

人体解剖モデルを用いた CT 画像からの自動肝臓抽出

Automatic Liver Extraction Using Human Anatomical Model

from CT images

○谷澤理一*, 張山昌論*, 亀山充隆*, 小林康浩**, 下田貢***

○Riichi Tanizawa*, Masanori Hariyama*,

Michitaka Kameyama*,

Yasuhiro Kobayashi**, Mitsugi Shimoda***

*東北大学, **小山工業高等専門学校, ***獨協医科大学

*Tohoku University, ** Oyama National College of Technology,

***Dokkyo Medical University

キーワード : 自動肝臓抽出:(Automatic Extraction of Liver Area),

コンピューター支援手術計画(Computer-Assisted Surgical Planning),

3次元画像処理(3-D image processing), ローカルシックネス(Local Thickness)

連絡先 : 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

東北大学大学院情報科学研究科 情報基礎科学専攻 亀山・張山研究室 谷澤 理一

Tel: (022)795-7155, Fax: (022)263-9167, E-mail: tanizawa@ecei.tohoku.ac.jp

1. はじめに

手術前に CT/MRI 画像から患部の 3 次元構造を構築し、手術計画を行う事が重要となってきた。しかしながら、肝臓のように複雑な構造を有する臓器の 3 次元構築においては、現状の画像処理ソフトウェアの抽出性能が低いため、手動

により多数の修正を行う必要があり、その作業時間が膨大となるという問題がある。また、作業者の熟練度により構築結果がばらつくなどの問題がある。

これらの問題を解決するために、本研究グループでは、肝臓外科手術を対象として、精度の高い臓器抽出、血管抽出、術式を考慮した支配領域推定等の自動化

に向けて研究を行っている¹⁾³⁾。

本稿では、肝臓領域抽出後に臓器の形状情報に基づき高精度な肝臓領域を抽出する手法を提案する。

従来の肝臓領域抽出法は、CT 画像の輝度値に基づき肝臓領域を抽出していた。そのため、横隔膜や脾臓、筋肉など輝度値が類似している周辺臓器領域も肝臓領域として抽出してしまう問題があった。

一方、提案手法では、3次元構造情報を表す特徴量である Local Thickness⁴⁾を利用する。周辺臓器を含んだ肝臓候補領域をクラスタリングすることで、より高精度な肝臓領域の抽出を実現する。

2. Local Thickness に基づく肝臓領域の抽出

2.1 形状に基づく高精度な肝臓領域抽出

CT 画像では部位ごとに CT 値(輝度値)が異なる。そのような性質に着目し肝臓領域を抽出するための典型的な方法の一つは領域成長法(リージョングロウイング)である。領域成長法では、抽出対象中でシードと呼ばれる1点を指定し、シード付近から、CT 値が似ている点を同一領域として抽出していく方法である。

しかしながら、ボクセル単位での領域成長法では、CT 値の変化に弱いという問題点がある。例えば、周辺の CT 値が似ている心臓などの周辺臓器の領域を肝臓領域として抽出したり、CT 値が低い領域を肝臓領域として認識できない。そこで、本研究では、よりロバストな領域成長法として、球領域を単位とする領域成長法を提案している。

CT 画像中での肝臓領域は以下の特徴を

有する。

1) CT 値が周辺臓器(筋肉、脂肪など)に比べ高い

2) 内部での CT 値の変化が少ない

これらの特徴に着目し、球領域で下記の条件を満たす領域を肝臓候補領域として抽出する。

1) $T_{int_low} < (\text{球領域の CT 値平均}) < T_{int_high}$

2) $(\text{球領域の CT 値の標準偏差}) < T_{sd}$

ただし、 T_{int_low} は CT 値しきい値下限、 T_{int_high} は CT 値しきい値上限、 T_{sd} は CT 値標準偏差しきい値とする。

抽出結果を図 1.(a)に、3次元表示したものを図 1.(b)-(d)に示す。周辺臓器と CT 値が類似しているため、心臓や脾臓領域まで抽出されていることがわかる。この問題点を解決するために、Local Thickness を用いた高精度な肝臓領域の抽出手法を提案する。

