

上気道 MR 画像における舌領域の自動抽出

苫小牧工業高等専門学校 ○下野優作、三上 剛

要旨

日本での睡眠時無呼吸症候群(SAS)の患者は年々増加しており、SAS 重症度を診断出来る手法に注目が集まっている。重症の SAS 患者を MRI を用いて識別する手法が提案されているが、その手法には患者の舌領域を手動で抽出しなければならないという問題がある。本稿では、その問題を解決するために、閾値処理によって閉曲線が膨張する Snakes を用いた舌の輪郭の自動抽出の手法を提案する。

1 はじめに

日本での睡眠時無呼吸症候群(Sleep Apnea Syndrome: SAS) [1]の顕在患者数は、約20万人いるとされており、年に10%以上の増加を続けている。SAS の診断のためには、ポリソムノグラフ検査が必要であるが、これは検査入院を要す大掛かりなものであり、患者の負担も大きい。そのため、検診レベルで容易に SAS 重症度を診断出来る手法に注目が集まっている。

一方、SAS 患者の8割以上を占める閉塞型 SAS (OSAS) に着目すると、その原因である睡眠中の気道の閉塞は、筋弛緩による軟口蓋、口蓋扁桃、舌根の沈下によって引き起こされる。そのため、上気道部 MR 画像を調べることは初期診断として有効であることが知られているが、OSAS の画像診断に関する十分な知識と経験が必要である。以上の背景に基づき、三上ら[2]は、上気道の MR 画像における舌領域の形態的特徴について画像解析を行い、重症 OSAS 患者を識別する手法を提案しているが、舌領域をマウスを用いて手動で抽出しなければならないという問題点があった。

本研究では、上気道 MR 画像において舌の領域を自動的に抽出する手法を提案する。

2 手法

2-1 MRI データ

本研究では、国立病院機構函館病院で受診した OSAS 患者の上気道 MR 画像を用いた。MR 画像は睡眠時に撮影したものではないが、OSAS 患者の場合、覚醒時でも上気道の狭小化が見られる事が分かっている[1]。尚、OSAS 患者の MRI を使用するにあたって、国立病院機構函館病院の臨床研究倫理委員会において承認を得ている。

2-2 Snakes の原理

本研究では舌領域を抽出する手法として Snakes[3][4]を用いた。Snakes は、動的輪郭法(Active Contour Model)の一つであり、画像における輪郭線の抽出をエネルギー関数の最小化問題として扱う手法である。輪郭が連結した滑らかな曲線として得られることが特徴である。

手順としては、まず初期閉曲線を設定し、エネルギー関数を定義する。エネルギー関数は一般的に内部エネルギーと画像エネルギーおよび、外部エネルギーの和で表される。それぞれのエネルギーは閉曲線の形状や、画像の輝度などで値が決定する。内部エネルギーは、閉曲線が小さく、滑らかなものであれば値が小さくなり、画像エネルギーは輝度変化が大きければ小さい値をとる。外部エネルギーについては、抽出対象とする物体や、手法の応用に応じて定義されるものであるが、本研究では考慮していない。

このエネルギー関数が最小となるように初期閉曲線の形状を変化させていき、最終的に抽出を行いたい輪郭の閉曲線を

得る手法である。

2-3 アルゴリズムについて

Snakes の解法としては greedy アルゴリズムを用いたものなど複数の手法が提案されているが、本研究では、以下のようアルゴリズム[5]を用いた。

エネルギー関数を離散化する。閉曲線としては離散化した点の集合である $\{v_i\} (i = 0, 1, \dots, N-1)$ を定義し、この点列を直線で結んだ多角形を閉曲線に近似したものとして用いる。離散化を行ったそれぞれの点とその8近傍の点に対して、式(1)で定義するエネルギー関数 ϵ_i を求め、その中で ϵ_i を最小化するような移動を与え、収束した閉曲線を最終的な輪郭線とする。

$$\epsilon_i = \alpha \epsilon_{cont,i} + \beta \epsilon_{curv,i} + \gamma \epsilon_{image,i} \quad (1)$$

