

確率的アトラスを用いた非造影 X 線 CT 画像における 膵臓領域の抽出手法の開発

水野 優希† 岩井 謙仁‡ 北川 輝彦‡ 北川 秀夫‡

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

医用画像撮影機器の性能の向上に伴い、一度の撮影で得られる CT 画像データのスライス枚数が増加した。またこれに伴う読影医の負担の増加が懸念された。その負担軽減のためコンピュータ支援診断(Computer-aided Diagnosis CAD)システムの開発と、その臨床現場への適応による改善が期待されており、本研究は非造影 X 線 CT 画像から膵臓領域の抽出を目的とする。膵臓に癌が発症した場合、多くは初期段階に自覚症状がなく、癌の進行が早いため、膵臓癌の早期発見が困難という特徴がある¹⁾。膵臓を診断する際は、他の臓器との判別をつけるため、基本的には患者に造影剤を投与する必要がある。造影剤は人によっては副作用を起こす危険性がある。その他にも、金銭的コストや時間的コストもかかる。そのため造影剤を投与せずに撮影した画像からの膵臓領域を抽出する手法を確立し、身体的リスクや金銭的コストなどを軽減させる必要がある。さらに非造影画像は、社会で一般的に行われている健康診断など大衆的な検査での撮影機会が最も多く、非造影画像から膵臓領域の抽出を行い、疾患の早期発見の可能性を上げる事が最大の目的である。

従来の研究²⁾では、確率的アトラス構築のためのランドマーク(以降 LM)の推定材料として、患者が乗る寝台の位置情報を使用していた。しかし寝台と患者の臓器との間には皮下脂肪や筋肉の領域がありその領域の厚みは個人差が大きく、ばらつきが大きいいため、膵臓と相対位置が近く、個人差の小さい箇所を LM の推定材料として再選定する必要がある。

2. 確率的アトラス

膵臓領域と非膵臓領域の判別をつけるにあた

Development of extraction method for pancreas region from X-ray CT images using probabilistic atlas

Yuki Mizuno†, Iwai Kento‡, Teruhiko Kitagawa‡ and Hideo Kitagawa‡

†Advanced Course for Interdisciplinary Technology Development, National Institute of Technology, Gifu College

‡Department of Electronic Control Engineering, National Institute of Technology, Gifu College

り、非造影画像では膵臓領域と非膵臓領域の境界となる画素間で CT 値分布のみで区別を行うことは非常に困難である。また症例画像ごとに画像を撮り始める位置に違いがある場合や、被写体である患者の体格等の個人差によって膵臓の細かい位置や形状も変化する。そこで解剖学的な膵臓領域の位置情報を統計的に示すために確率的アトラス画像を作成した。アトラス画像とは、患者複数人分の特定臓器領域(本研究の場合は膵臓領域 9 症例)を二値化し、その位置や形状を正規化して一つの画像として累積させたものである。このアトラス画像を症例画像に位置合わせし、適用することで各ボクセルの膵臓領域の存在確率が得られる。今回作成したアトラス画像は TPS 変換³⁾(Thin Plate Spline 変換)を用いて膵臓領域の正規化、位置合わせを行っている。

TPS 変換とは非線形変形手法の一種である。変形の基準点となる座標をランドマークとして変形前(LM1)と変形後(LM2)でそれぞれ設定して変形させる。すると LM1 の座標が LM2 へと移り、他の領域も補完するように変形する。

3. ランドマークの選定

従来の研究で LM 設定のための基準点として膵臓領域の重心座標を用いる優位性を証明したが、重心座標の推定に使用する点として患者が乗る寝台の位置情報が使用されていた。しかし、寝台と患者の臓器との間には皮下脂肪や筋肉の領域があり、その領域は個人差が大きい。そのため本手法では、寝台ではなく相対位置の近い脊椎領域の重心座標に変更した。その結果、次の式で膵臓領域の重心座標が推定できる事が確認できた。なお Pan は膵臓の重心座標、Nav はヘソ、Spl は脾臓の重心座標、Spi は脊椎領域の重心座標(肋骨領域の下から腸骨稜の上部まで)、画像の横軸を x、縦軸を y、体軸を z とする。また C₁、C₂、C₃ は膵臓領域と他の領域との位置関係を表す定数であり、その値は Table 1 に示すとおりである。

$$\text{Pan. } x = \text{Spl. } x - C_1 \quad (1)$$

$$\text{Pan. } y = \text{Nav. } y + C_2(\text{Nav. } y - \text{Spi. } y) \quad (2)$$

$$\text{Pan. } z = \text{Spl. } z + C_3(\text{Nav. } z - \text{Spl. } z) \quad (3)$$

$$C_1 = \text{Spl. } x - \text{Pan. } x \quad (4)$$

$$C_2 = (\text{Nav. } y - \text{Pan. } y) / (\text{Nav. } y - \text{Spi. } y) \quad (5)$$

$$C_3 = (\text{Spl. } z - \text{Pan. } z) / (\text{Spl. } z - \text{Nav. } z) \quad (6)$$