2.2 Local Thickness に基づく肝臓抽出アルゴリズム

2.2.1 Local Thickness

Local Thickness の概念図を図 2 に示す。Local Thickness(LT)とは、ある物体の内部のボクセル V について、自身が含まれなおかつ物体に接する最大の球の直径 $2R$ を求めた値である(図 2)。厚い部位では大きな値を持ち、薄い部位では小さな値を持つことがわかる(図 3.(a)-(b))。

肝臓領域抽出において、肝臓と他臓器が同時に抽出されている場合、複数臓器接続部分の厚みは臓器中心部よりも小さいと考えられる。よって LT が極小となる部位を複数臓器接続部として分割することで、より高精度な肝臓領域の抽出が

実現可能となる。

2.2.2 提案アルゴリズム

提案する肝臓抽出アルゴリズムは大きく分けて 4 ステップで構成される(図 4)。はじめに、従来手法を用いて肝臓候補領域の抽出を行う。次に、抽出結果から LT を算出する。次に、肝臓領域のクラスタリングを行う。最後に、クラスタリングの結果を元にクラスタの統合を行う。最終的に肝臓領域と他臓器領域が分離した結果が得られる。

以下では LT に基づくクラスタリングと、クラスタ統合の詳細について述べる。

Local Thickness に基づくクラスタリング

クラスタリングはクラスタの中心となるコア探索処理とコア肥大化処理の二つの処理から成る。はじめに、最大の LT を持つボクセルを基準ボクセルとする。次に、基準ボクセルに隣接しているボクセルを肥大化候補ボクセルとし、基準ボクセルと肥大化候補ボクセルの LT を比較する。肥大化候補ボクセルの LT が基準ボクセル以下である場合、肥大化候補ボクセルをクラスタに統合し新たな基準ボクセルとする。肥大化をクラスタが変化しなくなるまで繰り返し行う。肥大化終了後は再度コア探索処理に戻る。すべてのボクセルがいずれかのクラスタに所属するまでコア探索処理とコア肥大化処理を繰り返す。

クラスタ統合処理

クラスタ統合の際に用いる表面ボクセル

、接続ボクセルについて説明する(図 5.(a)-(b))。まず表面ボクセルについて述べる。あるボクセルの周囲 26 近傍を探索し、外部ボクセルまたは自身が所属するクラスタ以外のクラスタボクセルが存在するときこれを表面ボクセルとする。次に接続ボクセルについて述べる。あるボクセルの周囲 26 近傍にクラスタ j のボクセルがある場合、これをクラスタ j との接続ボクセルとする。

表面ボクセルと接続ボクセルを用いてクラスタ同士の接続関係を表す接続度という値を定義する。接続度 C を以下のように定義する。

$$C_{ij} = V_{\text{connect}_{ij}} / V_{\text{surface}_i}$$

ただし、 i はクラスタ番号、 j は対象隣接クラスタ番号、 $V_{\text{connect}_{ij}}$ は対象隣接クラスタ j と接しているクラスタ i の表面ボクセル数、 V_{surface_i} はクラスタ i の表面ボクセル総数。

接続度に基づき統合処理を行う。接続度 C_{ij} が一定以上の場合、クラスタ i をクラスタ j に統合する。

3. 評価・考察

従来手法を用いて肝臓領域抽出を行い、その結果に提案手法を適用した。クラスタ統合の際に用いる接続度のしきい値は 0.5 に設定した。

図 6.(a)-(d)に提案手法の結果を示した。抽出結果が肝臓領域と脾臓領域、心臓領域にクラスタリングされていることがわかる。

図 7.(a)-(c)に肝臓脾臓連結部の詳細を示した。脾臓領域を肝臓領域と誤認識し

ている部分が存在する。これは、LT の極小値が肝臓領域と脾臓領域の境界部分ではなく脾臓側に存在していたためである。今後クラスタリング方法を改善する必要がある。

Microscopy Volume 185, Issue 1, pages 67-75, January 1997

4. まとめ

肝臓領域認識に形状特徴を表す特徴量 Local Thickness を用いることで、肝臓領域と周辺臓器領域を分離可能である高精度な肝臓抽出方法を提案した。提案手法を用いた結果、肝臓領域と周辺臓器領域を概ね分離することができた。しかし、脾臓領域の一部を肝臓領域として誤認識してしまった。今後改善が求められる。