但し、

$$\epsilon_{cont,i} = |v_{i+1} + v_i|^2 \quad (2)$$

$$\epsilon_{curv,i} = |v_{i+1} - 2v_i + v_{i-1}|^2 \quad (3)$$

$$\epsilon_{image,i} = -\frac{I_{v_i} - I_{\min}}{\max(I_{\max} - I_{\min}, 5)} \quad (4)$$

である。

α 、 β 、 γ は定数、 I_{v_i} は点 $v_i(x, y)$ における輝度値、 I_{\max} は点 $v_i(x, y)$ の8近傍における最大の輝度値、 I_{\min} は点 $v_i(x, y)$ の8近傍における最小の輝度値である。

また、 $\epsilon_{cont,i}$ と $\epsilon_{curv,i}$ は2-2における内部エネルギー、

$\epsilon_{image,i}$ は2-2における画像エネルギーに相当する。

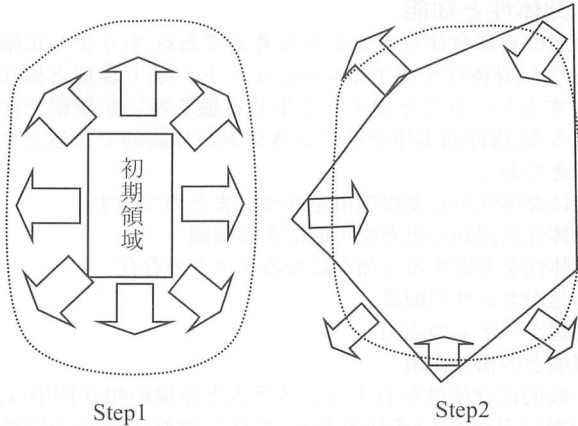
2-4 提案手法

本研究の手法では、MR 画像の舌領域の内部に Snakes の初期点列を配置し、閉曲線を膨張させることで最終的な舌領域を得る。

初期の点列としては、舌領域に収まる大きさの長方形とした。これを舌の領域の内部に配置し、長方形の外側へ点を移動させていく。本研究で用いた式(1)による Snakes は外部エネルギーを考慮していないため、閉曲線の膨張が基本的に起こりにくい。そのため、閾値処理を用いて曲線を膨張させるようにした。閾値処理の内容については、点 $v_i(x, y)$ とその8近傍の点に対して式(1)を適用した際に、得られた値の中から最大値と最小値を比較し、差を求める。その値が閾値以下であれば、初期に与えた点列における点 $v_i(x, y)$ の位置に基づいて、強制的に閉曲線が膨張する方向に点 $v_i(x, y)$ を移動

させ、閾値以上であれば2-3に示したアルゴリズムに基づいた移動を点 $v_i(x, y)$ に与えるというものである。

図1は提案手法を適用した際の閉曲線の様子である。処理全体の流れとして、手法の初期段階に当たる Step1では関数の最大値と最小値の差が小さく、閉曲線は膨張していく。ある程度閉曲線が膨張した後に Step2に入る。抽出対象の輪郭の付近での輝度変化が大きいものだとすると、式(1)の画像エネルギー項が大きくなる点が出てくるため、 $v_i(x, y)$ の8近傍における ε_i の最大値と最小値の差が大きくなる。そこで閾値以上になると本来の Snakes のアルゴリズムにしたがって閉曲線が収束していく。



— : 提案手法により移動を行う閉曲線
 : 抽出対象の輪郭

図1 提案手法の処理内容

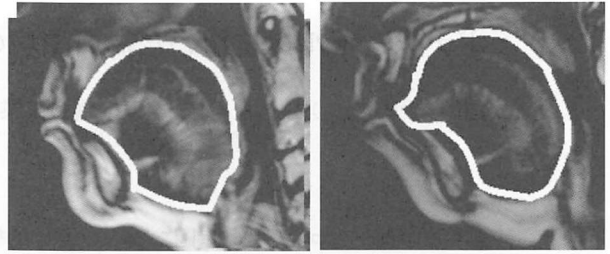


図3 舌領域を手動で抽出した場合

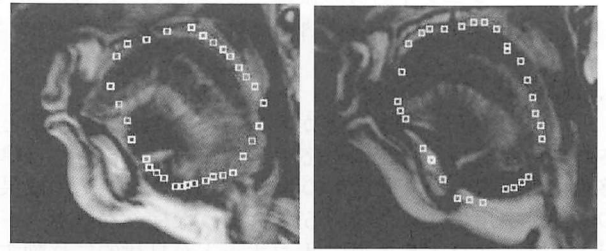


図4 出力画像(舌部拡大)

