

非造影 X 線 CT 画像を用いた中肝静脈の芯線の自動抽出手法の開発

松浦 光希[†] 北川 秀夫[†] 北川 輝彦[‡]岐阜工業高等専門学校 先端融合開発専攻[†] 岐阜工業高等専門学校 電子制御工学科[‡]

1. はじめに

肝臓は人間の臓器の中で唯一再生する臓器であり、臨床現場において外科的な区域切除で病変部を摘出することが多い。肝臓内領域において CT 画像上で目視可能な血管は主に静脈と門脈でこれらの位置情報により分類されている。肝臓領域は Couinaud の亜区域分類が可能である。

¹⁾ 肝内の手術を行う際 Couinaud の亜区域分類によって術式が明確化され医師の負担の減少が期待される。しかし、肝内血管は実肝臓の CT 値と類似しているため目視での判断が困難である。現在でも CAD システムの構築に向けて多数の研究が行われているが、その中でも生命活動において重要度の高い肝臓領域に関する肝臓 CAD システムの構築は臨床現場からの期待も大きな分野である。そのため本研究では CAD システムの基礎技術として、また肝静脈の分類を目的として中肝静脈の芯線の自動抽出を行う。

2. 中肝静脈領域抽出

2.1 Couinaud の肝区域

Couinaud の肝区域は肝臓の部分切除を行う際に基準とする区域分けであり、主に容積計算、疾患領域の特定、外科的手術の際に用いられる。肝区域の各領域は Fig. 1 に示す 8 領域で S1~S8 と呼ばれている。¹⁾

2 分割は下大静脈 (IVC) と胆嚢窩を結ぶ仮想の線 (カントリー線, Cantlie 線) で機能的に右葉と左葉に大きく分けられ、この境界線には実際に中肝静脈 (MHV) が走行するため中肝静脈の抽出が一つの指標になる。

2.2 線構造強調フィルタ²⁾

線構造強調フィルタはガウシアンバンドパスフィルタとヘッセ行列の固有値に基づく線フィルタ²⁾ の二つのフィルタで構成されている。ガウシアンバンドパスフィルタは肝血管領域の平均と標準偏差を μ と σ としたとき、(1)式で表される。

$$p(x) = \mu \frac{[-\{I(x) - \mu\}^2]}{2\sigma^2} \quad (1)$$

本フィルタは肝臓血管の平均値 μ に近い濃度値をもつボクセルを選択的に強調可能である。またヘッセ行列の固有値に基づく線フィルタはボクセルの輝度値の変化に応じてヘッセ行列の固有値の傾向が変化する性質を利用し線状かつツリー状構造を抽出するものである。

2.3 検出アルゴリズム

本研究では非造影 X 線 CT 画像から肝臓領域を抽出し、その領域から肝血管領域を抽出する。肝臓領域の抽出は従来の二値化処理及び形状処理によって行う。その後、線構造強調フィルタ²⁾により、脈管構造の濃度分布を示す領域を強調³⁾し、領域拡張処理を用いて中肝静脈を抽出、その後細線化処理を行い中肝静脈の芯線を抽出する。本抽出手法の大まかな流れを Fig. 2 に示す。

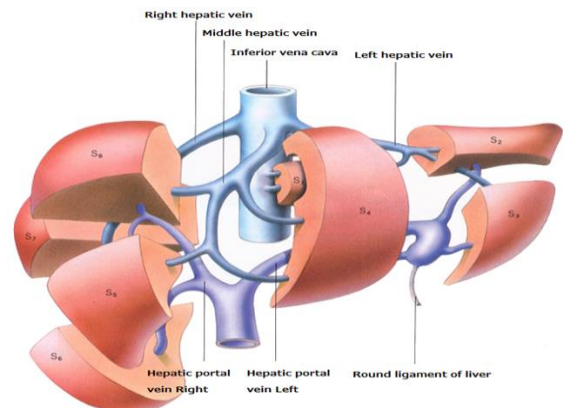
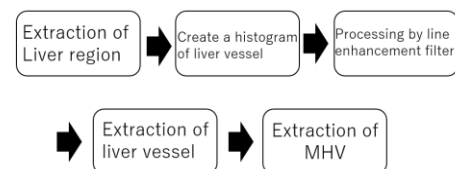
Fig. 1 Couinaud classification of liver¹⁾

Fig. 2 Flowchart of MHV extraction method

3. 実験

3.1 実験試料

非造影三次元 X 線 CT 画像 : 4 症例
(九州国立がんセンター)

Development of an automatic extraction method for core line of middle hepatic vein using non-contrasted X-ray CT images
Koki Matsuura[†] Hideo Kitagawa[†] Teruhiko Kitagawa[†]
[†]Advanced Course for Interdisciplinary Technology Development, National Institute of Technology Gifu College
[‡]Department of Electronic Control Engineering, National Institute of Technology Gifu College

