

## MDL 法を用いた三次元体幹部臓器の統計形状モデルの 構築と性能評価

山口 昌太郎<sup>†</sup> 周 向荣<sup>†</sup> 徐 睿<sup>‡</sup> 原 武史<sup>†</sup> 横山 龍二郎<sup>‡‡</sup> 兼松 雅之<sup>‡‡</sup>  
星 博昭<sup>‡‡‡</sup> 木戸 尚治<sup>‡</sup> 藤田 広志<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 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

<sup>‡</sup> 山口大学大学院医学系研究科 応用医工学系専攻画像支援診断工学分野  
〒755-0097 宇部市常盤台 2 丁目 16-1

<sup>‡‡</sup> 岐阜大学医学部附属病院放射線部 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

<sup>‡‡‡</sup> 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: yamaguti@fjt.info.gifu-u.ac.jp

**あらまし** 各臓器の病変検出の補助を行う計算機支援診断システムの開発には、対象臓器領域の抽出が必要であり、臓器抽出の有用な情報として統計形状モデルの利用が検討されている。本研究では、体幹部臓器の統計形状モデルを構築し、その性能を評価する。統計形状モデルの構築には MDL(minimum description length)を用いる。岐阜大学医学部附属病院のデータから、心臓、肝臓、脾臓、および左右腎臓の統計形状モデルを構築し、モデルの性能を示す Compactness (簡潔性), Generalization (一般性), Specification (特異性)について評価した。

**キーワード** CT 画像, 統計形状モデル, 体幹部, 心臓, 肝臓, 脾臓, 腎臓

## Construction of the statistical shape models and its performance evaluation for the 3D torso organs using the MDL method

Shotaro YAMAGUCHI<sup>†</sup> Xiangrong ZHOU<sup>†</sup> Rui XU<sup>‡</sup> Takeshi HARA<sup>†</sup> Ryujiro YOKOYAMA<sup>‡‡</sup>  
Masayuki KANEMATSU<sup>‡‡</sup> Hiroaki HOSHI<sup>‡‡‡</sup> Shoji KIDO<sup>‡</sup> and Hiroshi FUJITA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 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

<sup>‡</sup> Department of Biomedical, Applied Medical Engineering Sciences, Graduate School of Medicine, Yamaguchi University, 2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi 755-0097, Japan

<sup>‡‡</sup> Department of Radiology Services, Gifu University Hospital, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1194, Japan

<sup>‡‡‡</sup> Department of Radiology, Division of Tumor Control, Graduate School of Medicine, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1194, Japan

E-mail: yamaguti@fjt.info.gifu-u.ac.jp

**Abstract** The extraction of the object organ areas is needed by the development of the computer-aided diagnosis system to assist the change to a morbid state detection in each organ, and the statistical shape models are used as a useful technique for the organs extraction. In this study, the statistical shape model with the torso organs is constructed, and the performance is evaluated. The MDL(minimum description length) method is used for construction of the statistical shape models. The statistical shape models with heart, liver, spleen, and right and left kidneys were constructed with the data of Gifu University Hospital, and were evaluated by using three items (Compactness, Generalization, and Specification) representing model performance.

**Keywords** CT image, statistical shape model, torso, heart, liver, spleen, kidney

## 1. 序論

近年、高速で撮影可能な X 線 CT 装置の普及により、従来の CT 像と比較し、撮像時間の短縮、スキャン領域の拡大、高分解能な CT 像を得ることが可能になった。これらは、患者への被曝を低減するため、侵襲性を抑えた検査を行うという点において、非常に有用である。従来は、医師が病変と疑わしい注目領域付近を詳細に撮影していたが、近年の CT 装置の性能向上に伴い、精密検査が必要な患者の体幹部領域を撮影することが多くなっている。この体幹部領域のデータには、撮影目的の疾病情報だけでなく、他の臓器の疾病情報が含まれていることがある。しかしながら、読影医師が数千枚にも及ぶスライス画像を読影し、画像に含まれる情報すべてを解析することは、時間的にも非常に困難であり、複数症例の読影においては、疲労などの原因による病変の見落としの危険性が考えられる。そこで、コンピュータを用いて医師の補助を行うコンピュータ支援診断(CAD: Computer-aided diagnosis)システムの開発が望まれている。

コンピュータ支援診断とは、放射線画像をはじめとする医療用画像に対して、コンピュータで定量的に解析された結果を「第二の意見」として利用する「医師による診断」である。その目的は、見落とししやすい疾患領域をコンピュータによって検出し、これを医師に提示することによって見落としを減少させることである。また、検出された病巣についての良性か悪性かの識別が難しい場合には、コンピュータによる定量的なデータを示すことによって、医師が客観的データに基づいて判断することも可能であり、診断結果のばらつきを減少を期待するものである。

