

# 手術シミュレーションのための深さ情報に基づく切削制御

Smart Cutting Control Based on Depth Information for Surgical Simulation System

竹村 知晃\* 高山 強\*

Tomoaki Takemura

Tsuyoshi Kouyama

手術前に臓器の変形や切削などの手術プロセスを簡便にシミュレーションするシステムを開発した。本システムでは、CT (Computed Tomography) やMRI (Magnetic Resonance Imaging) のデータを再構成して得た3次元画像を切削する際に、深さが滑らかに変化する部分のみ切削する。この機能によって、誤操作による意図しない切削を防止できる。

This paper describes a surgical simulation system that reconstructs data of Computed Tomography (CT) / Magnetic Resonance Imaging (MRI) and creates a 3D image view. This system has an advanced cutting function that manipulates only the region where depth changes smoothly. With this function, the system assists in drawing up a surgery plan by reducing unintended cutting operations.

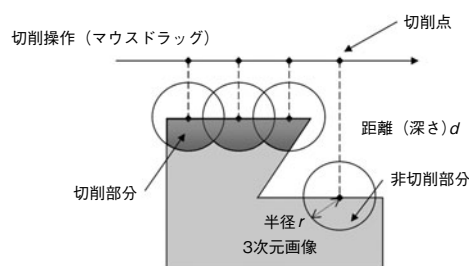
## 1. 3次元画像切削時の課題

医療現場では、手術シミュレーションシステムを使ってCTやMRIにより撮影されたスライスデータから3次元画像を再構成して、切除範囲など手術プロセスの検討を手術前に行っている[1]。入力装置に着目すると、3次元入力装置を用いたシステムが提案されている[2]が、操作に慣れが必要であることや、特殊な入力装置であることから、普段から使い慣れているマウスなど汎用な2次元入力装置を用いたシステムが望まれている。

マウスを使ったシステム[3]では、3次元画像に対し2次元操作を行うため、深さ方向の操作性は十分とは言えず、特に切削時に、誤操作を招き意図しない深さの異なる部分を切削しやすい。これは、マウスにより2次元平面上で定めた切削点と3次元画像までの距離(深さ)が、直前までの深さと比較して、差異が存在するにもかかわらず、切削操作を行ったすべての範囲を削除してしまうことが原因である。

そこで、本システムは切削点から3次元画像への深さ情報に基づいて切削制御を行う。深さ情報を常に監視することにより、深さの変化が滑らかな部分のみを切削して、急激な深さの変化が検出された部分は切削しないように制御が可能となる。つまり、複雑な形状においても、ユーザーの意図した切削を適切に表現することが可能となる[4][5]。

第1図に、深さ情報に基づく誤切削の防止イメージを示す。通常、切削点の垂線と交わる3次元画像の表面を中心として、半径 $r$ の球の形に切削する。第1図上側の球3つは、切削点から各球の中心点までの深さは直前ま



第1図 深さ情報に基づく誤切削防止イメージ

Fig. 1 Avoidance of miss cuts based on depth information

での深さと大きく変化しないため切削可能と判断する。一方、第1図下側の球は、切削点から球の中心点までの深さが、直前までの深さと大きく変化しているため、誤操作による意図しない切削と判断して切削しない。

また、ユーザーの意図通りの切削を表現するためには、切削範囲は可変でなければならない。本システムでは半径 $r$ を可変とすることにより、切削範囲を適宜変更して、使用部分に適切な切削機能を提供する。

## 2. 深さ情報と切削範囲に基づく切削制御

### 2.1 深さ情報の算出

3次元画像表示時に、描画する視線に対して垂直の方向に一定間隔でサンプリングし、定めた切削操作線の上のすべての点について、サンプリング位置までの距離を測定し、その変化率を算出する。

(1) 式にその算出式を示す。切削点 $p_i$ における深さの変化量 $\Delta d_i$ と、閾(しきい)値 $T_i$ との比較を行い、切削実行の可否を判断する。例えば、切削点 $p_i$ の勾配 $\Delta d_i$ が閾値 $T_i$ 以上であった場合には、無効な切削点と判断し、切削は実施しない。

\* パナソニック メディカルソリューションズ (株)  
Panasonic Medical Solutions Co., Ltd.

