

木構造解析による胸部 X 線 CT 像からの肺動脈・肺静脈の自動分類

中村 翔[†] 目加田 慶人^{††} 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†] 尾辻 秀章^{†††}

[†] 名古屋大学情報科学研究科 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 中京大学生命システム工学部 〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101

^{†††} 西の京病院 〒630-8041 奈良県奈良市六条町 102-1

E-mail: [†]snaka@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, [†]{ide, murase}@is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 胸部 X 線 CT 像から肺動脈・肺静脈を自動分類する手法の改善について報告する. 肺腫瘍の良悪性鑑別を行う際に, 腫瘍に関与する肺血管の種類は重要な情報を与えるが, 肺動脈, 肺静脈は CT 値に差異が見られないため CT 値を基準に区別することは難しい. 提案手法では, 肺血管と気管支との解剖学的な配置特徴を血管枝毎に定量化する従来法に加え, 血管木構造解析により各血管を適切にグループ分けすることで, 血管同士の接触部での分類誤りを改善する. 提案手法を胸部 X 線 CT 像 3 例に適用した結果, 肺動脈・肺静脈それぞれで約 87% を正しく分類できた.

キーワード 肺動脈, 肺静脈, セグメンテーション, 胸部 X 線 CT 像

Automated Classification of Pulmonary Artery and Vein from Chest X-ray CT Images by Tree Structure Analysis

Sho NAKAMURA[†] Yoshito MEKADA^{††} Ichiro IDE[†] Hiroshi MURASE[†]
and Hideaki OTSUJI^{†††}

[†]Graduate School of Information Science, Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 464-8603 Japan

^{††}School of Life System Science and Technology, Chukyo University 101 Tokodachi, Kaizu, Toyota, 470-0393 Japan

^{†††}Nishinokyo Hospital, 102-1 Rokujo-cho, Nara-shi, Nara, 6630-8041 Japan

E-mail: [†]snaka@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, [†]{ide, murase}@is.nagoya-u.ac.jp

Abstract In this paper, we propose an improvement method to classify pulmonary artery and vein in chest X-ray CT images automatically. When a doctor discriminates between benign or malignant of lung tumors, kind of pulmonary blood vessels which are involved in tumors is very important. However there is no difference on CT values. So it is difficult to classify vessels based on CT values. Our method uses anatomical positional relations between bronchus and each vessel, and analyzes tree structure of vessels to generate appropriate vessels groups. We applied this method to three X-ray CT images. The experimental result showed that about 87% of pulmonary artery and vein were classified correctly.

Keyword pulmonary artery, pulmonary vein, segmentation, chest X-ray CT image

1. はじめに

CT 装置の高精度化に伴い, より詳細な断面画像が撮影できるようになった. しかし, 撮影枚数の増加によって読影する医師の負担が大きくなっている. このような医師の負担軽減, 診断の定量化を目的とした計算機診断支援 (Computer Aided Diagnosis, CAD) システムの開発が広く行われている. 胸部の CAD システムでは病変の検出とその良悪性鑑別が必要である. 肺腫瘍の良悪性鑑別を行う際に, 腫瘍に関与する肺血管の種類はきわめて重要な情報を与える. 腫瘍が悪性の場合, 複数の区域にまたがる傾向にあり, 腫瘍の中央に肺静脈が位置することが多い. よって計算機で肺動

脈・肺静脈を区別して認識することが必要となる [1~3]. 本稿では, 文献[4]で提案した手法を基本とし, 抽出された血管の接続関係を再検討することにより肺動脈と肺静脈の分類精度を向上させる方法について述べる.

我々の研究グループでは, 肺血管枝と気管支との解剖学的な配置特徴を利用して, 肺動脈・肺静脈の分類をおこなってきた[4][5]. そこでの分類誤りは, 肺動脈と肺静脈の接触や細線化による偽枝による場合が多く, 肺門に近い部分で多く発生していた [6]. 本稿で提案する手法は, 従来手法で抽出した肺血管芯線枝をネットワークデータとして扱い, このネットワークを適切