従来の CAD システムは、胸部や腹部などの限定された範囲における医用画像から、肺、乳房、肝臓、大腸など、特定臓器のセグメンテーションや、また、それらから特定の病変の検出を行うといった単機能的なものであった。これに対し、我々の研究グループでは、人体の解剖学的な正常構造の理解に基づく知的 CAD システム[1]の開発を行っている。このシステムは、高精度な X 線 CT 像から組織ごとの解剖学的な正常構造を抽出及び認識し、その統計的な変動も考慮したモデル化に基づくアプローチでデータベース化されたモデル画像と、検査対象画像との比較により、異常部位を特定するというものであり、多臓器・多疾病を同時に解析することも可能になると期待されている。

しかし、各臓器の自動的領域抽出手法は未だに確立されておらず、それらの臓器が複雑な位置関係で存在していることから、図 1 のように体幹部すべての同時自動認識することは、現状では非常に困難である。そこで、本研究では、知的 CAD の初期段階として、体

幹部臓器の心臓、肝臓、脾臓、左右腎臓の統計形状モデルを構築し、その性能を評価する。

臓器の形状を分析する手法としては、臓器の表面形状を有限の点で表現し、その点群の位置をモデリングする方法(PDM: point distribution model)[2]が一般的に用いられている。PDM を構築するためには、形状同士の対応点(Corresponding Points)の決定が最も重要である。本研究では、位置合わせの手法として最小記述長(MDL: minimum description length)を用いる。

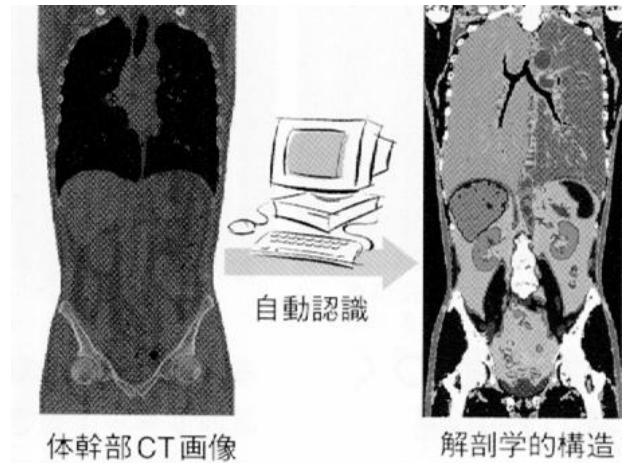


図 1. 知的 CAD が目指す体幹部の同時自動認識

## 2. 統計形状モデルの構築

### 2.1. 臓器形状メッシュの生成

CT 画像から抽出した臓器領域の表面は Voxel データである。臓器領域の表面データを三角形メッシュで表現する曲面に変換する。本研究では、形状メッシュの生成には、我々のグループの先行研究[3]と同様に、公開された VTK ライブラリ[4]を用いる。

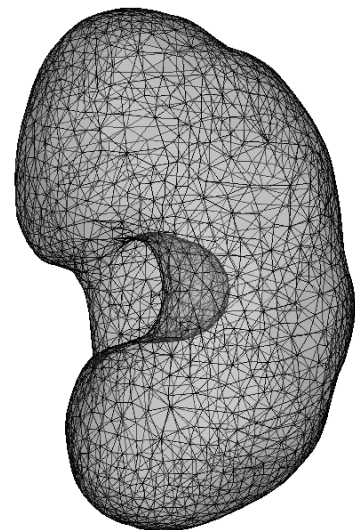


図 2. 右腎臓領域表面の形状メッシュ

形状メッシュの共分散行列  $Cov$  は式(1)から、固有ベクトル  $v_i$  は式(2)から求められる。  $\bar{m}$  は平均形状、  $x_i$  は形状メッシュの頂点、  $\alpha_i$  は PDM の変数である。

$$\begin{cases} \bar{m} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \\ Cov = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{m})(x_i - \bar{m})^T \end{cases} \quad (1)$$

$$x = \bar{m} + \sum_{i=1}^{N-1} \alpha_i v_i \quad (2)$$

## 2.2. 最小記述長による位置合わせ

生成された臓器形状メッシュは、conformal mapping algorithm[5]によって単位球面のパラメータ空間へ投影される。その後、単位球面上で MDL を用いた位置合わせを行い、形状同志の対応点を決定する。MDL は情報理論に基づくモデル選択基準であり、モデルの情報量で決まる符号長が最小な表現がデータの説明として最適かつ最も可能性が高いとする情報理論の原理である[6]。本研究では、Dithering 法を用いた MDL の改良法[7]を実装し、対応点の探索を行った。