参考文献

- 1) 岡田萌, 張山昌論, 亀山充隆, 下田貢, 小林康浩, "高精度血管抽出に基づく門脈支配領域推定", 電気関係学会東北支部連合大会, Oct, 2012
- 2) 尾形吉隆, 張山昌論, 亀山充隆, 下田貢, "グラフ構造解析に基づく肝臓血管の自動抽出", 電気関係学会東北支部連合大会, Oct, 2012
- 3) 下田貢, 清水崇行, 張山昌論, 窪田敬一, "血管グラフ構造を用いた門脈自動追跡の使用経験", 第7回肝癌治療シミュレーション研究会, I-1,p.18(2012-10-06, ホテル日航 熊本)
- 4) T Hildebrand, P. Rügsegger, " A new method for the model-independent assessment of thickness in three-dimensional images.", Journal of

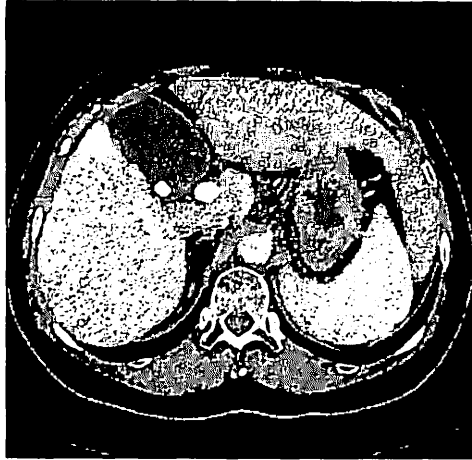


