \quad (2)$$

$V(a)$ : しきい値  $a$  のときの画素数

$V(a-10)$ : しきい値  $a-10$  のときの画素数

以上の処理にて抽出された 2 つの領域を融合させ, 正常構造抽出画像とする。

(ii) 肺結節の初期検出

正常構造抽出画像に対して, 円筒型フィルタを適用させ肺結節の検出を行う。正常構造に付着した結節は充実性結節であるため, CF 処理画像に対して適用する検出しきい値を高く設定しても真陽性率を維持することができる。また, 検出しきい値を高くすることに伴って, 偽陽性数の低減も期待できる。

(iii) 偽陽性削除

正常構造抽出画像に対する偽陽性削除は 2. 1) (3) と同様に行う。なお, 偽陽性削除の際に使用する特徴量は原画像を用いて算出した。

**(2) 削除画像に対する肺結節検出**

本処理では, 正常構造に近接した結節を自動検出する。処理は (i) 前処理 (正常構造の削除), (ii) 初期候補領域の検出, (iii) 偽陽性削除の順に行うことで結節候補陰影を得る。

(i) 前処理

2. 2) (1) (i) で抽出した正常構造を原画像から削除する。

(ii) 肺結節の初期検出

削除画像に対して, 円筒型フィルタを適用し, 肺結節の検出を行う。

(iii) 偽陽性削除

削除画像に対する偽陽性削除は 2. 2) (1) (iii) と同様に行う。

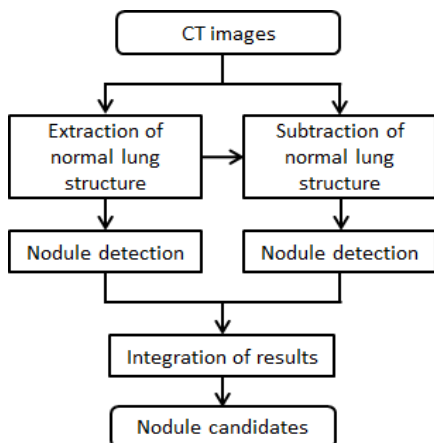
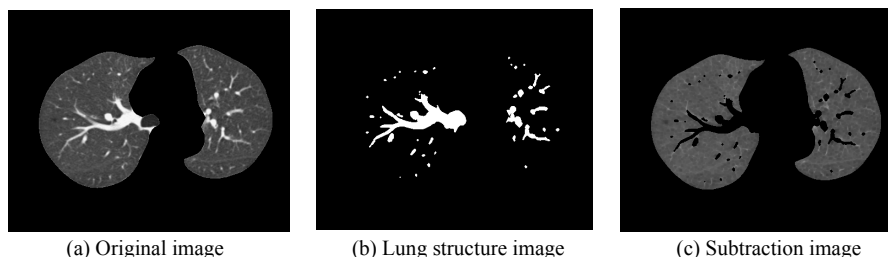


Fig. 3 Flow chart of the proposed method.



(a) Original image

(b) Lung structure image

(c) Subtraction image

Fig. 4 Processed images of the proposed method.

### (3) 検出結果の統合

上記 2.2) (1) と 2.2) (2) で独立に検出された肺結節を統合し、最終的な結節候補陰影とする。

## 3. 検証

### 1) 検証方法

LIDC の画像データベースから胸部 CT 画像 16 症例をランダムに選択した。この 16 症例に対して従来手法と提案手法をそれぞれ適用し、この中に存在する直径 4 mm 以上の結節 81 個（正常構造抽出画像に 19 個、削除画像に 62 個）を用いて評価を行った。本手法の性能は真陽性率と 1 症例あたりの偽陽性数によって評価した。

ここで、正常構造を抽出するときに使用したパラメータは、 $TH_1=40000$ ,  $TH_2=40$  とした。また、肺結節を検出するときに使用した CF のパラメータは、従来手法、提案手法ともに CF の半径を 15 mm とし、CF 処理画像から結節検出するためのしきい値は、従来手法と削除画像に対しては 100, 正常構造抽出画像に対しては 200 とした。

なお、SVM による識別には C-SVC 分類法を利用し、カーネルは 3 次の多項式関数を用いた。また、SVM による評価は交差確認法によって行い、SVM のパラメータは従来手法と提案手法における偽陽性数が同程度になるように調整した。

### 2) 結果および考察

肺結節検出結果の一例を Fig. 5 に示す。同図 (a) は正常構造に付着した結節検出例、同図 (b) は血管に近接する結節検出例である。

従来手法における真陽性率は 0.72 であり、提案手法における真陽性率は 0.79 となった。このときの 1 症例あたりの偽陽性数は提案手法、従来手法ともに 4.19 であった。従来手法と比較すると提案手法の真陽性率は向上しており、本手法により高い結節検出能力が得られることが確認された。

