

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：33903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700220

研究課題名(和文)生成型学習に基づく構造解析手法の確立とその医用画像処理理解への応用

研究課題名(英文)Development of methods for structure analysis based on generative learning and its application to understanding of medical images

研究代表者

北坂 孝幸(Kitasaka, Takayuki)

愛知工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：00362294

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、形状や濃度分布の変動が大きい人体臓器の認識において、そのばらつきを効率的に捉える生成型学習とその臓器・疾病認識手法の開発を行った。気管支および血管の木構造認識では、生成型学習に適した有効な特徴量を明らかにし、気管支および血管木構造の認識精度の向上が達成された。臓器の認識アルゴリズム開発では、ばらつきを表現したアトラスを生成型学習に基づいて構築し、腹部臓器の認識性能を向上できることを示した。胸部で重要なリンパ節検出では、リンパ節に特異的に反応するフィルタを新たに開発し、高精度にリンパ節を検出できることを示した。以上より、生成型学習が臓器・疾病認識に有効であることを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we developed methods for recognizing organs and diseases in medical images based on the generative learning approach, which is robust to the data with large variance such as human organs. In the recognition of the airway and blood vessel trees, we investigated effective image features for the generative learning and extracted them from medical images accurately. In the recognition of organs, we constructed an ATLAS, which represents variations of organs mathematically, and extracted them accurately. In the lymph nodes detection, we developed a novel filter which responds to the lymph nodes specifically, and detected lymph nodes with high accuracy. We confirmed that the generative learning approach was effective for recognition of human organs and diseases.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：パターン認識 医用画像処理 生成型学習 医用画像理解

### 1. 研究開始当初の背景

画像からの物体認識は古くから研究されている重要なテーマの一つである。物体認識における課題の一つに、認識対象物体の変動にいかに対処するかという問題がある。この変動は撮影時の環境変動に起因するものと対象物体自体のバリエーションに起因するものがある。環境変動に起因する変化は、雑音除去や正規化などの前処理を適切に施すことによりある程度低減できる可能性があるが、個体のバリエーションは低減できない。一方、変動成分を解析しモデルに変動成分を付加して変化しうるパターンを予め生成することで認識性能を向上させるアプローチがある。これは変動成分パターンの「生成型学習」と呼ばれている。この手法の利点は、変動成分が分かれば、そのパラメータを変化させて多様なモデルを人工的に生成できる点にある。照明環境変動下での物体認識や手書き文字認識において認識性能が向上することが報告されている。特にサンプルデータが少ないときにその効果が現れる。

本研究で対象とする3次元濃淡画像(医用画像)は、CTやMRIによる画像検査において撮影されるため、撮影範囲は度事前に分かる。そのため、予め写っているであろう臓器のモデルを用意し、それがどこにどのような形状で存在するかを推定するアプローチを取れる。しかし、上述したように、認識対象臓器の変動が問題となる。これは、X線の線量や磁場強度の撮影時の違いに起因するものと対象臓器自体の個人差に起因するものとに分けられる。前者は、撮影時に決められるパラメータ(X線管の管電圧など)から点広がり関数を推定するなどしてある程度吸収できる。後者は、各臓器・疾病の個体差を解析してそれを認識アルゴリズムに組み込む必要がある。医用画像処理分野の最近のトレンドは、人体構造物のバリエーションを解析し、人体を数理的に解剖することにある(文科省科研費新学術領域研究「計算解剖学」、代表:小畑秀文, H21~H25)。海外に目を向けると、脳MRIの分野で数百例に上る画像データベースの構築に関する研究がある。言語野などの脳機能領域の手入力正解領域を作成し、公開している点で非常に貴重なデータである。アルツハイマー病の画像診断の高度化など、画像からの脳機能推定への道を切り開きつつある。そのため、解析した変動成分パターンを「生成型学習」した多数の臓器モデルを利用すれば認識性能を向上できそうである。このように、データベースから人体構造物の個人差を数理的に表現し、主要変動成分を解析する研究は近年、国内外を問わず盛んに行われている。しかし、その数理モデルの生成型学習と医用画像認識への応用に関してはまだほとんど行われていない。

### 2. 研究の目的

生成型学習とその医用画像認識への応用

に関して、本研究期間内では対象臓器として木構造を有する気管支に、対象病変として多様な形状・濃度分布を呈する肺結節に絞り、Manifold Learningの考え方を導入し、以下の事項を明らかにすることを目標とする。

#### (1) 分岐構造を有する物体の効率的記述法

気管支を主対象として、気管支木構造の分岐パターンの多様性を表現可能なManifold構築法について検討する。気管支領域を単に固有空間に写像しただけではManifoldに分岐パターンの変化成分は現れないため、分岐位置などの付加情報について多面的に検討する。

