

論文の内容の要旨

論文題目 **Non-rigid Registration for Shape Analysis**
(形状解析のための非剛体位置合わせ)

氏 名 藤原 研人

With the advances in technology of sensing, it has become very easy to digitize various objects and capture detailed images and models. An extensive amount of research is being conducted to utilize such data for shape analysis. One of the major directions in shape analysis is to obtain the correspondence between shapes through non-rigid registration.

Non-rigid registration is a challenging problem. This is due to the fact that an infinite number of solutions can be obtained when deforming an object to match another object. Past works on registration have mainly focused on proposing appropriate regularization on the deformation to arrive at a unique solution. These methods focus on matching the shapes as much as possible without considering the alignment of characteristic parts. In the analysis of shapes, however, correspondence between the characteristic features is significant.

In this dissertation, we propose non-rigid registration methods for shape analysis. We introduce the idea of locally rigid but globally non-rigid registration in order to align the shapes as well as their characteristic feature structures automatically. We also propose a group-wise registration strategy based on this idea.

The first method overcomes the problem of feature correspondence in non-rigid registration by introducing a novel dual-grid FFD (free-form deformation) framework. The method is based on an implicit shape representation, the signed distance field (SDF), and conducts a locally rigid but globally non-rigid registration. Our strategy treats the source shape as a collection of local structures and match them to corresponding locations on the target shape. The local transformations guide the movement of FFD control points, which determine the overall deformation.

The second method refines the locally rigid globally non-rigid registration strategy

by introducing a smoothness constraint and a weighting scheme based on distance from the surface. The method accurately and automatically aligns the shapes as well as the characteristic features, and also produces a smooth deformation grid by suppressing movement in regions that have little effect on the deformation of the actual shape.

We further extended the method to registration of multiple objects. We apply the locally rigid globally non-rigid registration method to each of the shapes in a group and transform them simultaneously. The strategy is designed to bring together all the shapes in the group to an "average" location, and automatically achieve meaningful correspondence between the shapes, including the characteristic features.

In this dissertation, we describe the theory behind each of these methods and present the results to demonstrate the effectiveness of the proposed methods.

近年のセンシング技術の進歩により、様々な物体の画像や 3 次元モデルの取得が容易になった。現在この様なデータを分析に用いる研究が活発に行われている。この研究の一つに非剛体位置合わせ手法を用いて物体間の対応関係を求めるというアプローチがある。

過去の非剛体位置合わせの研究では変形手法に適切な制約を加えて対象の形状が合う様な解を求める事に焦点が当てられている。しかし、これらの研究では特徴的な箇所が対応する場所に合わさっているか、という点あまり重視されていない。特徴箇所の対応関係は形状解析には欠かせない重要な情報である。

本論文では形状解析のための非剛体位置合わせ手法を提案する。局所的剛体大局的非剛体位置合わせ、という新しい概念に基づき、物体の形状のみならず形状の特徴的な箇所の位置も自動的に合わせる手法を提案する。この概念に基づいた同時非剛体位置合わせ手法もおこなう。

最初の手法では非剛体位置合わせの特徴箇所の対応関係に関する問題を符号付距離場という陰的表現に基づいた dual-grid FFD (free-form deformation) というフレームワークを提案し、局所的剛体大局的非剛体位置合わせを行う事で解決する。この手法では、変形する物体を局所的な構造の集合として扱い、それぞれを目的物体上の対応する箇所へ剛体変換により移動させる。これら剛体変換はFFDの制御点を動かし全体の変形具合を定める。

2つ目の手法では局所的剛体大局的非剛体位置合わせの手法に滑らかさ制約と物体表面からの距離に基づいた重み付けを導入する。これにより、特徴的な箇所の位置合わせの精度を保ちつつ変形が不要な箇所での制御点の動きを抑える。

この手法は1対1の物体関係に限定されているが、複数の物体を同時に位置合わせするための手法の提案も行う。この手法では局所的剛体大局的非剛体位置合わせをグループ内の各物体に適用し全ての物体を同時に変形する。この方法により、全ての物体とその特徴的な箇所が「平均的な」形状に自動的に位置合わせされ、その結果、意味のある対応付けが物体間で行われる。

本論文ではそれぞれの手法の理論を説明し、これら手法を物体に適用した際の結果を示す。