にグループ分けすることで、血管同士の接触部分での分類誤りを減少させるものである。

2. 気管支と肺動脈・肺静脈の配置の特徴

肺は複数の区域から構成され、各区域は区域気管支の分岐部を頂点とした錐体状の広がりを持つ。肺動脈と気管支は肺の各区域の中樞を並走して走行する。一方、肺静脈は肺の各区域の境界を走行しており、気管支と気管支の間を走行する(図1)。そこで以下の2つの特徴量を用いる[4]。まず、気管支領域からの距離 D_b を計測する。肺動脈は気管支と並走するので D_b は比較的小さくなり、肺静脈は大きくなると考えられる。次に、気管支を母点集合として3次元拡張ボロノイ分割[7]を行う。得られたボロノイ境界面を区域境界面の近似とみなし、これからの距離 D_v を計測する。肺静脈は肺区域の境界を走行するので D_v は比較的小さくなり、肺動脈は大きくなると考えられる。

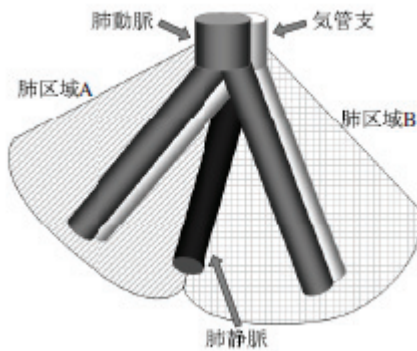


図1 肺動脈・肺静脈の解剖学的分布特徴

3. 従来法の処理手順

3.1. 血管芯線抽出

提案手法での入力は、肺門を含む3次元胸部X線CT像、気管支領域および肺野領域である。血管領域は領域拡張によって抽出する。領域拡張の条件は、半径2mmの球内すべてが-400H.U.以上とした。このとき、肺門近くの血管は先に述べた解剖学的特徴が殆どみられないため、半径4mmの球形の構造要素を用いた領域拡張で抽出し、分類対象から取り除く。次に血管領域に対して細線化と分岐点除去により血管を分割する。得られた N 本の血管芯線枝集合を $V=\{V_1 \dots V_N\}$ とし、これらの接続関係をネットワークデータとして保持しておく。これらに対して血管枝毎に前述した距離特徴量 D_b 及び D_v を計測する。その後、血管枝のグループ分けをし、グループ毎にこの特徴量に基づいて肺動脈・肺静脈のどちらかに分類を行い復元する。

3.2. 肺血管芯線枝のグループ分け

抽出した血管枝に対してグループ分けを行う。肺静脈には、局所的に気管支と並走する肺動脈枝のような特徴を示す部分がある。逆に肺動脈であっても肺静脈

のような特徴と示す部分が存在する。このため、肺血管芯線枝毎に独立に特徴量を評価した場合、誤分類を生む可能性がある。これらの枝は局所的にはなく、接続関係にある枝すべての距離特徴量を使って分類する必要がある。そこで枝の接続関係を基に肺血管芯線枝 V をいくつかのグループに分ける。

肺動脈・肺静脈は気管支同様分岐を繰り返し細くなる木構造形の臓器である。しかしながら、お互いにCT画像の上で接触している箇所が存在するため、枝の接続関係をグラフデータで表現すると、木構造データではなくネットワークデータとなる。

血管芯線枝 V の各要素をネットワークデータの辺、分岐点を頂点とするネットワークを考える。各血管芯線枝に走行方向を定義し、ネットワークの各辺を有向グラフとする。肺血管は一般に、肺門部から胸壁方向に放射状に伸びている。そこで血管芯線枝 $V_i = \{v_{i1} \dots v_{iM}\}$ の方向は、 V_i の両端点画素 v_{i1} 、 v_{iM} を肺門領域までの距離の近い画素が始点、遠い画素が終点となるベクトルの向きとする。得られた有向グラフにおいて、グラフの分割をおこなう。入次数が2以上の全ての頂点について、その頂点およびその頂点から出て行く辺の終点において分割をおこなう。図2(a)に血管芯線枝を有向グラフで表現した例を、図2(b)にその分割後の様子を示す。分割後に得られた各グラフの辺を1つのグループとし、これらのグループの集合を $G = \{G_1 \dots G_m\}$ とする。