#### (2) 多様な形態を有する物体の効率的記述法

肺結節は類円形、すりガラス状、スピキュラ状など多様な形態を有しており、それらの分類は肺結節の良悪性鑑別において重要な作業である。これまでに画像特徴量のクラスタリングに基づく分類に関して数多くの研究がなされてきたが、未知サンプルに対する分類性能は十分とはいえない。これは、特徴量は医師の知見(類円形、ギザギザなど)に基づいて設計されることが多く、医師が知覚したことが全て言語として表現されているとは限らないこと、特徴計測アルゴリズムが言語化された特徴を忠実に再現できているとも限らないことによると思われる。このような対象に対して、Manifold Learningがどこまで効果を発揮するか、また、良質なManifoldを構築するための解析手法を明らかにし、医師の知見との相関を解析する。

#### (3) 生成型学習による医用画像認識への応用

解析された変動成分に基づいて生成型学習を行い、生成されたモデルを利用した臓器・疾病の認識アルゴリズムを開発し、生成型学習の有効性と課題を明らかにする。

### 3. 研究の方法

木構造物体として気管支を対象として、その分岐バリエーションのManifold Learningに基づく効率的記述法を開発する。同様に、肺結節の効率的記述法について検討する。次に、解析した変動パラメータを利用した気管支・肺結節モデルの生成型学習を行う。生成型学習の医用画像認識への応用として、気管支・肺結節の生成型学習認識アルゴリズムについて検討・評価を行う。

#### (1) 気管支の分岐バリエーション、肝結節バリエーションの効率的記述法

気管支領域をそのまま固有空間に写像しただけでは、分岐パターンの違いはManifoldに反映されない。そこで、分岐点位置などの付加情報を加えることで対処する。どのような付加情報がManifold構築に寄与するのか、どれだけの次元を必要とするのかを明らかにする。肺結節についても同様に、臨床で行われている肺結節のタイプ分類に即したManifoldの構築法に関して検討し、必要次

元数・付加情報を明らかにする。

(2) 生成型学習に基づく認識アルゴリズムについて

生成型学習で得られるモデルを利用した臓器・疾病認識アルゴリズムを開発する。変動パラメータの種類や生成モデル数と認識性能との関係を明らかにする。

(3) 画像データ収集と気管支木構造正解データおよび肺結節正解データの作成

名大医学部において日々撮影される画像データのうち、使用許可の下りたものから患者の個人情報を削除してデータを収集する。また、手法を評価するための木構造正解データおよび肺結節正解データを作成する。ただし、労力削減のため、自動抽出した結果に修正を加えることとする。

(4) 手法評価

気管支拡張症等の気管支の構造に変化が見られない画像データ(現有約100例)と肺結節を有する画像データ(現有約200例)を用いて、生成型学習で得られるモデル群の特異性と妥当性を評価する。生成型学習あり/なし、および、学習の程度を変化させて認識精度を比較し、提案手法の有効性を評価する。

#### 4. 研究成果

(1) 気管支の分岐バリエーションの効率的記述法

気管支領域をそのまま固有空間に写像しただけでは、各枝の分岐パターンは類似しているため、分岐パターンの違いはManifoldに反映されない。そこで、分岐点位置と枝の長さの付加情報を加えることを検討した。実際のCT像に対する実験の結果、分岐位置の推定精度は約56%であり、付加情報なしの場合に比べて約9%向上した。さらに分岐の数を付加情報として加えることで、さらに精度が上がることを確認した。しかし、まだ十分な精度とは言えず、より良い付加情報について検討する必要がある。

(2) 血管の分岐バリエーションの記述法

他の木構造として腹部血管を対象として分岐バリエーションの記述法について検討した。腹部血管を対象とした。分岐位置、枝の長さに加えて、枝の太さ、親枝および子枝に対する方向、枝の湾曲率を検討した。分岐バリエーションの記述を利用して、血管名称の対応付けアルゴリズムを開発した。機械学習により枝名と分岐バリエーションとの対応を学習し、入力画像の各血管枝に名称を付けた。CT像20例に対する実験の結果、再現率79.4%、適合率90.9%と良好な結果を得た。

(3) 生成型学習に基づく臓器・疾病認識アルゴリズムについて

腹部臓器領域の認識

複数の臓器モデルを用意し、腹部領域における臓器認識アルゴリズムを開発した。その結果、各臓器形状・濃度分布のばらつきをそのパターンごとに複数のアトラスで表現し、

認識対象とする患者にもっとも近いパターンに該当するアトラスを選択することで認識精度が向上することを確認した。さらに、複数アトラスの生成方法のブラッシュアップを施した。具体的には、画像全体に対してではなく、対象とする臓器ごとに類似度を測るために画像を分割(4分割~16分割)して部分画像に対して複数のアトラスを構築した。認識においては部分画像アトラスの組み合わせで全体アトラスを表現し、各臓器を認識する。100例のCT像による実験の結果、肝臓・脾臓・腎臓で90%以上の認識率を、認識が難しい膵臓でも約70%の精度を得た。CT像100例に対する実験の結果、単一のアトラスに比べて認識精度が向上することを確認した。

