

非造影 CT 画像からの類似画像検索による臓器自動抽出法の検討

渡辺 篤人[†] 周 向榮^{††} 陳 華岳^{†††} 原 武史^{††} 横山 龍二郎^{††††} 兼松 雅之^{††††}
星 博昭^{†††††} 藤田 広志^{††}

[†] 岐阜大学工学部応用情報学科 〒501-194 岐阜市柳戸 1-1

^{††} 岐阜大学大学院医学系研究科再生医科学専攻知能イメージ情報分野 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

^{†††} 岐阜大学大学院医学系研究科病態制御学講座解剖学分野 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

^{††††} 岐阜大学医学部附属病院放射線部 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

^{†††††} 岐阜大学大学院医学系研究科腫瘍制御学講座放射線医学分野 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

E-mail: [†] watanabe@fjt.info.gifu-u.ac.jp

あらまし 現在, CT 画像からの臓器の自動抽出が必要とされている. 臓器の自動抽出には事前情報が必要となり, 類似画像が有効な情報として用いられることがある. 本研究では, 位相限定相関法を用いて類似画像検索とレジストレーションを高速に行う手法について提案する. 対象臓器は肝臓, 脾臓, 左右腎臓である. また, 類似画像検索結果を用いた臓器抽出を行い, 手入力した正解画像との一致度 (JSC) による評価を行った. 平均一致度は肝臓 81.8%, 脾臓 78.0%, 左腎臓 75.4%, 右腎臓 77.3%であった.

キーワード CT 画像, 自動抽出, 類似画像検索, 位相限定相関法

Automatic organs segmentation from non-contrast CT images by using content-based image retrieval

Atsuto WATANABE[†] Xiangrong ZHOU^{††} Huayue CHEN^{†††} Takeshi HARA^{††}
Ryujiro YOKOYAMA^{††††} Masayuki KANEMATSU^{††††} Hiroaki HOSHI^{†††††}
and Hiroshi FUJITA^{††}

[†] Department of Information Science, Faculty of Engineering, Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu, 501-1194 Japan

^{††} Department of Intelligent Image Information, Division of Regeneration and Advanced Medical Sciences, Graduate School of Medicine, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1194, Japan

^{†††} Department of Anatomy, Division of Disease Control, Gifu University Graduate School of Medicine, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1194, Japan

^{††††} Department of Radiology Services, Gifu University Hospital, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1194, Japan

^{†††††} Department of Radiology, Division of Tumor Control, Graduate School of Medicine, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1194, Japan

E-mail: [†] watanabe@fjt.info.gifu-u.ac.jp

Abstract Currently, it is required for automatic segmentation of organs from CT. The automatic segmentation of organs may require prior information, which may be used as valid information for similar images. In this paper, we propose the method to accelerate the registration and image retrieval using phase-only correlation. The target organs are liver, spleen, left kidney and right kidney. In addition, we applied automatic segmentation by using image retrieval search result, and the degree of match (JSC) was evaluated. Average degrees of matching for liver were 81.8%, 78.0% for spleen, 75.4% for left kidney, and 77.3% for right kidney, respectively.

Keywords CT image, automatic segmentation, image retrieval, phase-only correlation

1. 背景

現在、CTは広く臨床の場で活躍しているが、最近のマルチスライスCTの性能の向上により、従来のヘリカルCTと比較して、最大約10倍の高速撮像が可能となった。また、広範囲を薄いスライス厚で撮像できるようになり、直径数ミリの小さい病変をも描写可能となった。そのため、病巣の早期発見が可能となるなど、CTの診断能は格段に進歩した。しかし、より広範囲でより薄いスライス厚になるにつれ、読影する医師は数千枚にもおよぶ画像を読像することになり、医師への負担増大が問題となっている。そのため、計算機を利用したコンピュータ支援診断（computer-aided diagnosis: CAD）システムの開発が期待されている[1]。

また、人体の正常構造と検査症例を比較することにより、異常部位を自動検出する知的CADの開発が望まれている[2]。正常構造を構築するには大量の正常データベースが必要となるが、正常データを手動で入力するには困難なため、汎用的な臓器の自動抽出法の開発が望まれている。