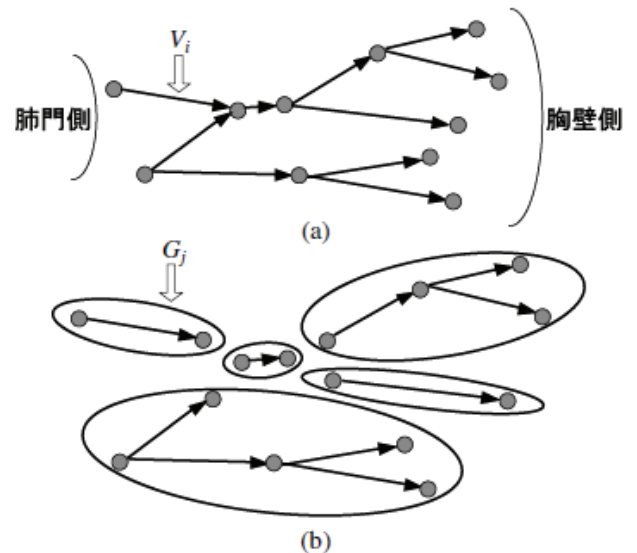


図2 肺血管芯線枝のグループ分け (a)肺血管枝から生成した有向グラフ、(b)グラフを分割しグループ分け

3.3. 分類

各グループに含まれる全枝の D_b と D_v を平均する。各症例単位でこの2つの特徴量の標準偏差が等しくなる

ように正規化した後に、2 節で述べた解剖学的な配置特徴に基づき、各グループを肺動脈と肺静脈に分類する。

4. 提案手法の概要 血管芯線グループの統合

従来法では接触部分で強制的にグループを分割していたため、グループに所属する血管枝の数が少なくなり、結果的に特徴量が安定していない箇所がみられた。その様な血管同士の接触部分でグループを妥当に接続させるために、以下の手順を開発した。まず、入次数が 2 の頂点を含む辺のベクトルを v_0 、 v_0 に接続する肺門側の辺をそれぞれ v_1 、 v_2 、 v_0 に胸壁側で接続する辺をそれぞれ v'_1 、 v'_2 とする (図 3)。次に、 v_1 と v'_1 および v_2 と v'_2 との内積、 v_2 と v'_1 および v'_2 との内積を計算する。これら 4 つの値が最大となるような組み合わせを同一グループにし、残った 2 辺も同一グループとして扱う。入次数が 3 以上の場合は、最も内積が大きな組み合わせと、残りすべてをそれぞれ同一グループとする。

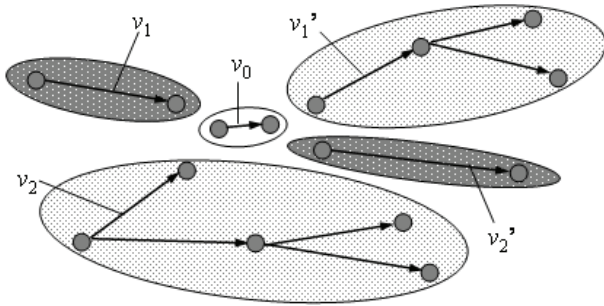


図 3 接触部の分類

ただし、この処理はもともと血管同士の距離が近い肺の上部と肺門付近と、気管支の抽出不足により距離の特徴量が偏りが生じる末梢側以外の場所で適用することとした。

表 1 症例の仕様

	Data1	Data2	Data3
スライス内画素数	512 × 512		
スライス枚数	330	156	160
スライス内画素間隔 [mm]	0.625	0.625	0.61
スライス厚 [mm]	2	1	1
再構成間隔 [mm]	1		

5. 実験

提案手法を肺門付近を含む 15~30cm の範囲が撮影された胸部 X 線 CT 像 3 例に適用した。各画像の仕様を表 1 に示す。入力肺野領域はしきい値処理と図形融合により生成したものを用いた。気管支は、文献 [8] の手法による抽出結果に対して一部の未抽出部分

を手入力により修正する。さらに、細線化、分岐点除去をしておく。計算時間は約 10~21 分 (CPU: Dual Xeon 1.7GHz) であった。なお、以下の結果の評価に用いた正解領域は、手入力で接触部を分離して抽出をおこなったもので、医師による評価済のものである。

5.1. 結果

本手法による分類結果を表 2 に示す。図 4 に Data2 について枝から復元されたボリュームデータの 3 次元表示を示す。また、従来法において接触部前後のグループの距離特徴量と提案手法で統合された後の距離特徴量の変化を図 5 に示す。図 6 に接触部での処理結果を示す。