胸部リンパ節の認識

胸部疾病の一つとして、リンパ節検出に取り組んだ。リンパ節は肺がんの進行度診断において不可欠の情報である。リンパ節のバリエーション記述として、リンパ節の存在確率を表すリンパ節存在マップ(アトラス)を構築した。リンパ節の画像特徴と併せて存在マップを利用した検出アルゴリズムを開発した。CT像21例に対する実験の結果、93.3%の精度でリンパ節を検出することができた。さらに、作成したリンパ節存在マップを利用して候補領域を絞り込むとともに、新たにリンパ節を良好に検出できるフィルタを開発した。リンパ節が類球状である点に着目し、Radial Structure Tensor フィルタに球状であることを考慮した新たな評価式を組み込むことで実現した。これにより食道や血管等の、これまでは誤って検出していた領域を大幅に低減することができた。CT像46例に対する実験の結果、正検出率91.3%(疑陽性検出6.5個/例)と高い精度でリンパ節を検出することができた。

(4) 画像データ収集と気管支木構造正解データおよび肝がん正解データの作成

名大医学部で撮影された画像データを収集した。収集したデータは、動脈相と静脈相のCT像を一組とした。胸部は新たに47例、腹部は116組を収集した。また、手法を評価するための正解データを作成した。

(5) まとめと今後の展望

本研究では、木構造臓器の分岐バリエーション記述法を検討し、良好なManifoldを構成するための有効な特徴量を明らかにし、気管支および血管木構造の認識に応用したところ良好な結果が得られた。また、臓器の認識アルゴリズム開発では、事前情報として各臓器形状や濃度値分布を効率的に表現したアトラスを生成型学習に基づいて構築し、腹部臓器の認識性能を向上できることを示した。胸部の疾患において重要なリンパ節検出では、アトラス情報に加えて、リンパ節に特異的に反応するフィルタを新たに開発し、高精度にリンパ節を検出できることを示した。以上より、生成型学習が臓器・疾病認識に有

効であることを示すことができ、当初の目標は概ね達成できたと自己評価する。しかし、代表的な疾病の一つである肺結節の効率的表現法およびその認識アルゴリズムの開発は今後の課題として残された。これに関しても、生成型学習の枠組みを検討していく。

今後は、今回得られた知見・成果を基に、生成型学習の枠組みを他の臓器に適用できるように拡張し、医用画像（人体構造物）を総合的に理解する手法に取り組んでいく。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 8 件)

[1] X. Luo, T. Kitasaka, K. Mori, "Externally Navigated bronchoscopy using 2-D motion sensors: Dynamic phantom validation," IEEE Transactions on Medical Imaging, vol.32, no.10, pp.1745-1764, 2013.

[2] Y. Nimura, T. Kitasaka, H. Honma, H. Takabatake, M. Mori, H. Natori, K. Mori, "Assessment of COPD severity by combining pulmonary function tests and chest CT images," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.8, no.3, pp.353-363, 2013.

[3] X. Luo, M. Feuerstein, D. Deguchi, T. Kitasaka, H. Takabatake, K. Mori, "Development and comparison of new hybrid motion tracking for bronchoscopic navigation," Medical Image Analysis, vol.16, no.3, pp.577-598, 2012.

[4] D. Deguchi, M. Feuerstein, T. Kitasaka, Y. Suenaga, I. Ide, H. Murase, K. Imaizumi, Y. Hasegawa, and K. Mori, "Real-time marker-free patient registration for electromagnetic navigated bronchoscopy: a phantom study," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.7, no.3, pp.359-369, 2012.

[5] X. Luo, M. Feuerstein, T. Kitasaka, and K. Mori, "Robust bronchoscope motion tracking using sequential Monte Carlo methods in navigated bronchoscopy: dynamic phantom and patient validation," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.7, no.3, pp.371-387, 2012.

[6] B. Chen, T. Kitasaka, H. Honma, H. Takabatake, M. Mori, H. Natori, and K. Mori, "Automatic segmentation of pulmonary blood vessels and nodules based on local intensity structure analysis and surface propagation in 3D chest CT images," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.7, no.3, pp.465-482, 2012.

[7] X. Luo, M. Feuerstein, T. Kitasaka, and K. Mori, "Robust bronchoscope motion tracking using sequential Monte Carlo methods in navigated bronchoscopy: dynamic phantom and patient validation," International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.7, no.3, pp.371-387, 2012.

[8] 陳 斌, 中村 嘉彦, 北坂 孝幸, 本間 裕敏, 高畠 博嗣, 森 雅樹, 名取 博, 森 健策, "3次元胸部 CT 像群からの経時変化を考慮した多発性小肺結節対応付け手法" Medical Imaging Technology, vol.29, no.4, pp.191-199, 2011.

〔学会発表〕(計 16 件)

[1] 小田 紘久他, "Radial Structure Tensor および機械学習に基づく縦隔リンパ節検出手法," 電子情報通信学会技術報告, MI2013-55, 2013/11/7, 広島市立大学.

[2] T. Kitasaka et al., "Automated detection of mediastinal lymph nodes for assistance of transbronchial needle aspiration," Springer special volume on AE-CAI, pp.168-177, 2012/10/5, Nice, France.

[3] T. Kitasaka et al., "Colon registration method using haustral features of colon from 3D abdominal CT images," International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery, 2011/6/24, Berlin, Germany.

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

北坂 孝幸 (KITASAKA Takayuki)

愛知工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：00362294

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者

( )

研究者番号：