臓器の自動抽出には事前情報が必要となり、類似画像が有効な情報として用いられることがある。従来の類似画像検索やそのレジストレーション手法としてボクセル類似度ベースの正規化相互情報量を類似度として用いる手法が広く知られている[3]。これは、非線形最適化における計算コストが非常に高く、また、適切な初期値を設定しないと正しい解が得られないという問題がある。それに対して、本研究では、類似画像検索とそのレジストレーションを位相限定相関法により高速に行う手法について提案し、その応用としてCT画像からの臓器の自動抽出を行う。

2. 方法

処理の流れを図1に示す。

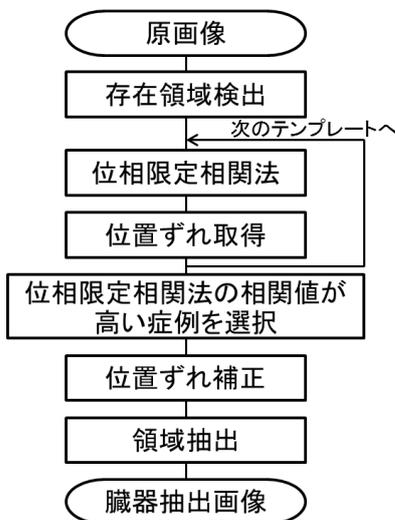


図1 処理の流れ

2.1. 臓器存在領域検出

前段階として、アンサンブル学習を用いた臓器存在領域（Bounding-box）を行う[4]。アンサンブル学習で用いる識別機はAda-boostを用いる。Ada-boostを構築するために学習させる特徴量と識別する特徴量はHaar-like featuresを用いた。臓器存在領域の結果であるBounding-boxを用いて類似画像検索を行う。

2.2. 類似画像検索とレジストレーション

類似画像検索には3次元に拡張した位相限定相関法を用いる。位相限定相関法とは画像間の類似性を求める手法である[5]。図2に処理の流れを示す。

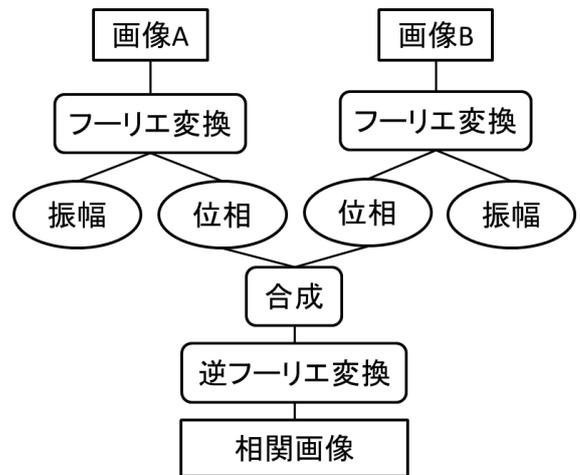


図2 位相限定相関法

画像をそれぞれフーリエ変換し、位相部分のみを取り出す。その二つの位相画像の複素共役を乗ずることによって合成する。最後に合成画像を逆フーリエ変換することによって相関画像を得る。相関画像のピークの高さによって、相関係数を得ることができる。

位相限定相関では相関と同じく、画像内における像の平行移動は相関のピークが移動量だけずれる。よって、ピークの高さを評価する場合には平行移動の影響を受けない。また、移動量を計測する場合には移動方向と移動量を求めることができる。これにより、画像間の位置ずれによる誤差の影響を受けず、また、位置ずれがあるとき、ずれの移動方向と移動量を求めることができる。

位相限定相関法では位相画像、すなわち画像内の像の形状にかかわる情報のみを用いているため、画像の輝度変化の影響を受けない。また、特徴量抽出を行わないため、専用のプログラムを開発することなく類似画像検索を実現することができる。