表 2 各症例の分類結果

(a) Data1		
	肺動脈枝 (認識率)	肺静脈枝 (認識率)
提案手法	296/311 (95.2%)	225/245 (91.8%)
従来手法	293/311 (94.5%)	223/245 (91.0%)
(a) Data2		
	肺動脈枝 (認識率)	肺静脈枝 (認識率)
提案手法	336/380 (88.4%)	321/371 (86.5%)
従来手法	327/380 (86.1%)	322/371 (87.0%)
(a) Data3		
	肺動脈枝 (認識率)	肺静脈枝 (認識率)
提案手法	343/417 (82.5%)	418/520 (80.2%)
従来手法	339/417 (81.3%)	412/520 (80.8%)

5.2. 考察

表 2 より、従来手法に比べて約 1% 認識率が向上していることが分かる。図 5 と図 6 より、再グループ化によって平均化された特徴量で分類することで、接触部分の部分的な誤りが修正されたことわかる。提案手法が有効的だったのは、肺門からある程度はなれた部分であった。肺門領域に近づくにつれて肺血管同士の距離が近くなり、接触部分が多くなるため距離特徴量が安定しないことと、細線化結果に基づく血管方向の推定が安定しないことが原因である。

6. むすび

本稿では、胸部 X 線 CT 像からの肺動脈・肺静脈の分類に対し、特に、血管同士の接触部分での認識率向上を目指して血管の接続関係の改善をおこなった。提案手法により、全体で約 1% の認識率向上が確認でき、肺動脈枝の 83%~95%、肺静脈枝の 82%~92% について正しく分類することができた。

今後の課題として、肺上部での改善手法の検討、多症例への適用が挙げられる。

謝辞 日頃熱心に討論して頂く村瀬研究室諸氏に感謝する。本研究の一部は、文部科学省・日本学術振興会科研費、文部科学省私立大学 HRC 補助金及び、厚生労働省がん研究助成金によった。

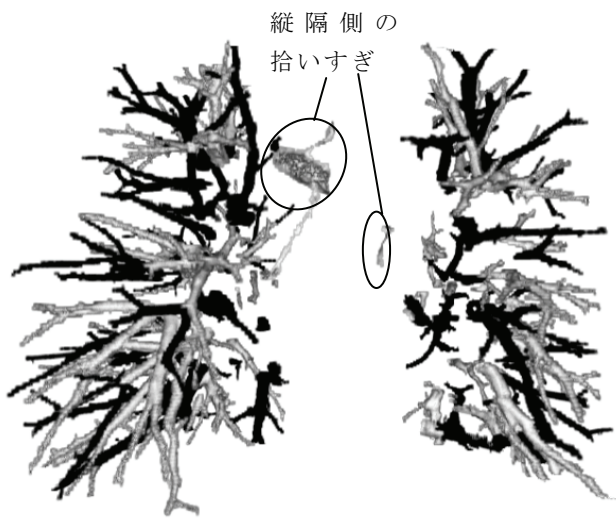


図 4 抽出結果の 3 次元表示 (Data2, 淡: 分類結果の肺動脈領域, 濃: 分類結果の肺静脈領域)

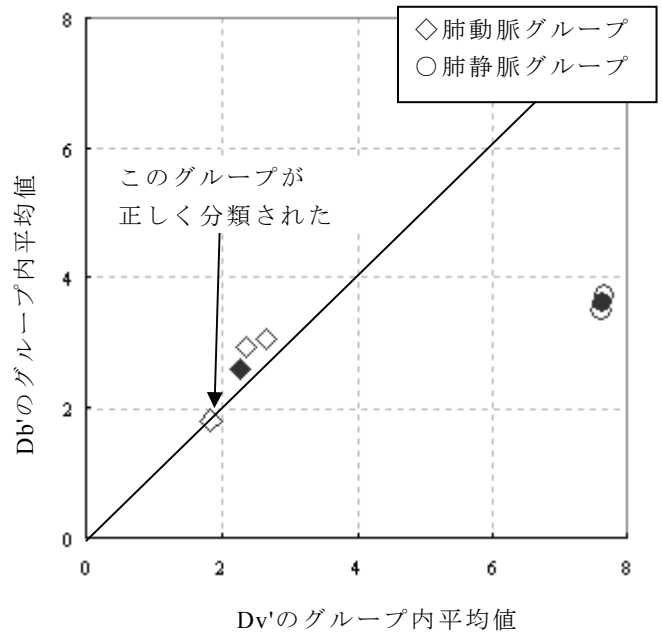


図 5 グループ内で平均をとった特徴量の散布図 (濃: 再グループ化後のグループ)