## 3. 形状モデルの性能評価

形状モデルの性能評価には、Compactness (簡潔性)、Generalization (一般性)、Specification (特異性)の三項目が用いられることが多い[8]。本研究でも、構築した統計形状モデルをこれらの三項目で評価した。

### 3.1. Compactness (簡潔性)

少ない情報量でモデル構築できているかを示す指標である Compactness (簡潔性)を用い、モデルの効率を評価する[8]。式(3)で示される評価値  $C$  の値が低いほどモデルの性能が良い。ここで、 $M$  はデータ数である。

$$C = \sum_{i=1}^M \lambda_i \quad (3)$$

### 3.2. Generalization (一般性)

1 つの症例を他の症例を用いて再構築できるかを示す指標である Generalization (一般性)を用い、モデルが正確に形状を表現する能力を評価する[8]。式(4)で示される評価値  $G$  の値が低いほどモデルの性能が良い。ここで、 $x_j$  は再構築する症例の頂点、 $x'_j$  は統計形状モデルの頂点、 $N$  は再構築する 1 症例を除いたデータ数である。

$$G = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \|x_j - x'_j\| \quad (4)$$

$$x'_j = \bar{m} + \sum_i ((x_j - \bar{m})^T \cdot v_i) v_i$$

### 3.3. Specification (特異性)

未知の形状を判別できるかを示す指標である Specification (特異性)を用い、不自然な形状を排除する能力を評価する[8]。式(5)で示される評価値  $S$  の値が低いほどモデルの性能が良い。ここで、 $x_i$  は未知の症例の頂点、 $x'_i$  はトレーニング形状から検索された  $x_i$  に最も近い頂点である。

$$S = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \|x_i - x'_i\| \quad (5)$$

## 4. 実験と考察

### 4.1. 試料画像

岐阜大学医学部附属病院において撮影された三次元体幹部 CT 画像 50 症例を用い、心臓、肝臓、脾臓、左右腎臓の統計形状モデル構築を行った。CT 画像のサイズは  $512 \times 512 \times 798 \sim 1104$  画素、空間分解能は 0.625 mm の等方ボクセルである。

### 4.2. 結果と考察

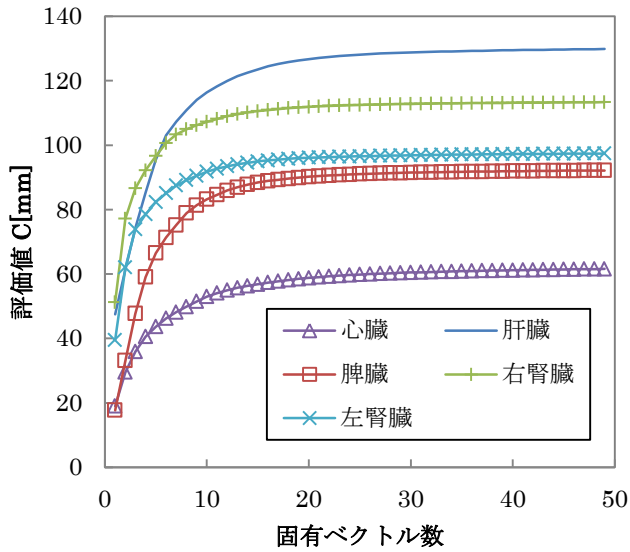
図 3 に三項目による性能評価の結果、図 4 に右腎臓領域の統計形状モデルを示す。

図 4 から肝臓領域に対して他の臓器領域のモデル性能が比較的良いことが確認できる。これは、肝臓領域は形状の患者間変動が大きいことよると考えられる。このことから、臓器領域データを形状の特性ごとに分類してモデル構築を行う必要性があるといえる。

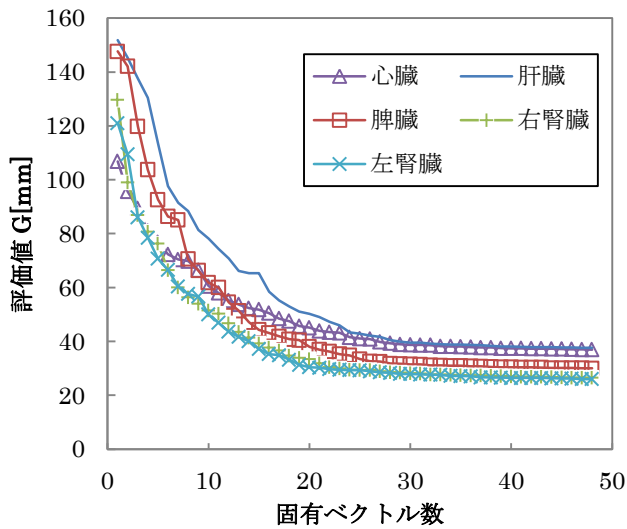
また、どの臓器でも 3 つの評価項目すべてにおいて、固有ベクトル数が 20 を超えると、評価値が収束していくことが確認できる。よって、本手法を用い、臨床に用いられる CT 画像から抽出した体幹部臓器領域の統計形状モデルを構築するには、少なくとも 20 症例のデータを用いるべきである。

