

博士論文要旨

論文題名：3次元医用画像における形状とテクスチャの統計解析及び計算機支援診断への応用

立命館大学大学院理工学研究科
総合理工学専攻博士課程後期課程

ふりがな でん じゅんぴん
氏 名 DENG JUNPING

近年、医療機器（CT, MR, 超音波など）の著しい進展により、人体内部三次元構造に関する様々な高精細画像が得られるようになり、画像に基づく診断が可能となった。医用画像解析研究分野においては、計算機支援診断（Computer Aided Diagnosis: CAD）は最も重要な研究テーマとなっている。計算機支援診断(CAD)システムにおいて、画像化された臓器の形状およびテクスチャの変化を定量的に評価（特徴抽出）し、それらの変化に基づいて機械学習で異常のレベルを推定し、第2見解として医師に提供する。CADを実現するためには、3次元臓器の形状とテクスチャを効率よく表現することが研究のポイントとなる。これまで、主成分分析（PCA）を用いた統計形状モデルや統計アピアランスモデルなどが提案されているが、大域的な変化しか記述できず、局所的な変化または変化箇所の特定はできない。また、PCAを画像のテクスチャ解析に適用する場合、画像を1次元ベクトルに展開する必要があり、画像の構造特徴をなくしてしまう。本研究では、上記の問題点を克服するために、新たに3次元医用画像の統計形状およびテクスチャ解析手法を提案し、計算機支援診断への有効性を示した。主な成果を以下に示す。

1. 従来の主成分分析を用いた統計テクスチャ解析法を拡張し、多重線形代数の枠組で線形テンソル符号化法(Linear Tensor Coding: LTC)を用いた医用3次元画像の統計テクスチャ解析法を開発した。本手法では、多次元データは1次元ベクトルに展開する必要がなく、一つのテンソルとして取り扱うことができる。また、先行研究で提案された一般化N次元PCAに比べ、同じ次元をもつテンソル基底の線形和で表現できるため、病気に寄与する成分を選択することができ、計算機支援診断に有効であることを示した。
2. Sparse and Low Rank Matrix Decomposition (SLRMD) 法による局所形態解析法を提案し、観測された3次元形状から局所的に変形する箇所を特定・分離することができるようになった。それによって以下の三つの成果が得られた：(a)本手法を3次元臓器形状の位置合わせに適用し、変形やノイズなどをもつ形状同士でも精度よく位置合わせ（正規化）ができるようになった；(b)局所変形箇所の特定・分離することによって、肝硬変症による肝臓の変形を定量的に評価することができ、肝硬変症の支援診断にきわめて有効であることを示した；(c) Increment SLRMD 法を理論的に開発し、on line での支援診断の可能性を示した。

Abstract of Doctoral Thesis

Title : Statistical Analysis of Shape and Texture in 3D Medical Images for Computer-Aided Diagnosis

Doctoral Program in Integrated Science and Engineering
Graduate School of Science and Engineering
Ritsumeikan University

でん じゅんぴん
DENG JUNPING

In recent years, medical imaging, including computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), and ultrasound imaging, has made remarkable progress. It is possible to use high-resolution 3D medical images for diagnosis. Computer aided diagnosis (CAD) has become one of the major research subjects in the field of medical image analysis. The basic idea of CAD is to firstly extract useful features (shape and texture features) from medical images and then use machine learning methods to give or generate a second opinion for assisting doctors' final diagnosis. Therein, efficiently and compact representing the shape and texture features, which is also the key part for affecting the final performance of the CAD system, is a great challenge due to the high- and multi- dimensions of the medical images. In conventional CAD, principal component analysis (PCA) is usually used to extract the shape and texture features, which are also known as statistical shape model and statistical appearance model. However, PCA is a global analysis method, and it is difficult to determine local changes. Furthermore, PCA requires that the 3D image should be firstly unfolded into 1D vector for texture analysis. The spatial structure will be lost and it also suffers large-computation problems. In this research, we proposed novel statistical analysis methods of shape and texture for CAD. The main contributions of this thesis are summarized as below:

1. I proposed a novel statistical analysis method of texture based on multilinear algebra, which is also called Linear Tensor Coding (LTC), for 3D medical images, and it can be considered as an extension of conventional PCA. In the proposed method, the 3D image is treated as a 3rd order tensor directly without unfolding. Compared with the previously proposed generalized N-dimensional PCA (GND-PCA), the proposed method can represent the 3D image by a linear combination of tensor-formed basis. Thus, it is possible to select specific basis, which mainly contribute to disease, for diagnosis. The effectiveness of the proposed method has been demonstrated.

2. A local shape analysis method was proposed based on Sparse and Low Rank Matrix Decomposition (SLRMD), which is able to identify and separate the local shape deformation. We have the following three achievements: (a) a robust shape-based registration method was proposed that uses the local shape analysis as a preprocessing in order to remove the local deformation and noise; (b) an accurate CAD for cirrhotic livers was developed based on the local shape analysis, instead of PCA; (c) Incremental SLRMD was also proposed theoretically for on-line medical image diagnosis.