3.2 結果

線構造強調フィルタ処理結果を Fig. 3(a), 肝血管領域の抽出結果を Fig. 3(b), 中肝静脈の抽出結果を Fig. 3(c), 中肝静脈の芯線の抽出結果を Fig. 3(d)に示す。

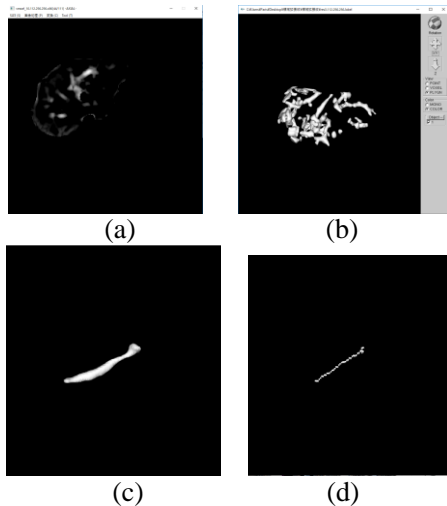


Fig. 3 Example of extraction method for HMV core line

- (a) Result of line filter process
- (b) Hepatic vascular region
- (c) Extracted result of middle hepatic vein
- (d) Thinning of middle hepatic vein

4. 芯線の評価

芯線の評価方法は、正解画像から抽出した芯線と検出アルゴリズムによって抽出した芯線の始点を揃え、抽出芯線と正解画像の芯線の3次元的角度の差、また二乗誤差によって評価を行う。これらの指標は Couinaud の区域分類として有用だと考えられる。芯線のユークリッド距離及び3次元構造でのなす角度を Table 1 に示す。また二乗誤差を Table 2 に示す。Table 1 より θ , ϕ の角度が平均誤差 2.5[deg], 2.9[deg]である。Table 2 より平均約 12.6[voxel]の二乗誤差が確認できる。

Table 1 Distance and angle of the core line

case		Euclidean distance	θ [deg]	ϕ [deg]
1	Goldstandard	53.1	118	16.1
	Estimated line	38.7	116.1	18.4
2	Goldstandard	31.9	114	15.9
	Estimated line	35	109.3	15.7
3	Goldstandard	45.4	112	28.4
	Estimated line	46	111.7	32.5
4	Goldstandard	47.9	82.8	30.3
	Estimated line	42.7	85.8	25.3

Table 2 Square Error of the core line

case	Square Error
1	4.82
2	16
3	14.2
4	15.5

5. 考察

線構造強調フィルタ処理において Fig. 3 より実際には肝血管でない肝臓の輪郭部分が強調されてしまっている。輪郭部分においては線構造強調フィルタ内のパラメータを変化させ、過抽出を防ぐ。また、肝嚢胞などの病変部が血管の濃度値と類似しており、そこを血管とみなし連結しているものとして抽出してしまっている。これは芯線抽出においても問題があるため線フィルタのように塊状のフィルタの適用により削除できると考えられる。

Table 1 より 4 症例で精度の高い結果が出ていると考えられる。 θ , ϕ については芯線をもとに分割線、また分割面を考える上でかなり重要な情報である。この角度の誤差については肝臓の全容積の1%の誤差となるため精度が高いと考える。また Table 2 の距離の二乗誤差については、約 12.6[voxel]の誤差が発生した。本研究の抽出結果は正解画像から抽出された芯線の走行方向と類似しているため Couinaud の肝区域を分類するには大きな誤差は生じないと考えられる。

6. おわりに

本研究では、Couinaud の肝区域の分類に必要な情報である中肝静脈芯線の自動抽出手法の開発を行った。その処理過程として、肝臓領域の抽出、線構造強調フィルタによる血管領域の強調を行った。さらにそれらの結果を用いて領域拡張法及び細線化処理を行い、肝臓の区域分類に必要なカントリー線の設置時にこの手法が有用であるか、また、精度についての考察を行った。誤差角、二乗誤差など求められた結果は有用性があるのかは医師、読影医に確認する必要がある。今後はこの抽出手法を改良し抽出精度の向上、また、カントリー線の作成をし、右葉左葉分類の完全自動化を目指す。

参考文献

- 1) Patrick W.Tank・Thomas R.Gest : atlas of ANATOMY, 佐藤達夫訳『あたらしい人体解剖学アトラス』, p.234, メディカル・サイエンス・インターナショナル, 2009.
- 2) Yoshinobu Sato,et.al. : Three-dimensional multi-scale line filter for segmentation and visualization of curvilinear structures in medical images. Medical Image Analysis Vol.2, No.2, pp.143-168, 1998.
- 3) 北川輝彦ほか：ヘッセ行列を利用した線構造強調フィルタによる体幹部単純X線CT画像からの肝臓内血管の自動抽出, 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol.107 No.57, pp.11-16, 2017.