图 1.(a) 従来手法抽出結果



图 1.(d) x 軸方向視点

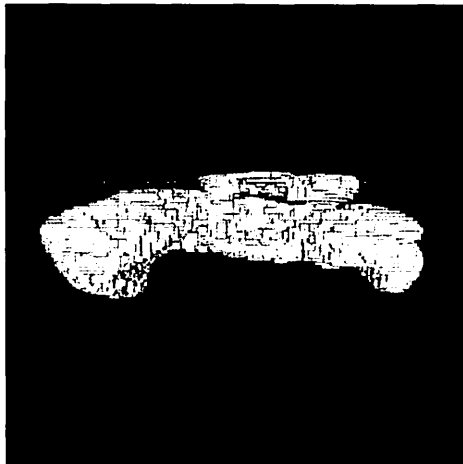


图 1.(b) 従来手法抽出結果 y 軸方向視点

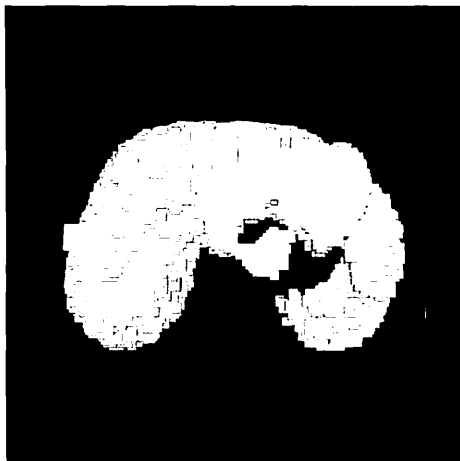


图 1.(c) z 軸方向視点

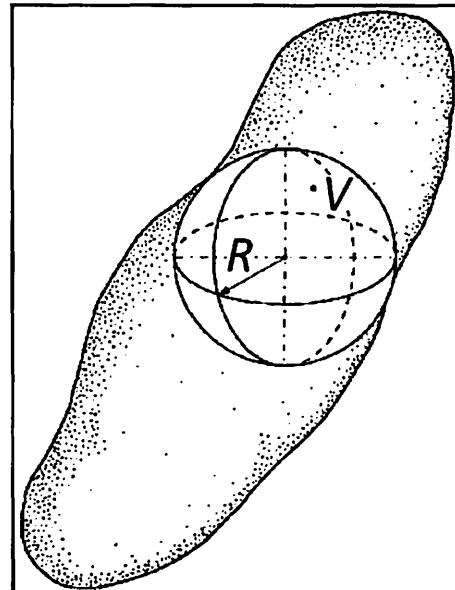


图 2 Local Thickness 概念图

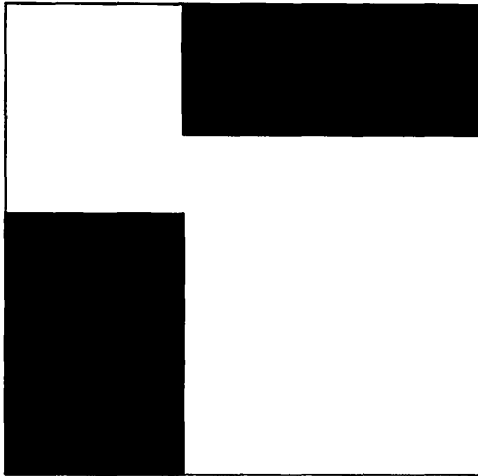


図 3.(a) 原画像

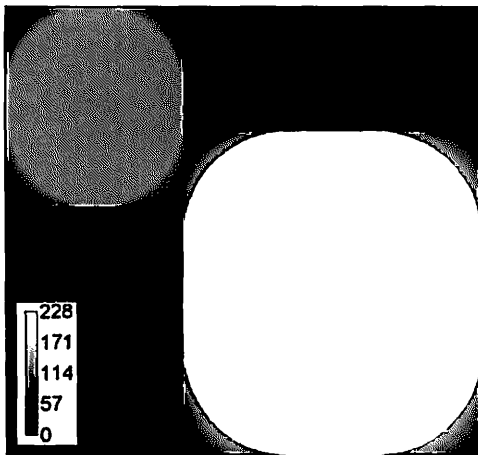


図 3.(b) Local Thickness 計算結果

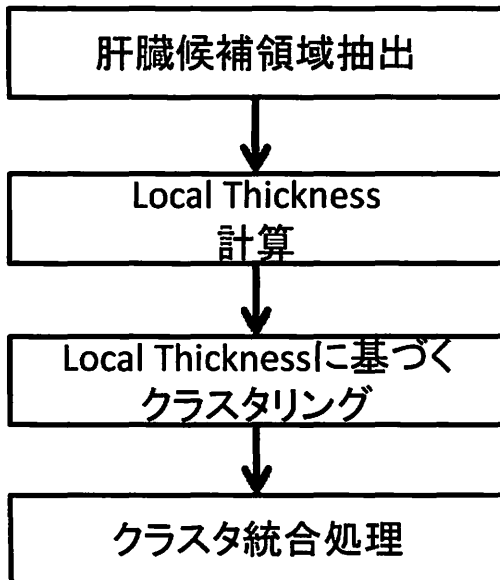


図 4 提案アルゴリズムフローチャート

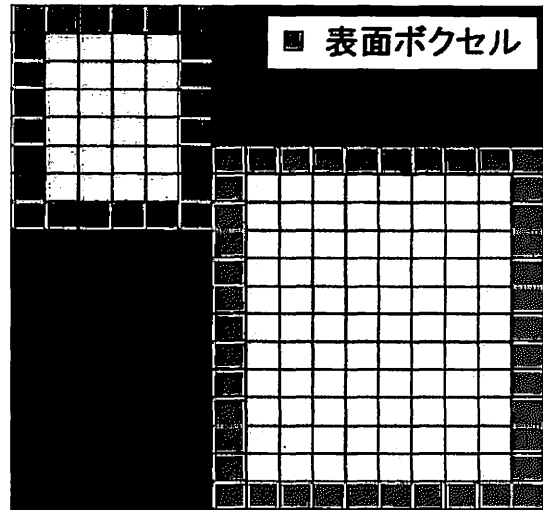