また、提案手法と従来手法における真陽性数の評価を行ったところ、提案手法における正常構造抽出画像から検出された結節は 19 個中 17 個、削除画像から検出された結節は 62 個中 47 個であり、従来手法における正常構造抽出画像に相当する領域から検出された結節は 19 個中 16 個、削除画像に相当する領域から検出された結節は 62 個中 42 個であった。よって、提案手法は主に削除画像からより多くの結節を検出して

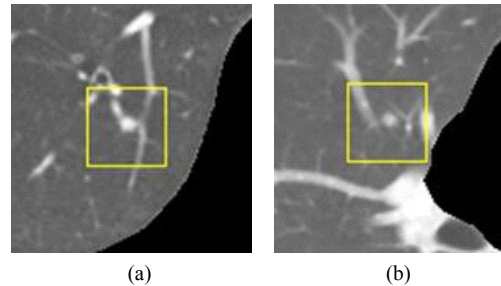


Fig. 5 Detected nodules attached or closed to the blood vessels. Boxes indicate the nodules detected by the proposed method.

いることが明らかとなった。

## 4. むすび

本研究では肺の正常構造である気管支や血管の構造を利用することで、結節検出能力を改善する手法を検討した。また胸部 CT 画像を用いて評価を行ったところ、従来手法と比較し結節検出能力が向上した。今後の課題として、さらに多くの症例にて有効性の評価を行うことがあげられる。

## 文 献

- [1] The National Lung Screening Trial Research Team: Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med* **365**: 395-409, 2011
- [2] Lee Y, Hara T, Fujita H et al: Automated detection of pulmonary nodules in helical CT images based on an improved template-matching technique. *IEEE Trans Med Imag* **20**: 595-604, 2001
- [3] Li Q, Li F, Doi K: Computerized detection of lung nodules in thin-section CT images by use of selective enhancement filters and an automated rule-based classifier. *Acad Radiol* **15**: 165-175, 2008
- [4] 早瀬陽介, 目加田慶人, 森 健策, 他: 3 次元胸部 X 線 CT 画像からの多発性小結節検出手法. *信学論 (D-II)* **J87-D-II**: 219-227, 2004
- [5] 澁谷倫子, 杉浦彰彦, 滝沢徳高, 他: 可変 N-Quoit とベクトル集中度の併用による肺結節陰影の検出. *信学論 (D)* **J93-D**: 1491-1501, 2010
- [6] Teramoto A, Fujita H: Fast lung nodule detection in chest CT images using cylindrical nodule-enhancement filter. *Int J CARS*, 2012, online first
- [7] Cristianini N, Shawe-Taylor J: An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods. Cambridge University Press, Cambridge, 2000
- [8] Zhou X, Hayashi T, Hara T et al: Automatic segmentation and recognition of anatomical lung structures from high-resolution chest CT images. *Computerized Medical Imaging and Graphics* **30**: 299-313, 2006

- [9] 森 健策, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 他 : 3 次元胸部 CT 画像からの気管支領域の自動抽出. 信学技報 **IE93-142**: 49-56, 1994

## Improving Nodule Detection in Chest CT Images Using a Cylindrical Filter Based on the Anatomical Structure of the Lung

Ai IKEYA<sup>\*1</sup>, Atsushi TERAMOTO<sup>\*1</sup>, Takeshi HARA<sup>\*2</sup>, Hiroshi FUJITA<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> *Graduate School of Health Sciences, Fujita Health University*

<sup>\*2</sup> *Graduate School of Medicine, Gifu University*

In a previous study, we developed a cylindrical filter for the detection of lung nodules in chest CT images. However, the detection rate of this method is reduced when nodules are adjacent to or overlap blood vessels or bronchi. The main objective of the present study was to develop a novel technique for improving the nodule detection capabilities of our method based on the anatomical structure of the bronchi and blood vessels obtained from CT images. In the proposed method, chest CT images are divided into a region consisting of normal lung structures (bronchi and blood vessels) and another region. Then, cylindrical filters with different characteristics are applied to the two regions. In order to evaluate the effectiveness of this method, the proposed method and the conventional method were applied to chest CT images, and their nodule detection capabilities were compared. The results showed that the true positive rate of the conventional method was 0.72, whereas that of the proposed method was 0.79. The number of false positives per case was 4.19 for both methods. These results indicate that the proposed method may be useful for improving nodule detection performance.

**Key words:** CT, Nodule, Automatic detection, Bronchus, Blood vessels

Med Imag Tech **30**(5): 293-297, 2012

\* \* \*