

## 手術支援を目的とした 3D プリント用簡易臓器モデル生成システム

宮本恵未<sup>1</sup> 三谷 純<sup>2</sup> 大城 幸雄<sup>3</sup> 大河内 信弘<sup>3</sup><sup>1</sup>筑波大学情報学群情報メディア創成学類 <sup>2</sup>筑波大学システム情報系 <sup>3</sup>筑波大学医学医療系

## 1. はじめに

肝臓手術では術前に血管の走査の様子や、血管と腫瘍との相対的な位置関係を把握することが重要とされている。そのため、透過樹脂を用いた 3D プリントによって、図 1 に示すような肝臓模型の活用が検討されたが、透過樹脂は素材が高価であることと、表面での屈折や透過光の減衰効果により、内部の構造を正確に視認するのが難しいという問題がある。この問題を解決するために、図 3 に示すような、肝臓表面を数本のフレームで構成した簡易臓器モデルが考案され、活用が進められている[1]。本研究では、このフレーム構造を簡易な操作で生成できるシステムの構築を目指し、対話的にフレームの配置を指定する方法、およびフレーム構造のテンプレートモデル（参照フレームモデル）を個々の肝臓形状に合わせて変形するという 2 通りの方法を実装し、生成にかかる時間の短縮を目指した。



図 1:透過樹脂を用いて 3D プリントで出力された肝臓の模型

## 2. 関連研究

3D プリントで出力する際のコストを、対象モデルの形状操作によって削減する方法について、すでにいくつかの研究がされている。例えば[2]は入力モデルの内側を空洞にしたうえ、強度を保てるよう最適化された支柱を加える方法を提案している。この手法では、最適化された形状が自動で出力され、コストの削減を行うことができるが、肝臓の内部構造を見やすくすることにはつながらない。そこでコストの削減と内部

構造の視認性を考慮した、フレーム構造による臓器モデルを対象とする。また、医療分野において 3D プリントを用いた研究としては軟骨の変形が関節の運動に及ぼす影響の理解を目的とする文献[3]などが挙げられる。

## 3. システムの概要

入力される幾何データは、CT データから復元されたものであり、肝臓実質および静脈、門脈、腫瘍、および下大静脈の表面形状を含む。フレーム構造を持つ肝臓模型の形状は、以下の条件を満たす必要がある。

- ・おおよその肝臓の外形が把握できる
- ・構造物が互いに連結され一体形成可能である
- ・血管構造がフレームによって保護される

提案システムでは、入力された幾何データに対して手動または自動でフレームを配置する。手動で配置する場合は、上記の条件を満たすか否かを判定し、条件を満たすのであれば 3D プリント用の幾何データを出力する。

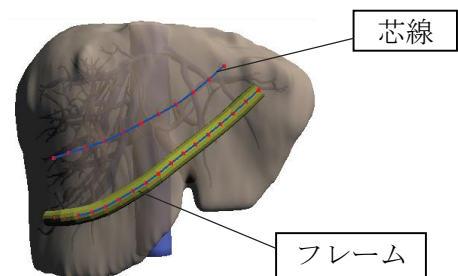


図 2:入力された肝臓と芯線、フレーム

## 3.1 対話的なフレームの配置

対話的操作でフレームを配置するために、以下の 3 つの機能を実装した。

- (1) 肝臓の表面上に、マウスカーソルの軌跡に基づいてフレームの芯線を配置する
- (2) スクリーンに投影された肝臓モデルの輪郭を自動抽出し、それをフレームの芯線とする
- (3) 肝臓の表面上の 2 点を指定し、その間の最短経路 (geodesic shortest path) をフレームの芯線とする

(1) は最も直感的な方法であり自由度が高い。(2) は肝臓の外形を把握しやすいフレームを生成できる。(3) は肝臓の表面をマウスでなぞる手間を省くことができる (この実装には文献[4]の手

A simple organ model generation system for 3D printing for surgery support

Emi MIYAMOTO<sup>1</sup>, Jun MITANI<sup>2</sup>, Yukio OSHIRO<sup>3</sup> and Nobuhiro OHKOHCHI<sup>3</sup>, <sup>1</sup>College of Media Arts, Science and Technology, University of Tsukuba, <sup>2</sup>Information and System, University of Tsukuba, <sup>3</sup>Faculty of Medicine, University of Tsukuba