図 5.(a) 表面ボクセル解説図

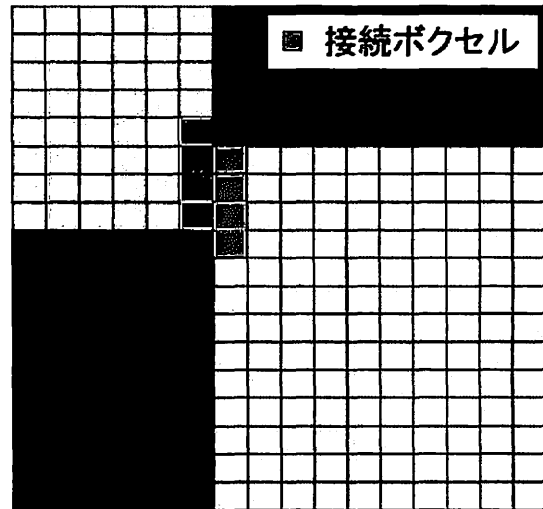


図 5.(b) 接続ボクセル解説図

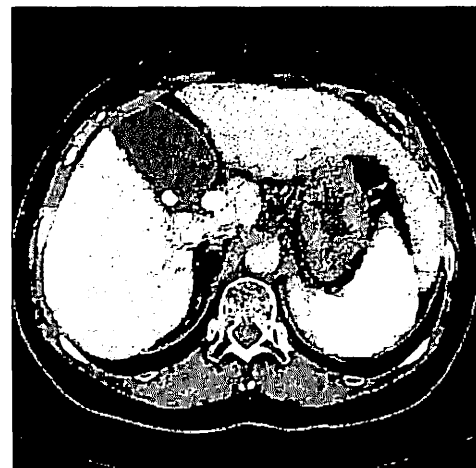


図 6.(a) 提案手法適用結果



图 6.(b) 提案手法抽出結果 y 軸方向視点

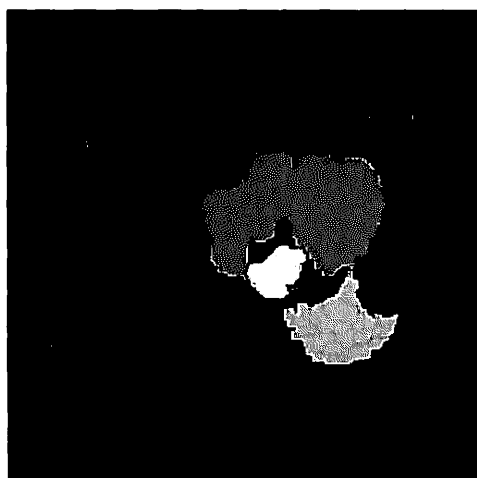


图 6.(c) z 軸方向視点

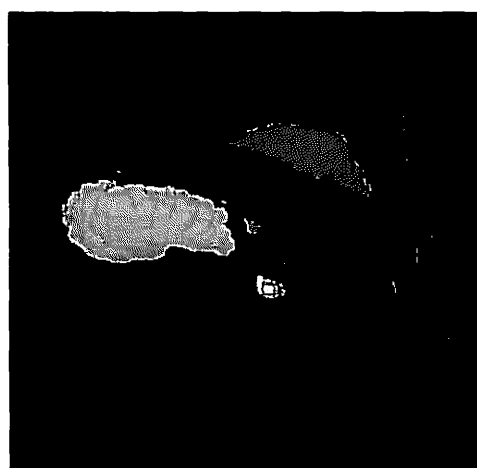


图 6.(d) x 軸方向視点



图 7.(a) 肝臓脾臓誤抽出部 y 軸方向視点

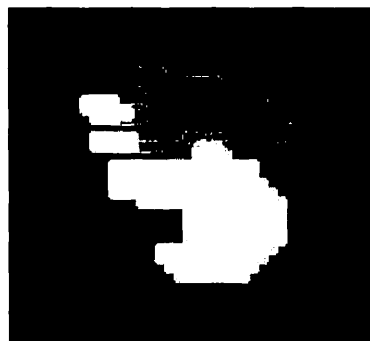


图 7.(b) 肝臓脾臓誤抽出部拡大図

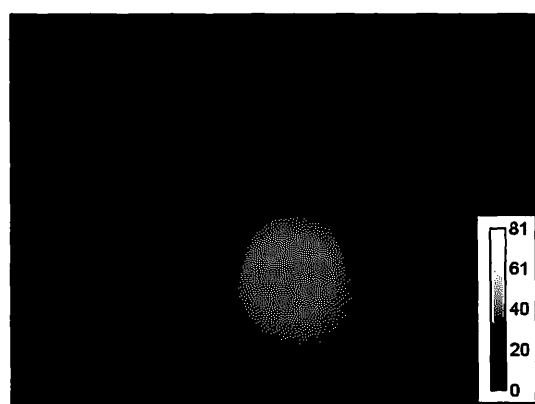


图 7.(c) 肝臓脾臓誤抽出部 LT 図