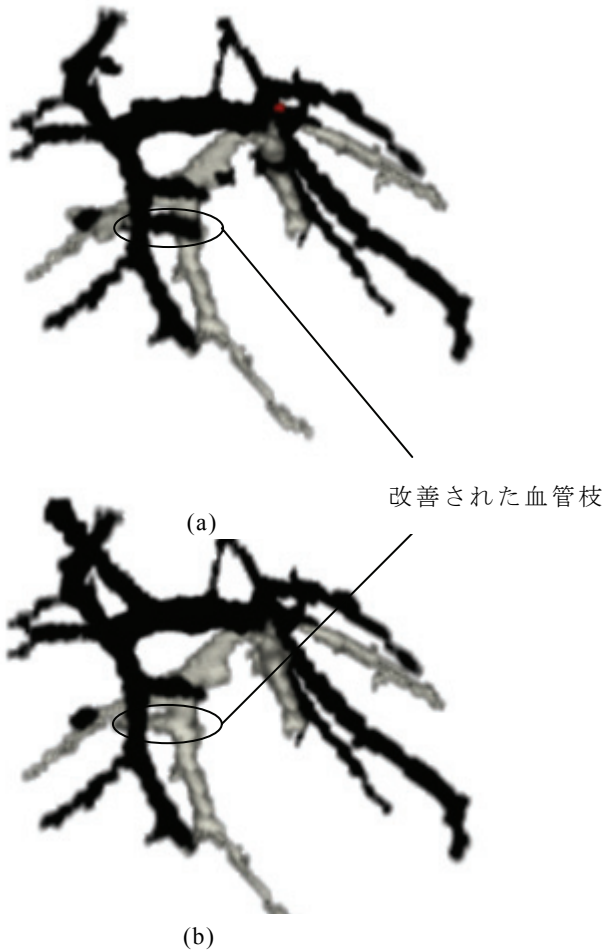


図 6 接触部での処理結果の 3 次元表示 (a)従来手法 (b)提案手法

文 献

- [1] 西尾貴志, 河田佳樹, 仁木登, 他 “マルチスライス CT 画像を用いた肺動脈・肺静脈抽出アルゴリズム,” 信学技報, Vol.105, No.169, pp.31-35, 2005
- [2] 西尾貴志, 財田伸介, 久保満, 他 “肺動脈・肺静脈分類アルゴリズムの為の特徴量算出方法,” 第 15 回コンピュータ支援画像診断学会・第 14 回コンピュータ外科学会合同講演論文集, pp.279-280, 2005
- [3] 四方秀則, 北岡裕子, 佐藤嘉伸, 田村進一, 上甲剛, 中村仁信 “肺血管構造の空間分布評価による肺結節の診断支援,” 第 19 回日本医用画像工学会大会, 大阪, pp.499-500, 2000
- [4] 目加田慶人, 田中友章, 村瀬洋, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 尾辻秀章 “血管と気管支の空間的配置特徴に基づく胸部 X 線 CT 像からの肺動脈・肺静脈自動分類,” 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol.J88-D-II, pp.1421-1431, (Aug. 2005)
- [5] S. Nakamura, Y. Mekada, et al. “Pulmonary artery and vein classification method using spatial arrangement features from X-ray CT images,” Proceedings of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS) 2005, p.1403 (June 2005)
- [6] 中村 翔, 目加田慶人, 井手 一郎, 村瀬 洋, 尾辻 秀章 “空間的配置特徴に基づく胸部 X 線 CT 像からの肺動脈・肺静脈分類 手法の能力評価,” 2004 年度電気関係学会東海支部連合大会 講演論文集, O-488, Sep. 2004
- [7] Y. Hirano, et al. “Computer classification of lung tumors from chest CT images according to the types of tissue using 3D extended Voronoi diagram,” Proceedings of Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS) 2002, pp.729-732, 2002.
- [8] T. Kitasaka, et al. “A Method for Extraction of Bronchus Regions from 3D Chest X-ray CT Images by Analyzing Structural Features of the Bronchus,” Forma, Vol.17, pp.321-338, 2002.