位相限定相関法は従来の手法で一般的に用いられる複雑な最適化計算を必要としないため、位置合わせ

に要する計算時間を大幅に削減でき、高速に類似画像検索とレジストレーションを行うことができる。

この手法を用いて入力画像とデータベースの比較を1症例ずつ行い、画像間の類似性と像の位置ずれの推定を行う。

2.3. 領域抽出

類似画像検索で得られた結果を利用して、領域補正を行う。領域補正には確率的アトラスの考え方を利用する。入力画像と類似性 p の高い症例の手入力による正解領域 I_{GS} を n 個選択し、類似性により重みをつけて正解領域の位置合わせを行い、式 (1) のように加算し確率的アトラス $I_{position}$ を構築する (図 3)。

$$I_{position}(x, y, z) = \sum_{i=1}^n I_{GSi}(x, y, z) \times \frac{p_i}{p_{sum}} \quad (1)$$

$$p_{sum} = \sum_{i=1}^n p_i$$

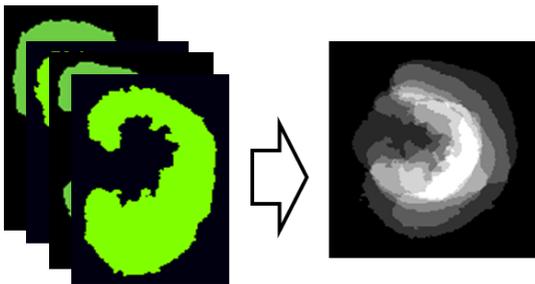


図 3 確率的アトラスの構築

この確率的アトラスを利用して、臓器領域の補正を行う [6]。確率的アトラスをマスク画像として、原画像 V より臓器領域の平均濃淡値 μ と標準偏差 σ を推定する。推定されたこれらのパラメータをガウス関数に基づいた式 (2) へ代入し濃淡尤度画像 $I_{density}$ を作成する。

$$I_{density}(x, y, z) = \exp\left\{-\frac{(V_{x,y,z}-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (2)$$

そして確率的アトラスと濃淡尤度画像を合成し、臓器領域を得る。

3. 実験

非造影体幹部 CT 画像を用いる。臓器存在領域検出後の正解 ROI 画像を用いて実験を行った。それぞれ病変を含んだ肝臓 38 症例, 脾臓 60 症例, 左腎臓 93 症例, 右腎臓 35 症例を用いて Leave-one-out 法により類似画像検索をし、領域補正した。アトラスを構築する症例

数は類似性の高い上位 10 症例を用いて構築した。また、それぞれの臓器において同一な処理を行っている。

類似画像検索の評価には、最も類似性が高い症例と比較して、目視による主観的評価を行う。

臓器抽出の評価には Jaccard の類似係数 (以下, JSC と略) を利用する。正解領域を A , 抽出領域を B とするとき、一致度は以下の式 (3) によって示される。

$$JSC[\%] = \frac{A \cap B}{A \cup B} \times 100 \quad (3)$$

正解領域は手入力による。

また、実験に用いた環境は CPU: Intel Core2 Quad Q8400 2.66 GHz, MEMORY: 4 GB の 64 bit 計算機である。

4. 結果

類似画像検索において、類似画像が検索されているか目視による評価を行った。肝臓 86.8% (33/38), 脾臓 90.0% (54/60), 左腎臓 82.8% (77/93), 右腎臓 85.7% (30/35) となった。図 4 に類似画像検索結果の例 (同一患者が検出された例) を示す。また、1 症例との比較にかかった時間は肝臓で 5.42 秒, 脾臓は 3.67 秒, 左右腎臓で 3.26 秒となった。

また、領域補正後の臓器抽出結果を表 1 に示す。抽出例を図 5 に示す。

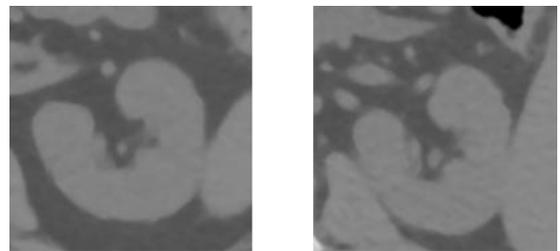


図 4 類似画像検索結果 (同一患者が検索された)