## 5. 結論

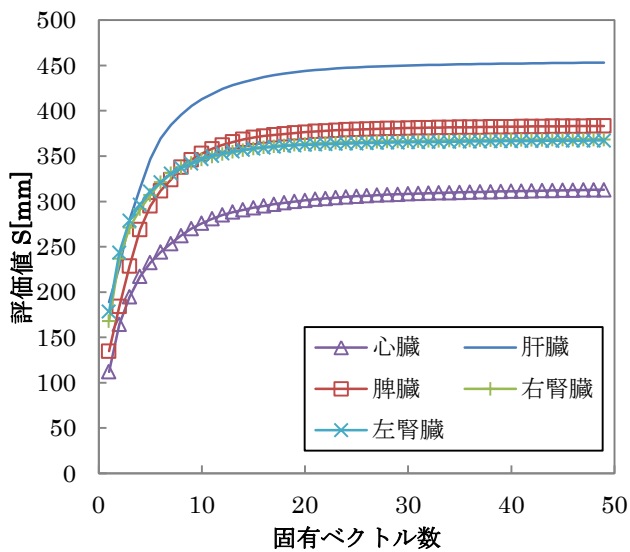
本研究は、岐阜大学医学部附属病院撮影の CT 画像より心臓、肝臓、脾臓、左右腎臓の統計形状モデルを構築した。形状モデルの構築には、臓器領域の表面データを三角形メッシュで表現した曲面を MDL によって位置合わせする手法を用いる。構築したモデルを 3 つの指標を用い評価した結果、本手法では少なくとも 20 症例以上のデータを用いる必要性が示唆された。



(a) Compactness



(b) Generalization



(c) Specification

図 3. 統計形状モデルの性能評価

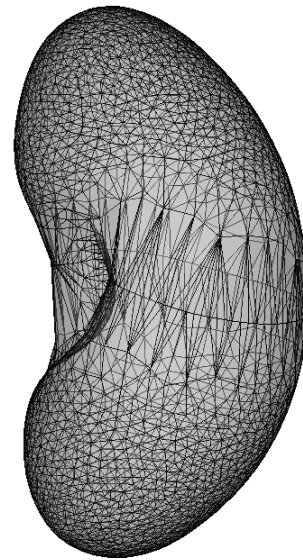


図 4. 右腎臓領域の統計形状モデル

**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] 周向榮, 原武史, 藤田広志, “正常構造の理解に基づく CAD,” INNEVISION, vol.22, no.12, pp.21-25, 2007.
- [2] T. Cootes, C. Taylor, D. Cooper and J. Graham, “Active shape models – Their training and application,” Computer Vision and Image Understanding (CVIU), vol.61, no.1, pp.38-59, 1995.
- [3] 徐睿, 周向榮, 平野靖, 橋理恵, 原武史, 木戸尚治, 藤田広志, “グループワイズ手法に基づく統計形状モデル作成の検討, 第 30 回日本医用画像工学会大会, 予稿集 CD-ROM, OP1-7, 2011.
- [4] Visualization Toolkit. <http://www.vtk.org>.
- [5] X.Gu, Y.Wang, T. F. Chan, P. M. Thompson, and S. T. Yau, “Genus zero surface conformal mapping and its application to brain surface mapping.” Information Processing in Medical Imaging (IPMI), Vol.2732 of LNCS, pp.172-184, 2003.
- [6] T. Heimann, I. Wolf, T Williams and H. P. Meinzer, “3D active shape models using gradient descent optimization of description length,” Information Processing in Medical Imaging (IPMI), Vol.3565 of LNCS, pp.566-577, 2005.
- [7] T. Heimann, I. Wolf, and H. P. Meinzer, “Optimal landmark distributions for statistical shape model construction,” Proc. SPIE Medical Imaging: Image Processing, vol.6144, pp.518-528, 2006.
- [8] M. A. Styner, K. T. Rajamani, L. Nolte, G. Zsemlye, G. Szekely, C. J. Taylor and R. H. Davies, “Evaluation of 3d correspondence methods for model building,” Information Processing in Medical Imaging (IPMI), Vol.2732 of LNCS, pp.63-75, 2003.