Table 1 Value of constant used in expression

C ₁	C ₂	C ₃
81.44	0.597	0.1846

算出された9症例の膵臓と実際の膵臓の重心座標の軸方向別の差の平均値と従来研究の値を比較すると、Table 2に示す値となった。

Table 2 Average difference of pancreas center of gravity in each axis direction

		(a) previous (b) proposed method		
(a)		x-axis	y-axis	z-axis
Difference[voxel]		12.9	20.1	8.67
(b)		x-axis	y-axis	z-axis
Difference[voxel]		7.13	10.50	6.66

以上の結果からへソ、脾臓の重心座標、脊椎領域の重心座標から推定された膵臓領域の重心座標は、従来の膵臓領域の重心座標の推定値より高い精度である事が確認できた。

4. アトラス画像の妥当性の評価

膵臓領域の重心座標の推定が可能であることが確認できたため、膵臓領域の重心座標を正規化するためのLMの基準点としての妥当性の評価を行った。初めに確率的アトラス構築に作成した直方体領域の中に膵臓がある前提条件として原画像から直方体領域を切り抜く。切り抜いた直方体領域から自動で推定したCT値分布のみで膵臓領域の抽出を行った。続いて抽出された領域に対して存在確率0%のアトラス領域の除去を行った。最後に領域拡張法を適用して膵臓領域の抽出を行った。領域拡張法とは任意の画素を指定し、その画素が属する領域のみを抽出する手法である。今回はアトラス画像中で膵臓領域の存在確率が最大の領域の中の100点をランダムに指定した。なお抽出された膵臓領域の評価にはJaccardの一致率を用いた。

算出された9症例の各結果画像のJaccardの一致率と再現率をTable 3、位置合わせした結果画像をFig.1に示す。また、平均一致率は57.63%となった。

従来の研究者はJaccardの一致率ではなく、recallと呼ばれる再現率を誤って使用していた。従来の研究者のデータも同様に一致率を算出すると、Table.3の様になった。

本手法では正規化の基準点となるLMの精度の向上と、確率的アトラスの適用範囲を処理対象とすることで膵臓の領域を確実に抽出でき、一

致率も向上したが、CT値分布が同じ胃腸領域の過抽出も多かった。従来研究と同じ再現率に注目すると、本手法は72.22[%]と高い数値となった。

Table 3 Concordance rate of Jaccard(1) and recall(2)

No.	(a) previous		(b) proposed method	
	(a1)	(b1)	(a2)	(b2)
1	43.52	43.41	44.21	66.56
2	73.51	67.19	74.08	74.07
3	64.82	73.83	65.52	84.06
4	66.07	64.02	66.83	72.91
5	27.95	39.88	28.75	72.58
6	36.67	62.56	37.44	71.09
7	47.91	37.82	48.63	65.42
8	47.94	65.13	48.28	72.25
9	61.83	64.69	62.59	71.00
Average	52.18	57.63	52.92	72.22

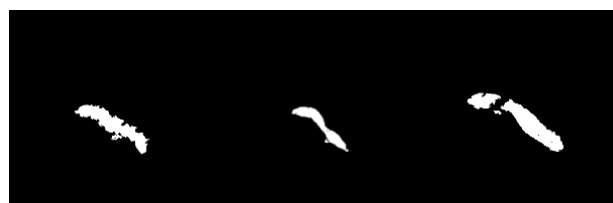


Fig.1 Example of extracted pancreas's region using proposed method

5. おわりに

膵臓領域の重心座標推定には、へソ、脾臓領域の重心座標、脊椎領域の重心座標を使用する事で、高い精度の推定が可能である事が確認できた。従来研究でも膵臓領域の重心座標を確率的アトラスの正規化に用いていたが、今回はその重心座標の精度が向上した。さらに本研究では新しく、アトラスの正規化を行う範囲に抽出対象である膵臓領域は必ず含まれる前提条件での抽出範囲限定化を行なったため、従来研究よりも膵臓領域の抽出領域が増加した。しかし過抽出領域も増加したため、今後はテンプレートマッチングなどで過抽出領域の除去や、アトラスを正規化するにあたって形状を指標とした手法を考え、CT値分布では困難な膵臓領域の抽出精度を向上させる必要がある。

参考文献

- 1) 国立がん研究センター, “がん情報サービス”, 2017. <<https://ganjoho.jp/public/cancer/pancreas/index.html>>
- 2) 真田剛揮, “非造影 X 線 CT 画像を用いた腹部臓器領域の抽出アルゴリズムの開発”, 平成 30 年度特別研究論文, pp.31, 2018.
- 3) F, L, Bookstein, “Principal warps : Thin-plate splines and the decomposition of deformations”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.11, no.6, pp.567-585, Jun. 1989.