表 1 臓器抽出結果

	肝臓	脾臓	左腎臓	右腎臓
平均 JSC	81.8%	78.0%	75.4%	77.3%

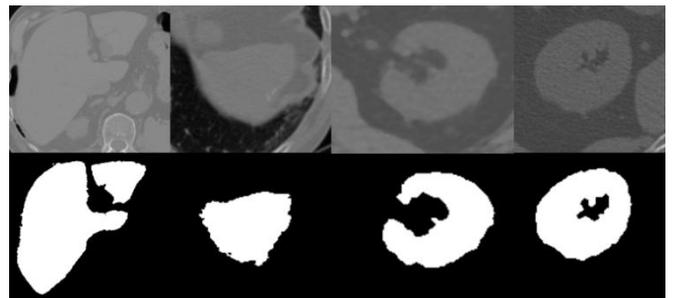


図 5 臓器抽出結果

5. 考察

類似画像検索の結果では比較的良好に類似画像の検索ができた。肝臓に関しては臓器の大きさの変化が大きく、類似していない画像が検索された場合があった。左右腎臓では、病変による形状の変化を大きく受け、類似する画像がデータベースに存在しない症例がいくつか存在した。脾臓に関しては、形状の変化が小さく、良好に検索ができた。しかし、本手法では回転方向のずれに対応しておらず、今後回転方向のずれの推定を行う必要があると考える。

計算時間はデータベースが大きくなればなるほど長くなるが、1 症例あたりの比較では非常に短時間で検索と位置ずれの推定が行えた。

臓器抽出では、各臓器とも良好であったが、類似画像検索結果の影響を受け、類似画像検索に失敗した症例が多い左右腎臓において他臓器と比べて一致度が低くなった。

6. まとめ

本研究では位相限定相関法を用いて臓器の類似画像検索とレジストレーションを高速に行い、自動抽出へ応用した。類似画像検索結果は良好であり、抽出結果は肝臓 81.8%、脾臓 78.0%、左腎臓 75.4%、右腎臓 77.3%であった。今後は回転方向のずれの対応を行う必要がある。また、他の手法[7]との比較を行う予定である。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、有益なご助言をいただいた藤田研究室の方々に感謝の意を表します。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(新学術領域研究 21103001 及び基盤研究 C00359738)によって行われました。

文 献

- [1] 内田勝, 藤田広志, 小寺吉衛, “デジタル放射線画像,” 株式会社オーム社, pp.173-176, 1998.
- [2] 藤田広志, 福岡大輔, 松原友子, 佐井篤儀, 原武史, 星博昭, 周向榮, 兼松雅之他, “正常構造の理解に基づく知的 CAD,” 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「多次元医用画像の知的診断支援」第4回シンポジウム論文集, pp.55-62, Jan. 2007.
- [3] C. Studholme, D.L.G. Hill, and D.J. Hawkes, “An overlap invariant entropy measure of 3D medical image alignment,” Pattern Recognit., vol.32, no.1, pp.71-86, Jan. 1999.
- [4] X. Zhou, S. Yoshimoto, S. Wang, H. Chen, T. Hara, R. Yokoyama, M. Kanematsu, and H. Fujita, “Automated localization of solid organs in 3D CT images: A majority voting algorithm based on ensemble learning,” MICCAI Workshop on Machine Learning in Medical Imaging, paper 01-1-8, Sept. 2010.
- [5] 小林孝次, 中島寛, 青木孝文, 川又政征, 樋口龍雄, “位相限定相関法の原理とその応用,” テレビジョン学会技術報告, vol.20, no.41, pp.1-6, Sept. 1996.
- [6] 北川輝彦, 周向榮, 原武史, 藤田広志, 横山龍二郎, 近藤浩史, 兼松雅之, 星博昭, “体幹部非造影 X 線 CT 画像における肝臓アトラスの構築とその肝臓自動抽出法への応用,” 電子情報通信学会論文誌 D, vol.J91-D, no.7, pp.1837-1850, Sept. 2008.
- [7] 森浩起, 小田昌宏, 北坂孝幸, 三澤一成, 藤原道隆, 縄野繁, ルッカート ダニエル, 森健策, “腹部 3 次元 CT 像データベースを用いた類似画像検索と画像位置合わせに基づく臓器自動抽出手法(計算解剖学),” 電子情報通信学会技術研究報告, MI, 医用画像, vol.109, no.407, pp.217-222, Jan. 2010.