これは、Snakes の欠点として、式(1)中の定数 α 、 β 、 γ の値の変化に敏感であるため、輪郭を抽出するための係数の設定が難しいことや、初期閉曲線の形状や配置を少し変化させただけで、最終的な閉曲線の形状が大きく変化してしまうという点がある。また、提案手法では α 、 β 、 γ や、初期閉曲線の形状だけでなく、閾値の値も手動で設定する必要があり、2-3に示したアルゴリズムと比べても手動で設定する必要がある値が多くなっているため、最適なパラメータの組み合わせを見つけることが難しくなっている。以上のことが抽出できていない領域、誤抽出される領域が存在している理由であると考えられる。

3 結果と考察

入力画像とそれに与えた輪郭の初期形状を図2、手動で舌領域の抽出を行った場合の画像を図3、出力画像の舌領域部分を拡大した画像を図4に示す。

図2においては、舌領域の中央部の長方形が初期輪郭である。また、図4については、舌領域内部の外側に位置する点が2-3に示した $v_i(x, y)$ に当たる点である。

図3の手動で抽出した場合と図4の提案手法の抽出結果を比較すると、提案手法で抽出した結果 OSAS の診断に必要な舌と気道の境界部分は抽出できているため、おおむね良好であると考えられる。しかし、提案手法を用いて舌の領域の抽出を行った場合の傾向として、舌の先端部まで点が到達していないために、抽出した領域内にその部分が入っていない傾向がある。また、図4の右側の画像のように抽出した領域が下の歯の部分まで含んでしまっている場合もある。

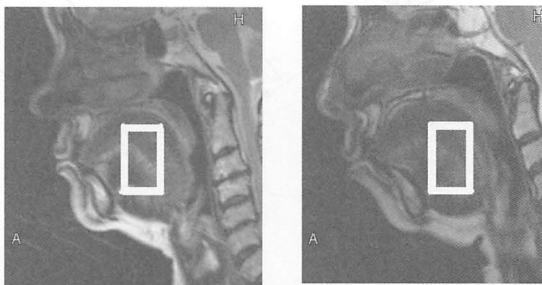


図2 初期輪郭の形状(舌部拡大)

4 まとめ

提案手法により、OSAS の診断のために必要である舌領域と気道部分の境界が抽出できているため、得られた抽出結果はおおむね良好なものであると考えているが、抽出できていない部分や、誤って抽出している部分が存在する。

本研究で用いた手法について、現状は画像ごとに適した式の係数や、初期輪郭の形状をプログラム中で指定することになっているが、この方法では、適切なパラメータの組み合わせを見つけることは難しい作業である。

今後は前処理や、外部エネルギー項の導入、Snakes の発展的な手法を用いるなどの事項を検討し、パラメータの変更などを必要とせず、様々な MR 画像に対して普遍的に適用でき、本稿の提案手法よりも精度の高い手法の開発を目指す。

参考文献

- [1] 本間栄, "睡眠時無呼吸症候群", 克誠堂出版, 2009
- [2] T. Mikami, K. Yonezawa, Y. Kojima, M. Yamamoto, M. Furukawa, "Tongue Morphology Analysis from the Upper Airway MRI for the Diagnosis of Obstructive Sleep Apnea", Proc. of 34th IEEE EMBC 2013
- [3] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour models," International Journal of Computer Vision, Vol. 1, No. 4, pp. 321-331, 1988
- [4] 柴藤稔, "動的輪郭モデル Snakes の概観", MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol.12, No.1, pp.9-15, 1994
- [5] 倉爪亮, "レベルセット法とその実装法", 情報処理学会研究報告, コンピュータビジョンとイメージメディア, 2006-CVIM-156, Vol.2006, No.115, pp.133-145, 2006