法を用いた)。

### 3.2 参照フレームモデルの変形

対話的にフレームを配置するアプローチは自由度が高く、意図した形状を制作できる反面、操作に習熟するまでのコストが大きい。そこで自動でフレームモデルを生成するために、参照フレームモデルの形状を、入力とする肝臓モデルの形状に合わせて変形・配置するという方法も併せて実装した。文献[5, 6]の手法に基づき、参照モデルおよび入力モデルの2つのモデル間で対応点を指定する。次に文献[5]の手法によって2つの肝臓モデルを球面上にパラメーター化する。そして文献[6]の手法によって球上の二つの対応点が一致するよう、局所的に頂点を移動し、二つのモデルの対応点を可能な限り近づける。最後に芯線を入力肝臓モデルの表面に配置する。

### 3.3 フレームの変形操作

手動または自動で生成されたフレーム形状を微調整するため、入力された芯線の移動・平滑化を行う機能を実装した。芯線上の1頂点を選択・ドラッグで動かすことで、その周辺の頂点を、移動量を減らしながら移動する。芯線上の頂点それぞれに下記の式を適用することで平滑化を行う。

$$P'_i = \frac{1}{4}P_{i-1} + \frac{1}{2}P_i + \frac{1}{4}P_{i+1} \quad (i = 2, \dots, n-1)$$

ここで $P_i$ は芯線の端から $i$ 番目の頂点の位置、 $P'_i$ は移動後の $i$ 番目の頂点の位置を表している。

### 3.4 フレームモデルが満たすべき条件の判定

3.1節で述べた3つの条件のうち、一体形成とフレームによる血管構造の保護について、以下の方法で判定を行い、条件を満たさない場合には適切な修正を行う。まず一体形成については独立した構成要素間での衝突判定を行い、未連結な要素が発見された場合は、新しく支柱(四角柱)を追加することで、他の構造物のなかで最近傍のものと連結する。衝突判定には Bounding Volume hierarchy の手法を用いた。

フレームによって血管が保護されているかは、血管のつくる凸包をフレームのつくる凸包が完全に覆っているかを判定する。凸包の生成には Quick hull アルゴリズムを用いた。

## 4. 結果

提案システムを用いて対話的操作で作成したフレーム構造の例を図3に示す。これは手術前に血管や腫瘍の位置を把握するために使用された。3Dモデリングソフトを使うよりも機能が単純であるため、おおよそ20分程度でフレームの生成を行うことができた。自動でフレームを生成す

る手法については、得られたフレームの位置が適切でない場合があり、課題が残されている。

## 5. 今後の展望

本研究ではフレーム構造の簡易臓器モデルを短時間かつ容易に生成するシステムの実現を目指し有効な結果を得た。しかし改善の余地は多々ある。手動でフレームを配置する場合、芯線入力や移動など異なる状況ごとにマウスポインタの表示を変更するなど直感的な操作を可能とするため、ユーザインターフェースの改善が重要である。自動でのフレーム配置では Non-rigid Iterative closest point など、2つのモデルの形状を一致させる手法や対応点を求める手法を用いて改善を図りたいと考えている。



図3:本システムを用いて生成し、3Dプリンタで出力したフレーム構造の簡易臓器モデル

## 6. 参考文献

- [1] 『毎日新聞』 茨城県版 2015年7月16日
- [2] Weiming Wang, Tuanfeng Y. Wang, Zhou wang Yang, Ligang Liu, Xin Tong, Weihua Tong, Jiansong Deng, Falai Chen, Xiuping Liu, "Cost-effective Printing of 3D Objects with Skin-Frame Structures", ACM Transactions on Graphics, (2013), Vol. 32, No. 6, Article 177.
- [3] 岡本信吾、李在勲、三浦裕正、菊池恵一、「膝周辺の骨の3D造形と膝骨格系ロボットの開発」『日本コンピュータ外科学会誌』 Vol.17 (2015年) 183-184.
- [4] Joseph S. B. Mitchell, David M. Mount, Christos H. Papadimitriou, "THE DISCRETE GEODESIC PROBLEM", SIAM Journal on Computing, (1987), Vol. 16, No. 4, 647-668.
- [5] Shuhua Lai, Fuhua (Frank) Cheng, Fengtao Fan, "Fast Spherical Mapping for Genus-0 Meshes", Advances in Visual Computing, Volume 5876 of the series Lecture Notes in Computer Science, 982-991.
- [6] Marc Alexa, "Merging Polyhedral Shapes with Scattered Features", The Visual Computer (2000), Vol. 16, Issue 1, 26-37.