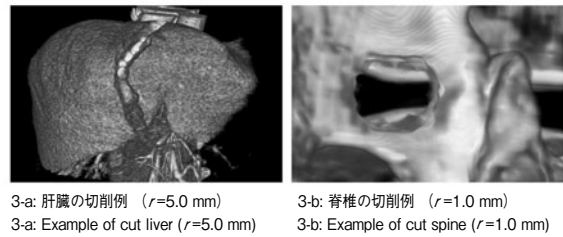
閾値 $T$ は切削処理の度に直近の切削点 $n$ 個の勾配平均と倍数係数 $m$ に基づいて閾値 $T_i$ を決めている。

また、倍数係数 $m$ と切削点 $n$ は、例えば $m$ を5程度、 $n$ を10などと、これら数値は対象画像により適宜設定できる。

$$T_i = m \left( \sum_{k=i-1-n}^{k=i-1} \Delta d_k \right) / n \dots\dots\dots (1)$$

### 2.2 切削範囲の調整

切削は球の形状で施しており、切削範囲は半径 $r$ により定義している。切削する部位に応じて半径を調整すると、切削を意図通りに表現することが可能となる。例えば、単純な形状部分を切削する場合は、半径を大きくして、簡便に広範囲を切削することが可能となる。一方、複雑な形状部分を切削する場合は、半径を小さくして、きめ細かく切削を表現することが可能となる。



第3図 切削範囲を変更した例  
Fig. 3 Example of adjusted cutting range

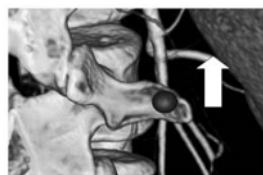
に応じてきめ細かく切削を表現することが可能となる。第3図に例を示す。3-aのような比較的単純な形状部分の切削時は半径を大きくして、一方3-bのような複雑な形状部分では半径を小さくして、意図した形状の切削を表現することが可能となる。

以上のように、誤切削を防ぎ、切削をきめ細かく表現することにより、より厳密な手術計画を立案することが可能となり、安全性の高い医療の提供に貢献できると考える。

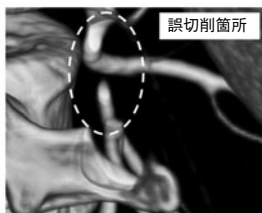
## 3. 切削制御による操作性の向上

2章で述べた方法により、深さの変化が滑らかな場合にのみ切削が可能となり、ユーザーの誤操作による急激な深さへの切削点を検出して、誤切削を回避できるようになった。第2図に例を示す。2-aの○で示す箇所から矢印方向に切削を行った際に、誤操作により奥方向にある血管部分へ切削点が及んだ場合、深さ情報に基づく切削制御を行わなければ2-bに示すように、意図しない切削が発生する。一方、深さ情報に基づく切削制御を行えば、2-cに示すように、急激に深さに変化する部分への切削を検出して、切削を回避することができる。

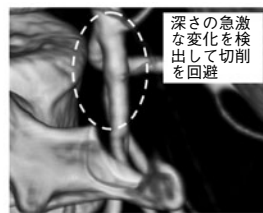
また、切削範囲を適宜調整することにより、切削箇所



2-a: 切削箇所  
2-a: Cutting point



2-b: 誤切削例  
2-b: Example of miss cuts



2-c: 誤切削防止例  
2-c: Example of avoided miss cuts

第2図 誤切削を防止した画面  
Fig. 2 Image of avoided miss cuts

## 4. 動向と展望

CTやMRIなどのスライスデータから3次元画像を再構成して表示するシステムは、3次元画像の可視化と解析に機能を特化したものが多い[6][7][8]中で、本システムは3次元画像への加工操作ができることを特徴としている。その特徴を生かし、特定の診療科に特化した手術計画の支援システムを構築した。今後も、診療科ごとに固有ノウハウを取り入れ、システムを拡張することにより、利用可能な診療科を徐々に広げる予定である。

本研究を進めるに当たり、多大なご支援を頂いた奈良先端科学技術大学院大学 湊小太郎教授、京都大学 中尾恵准教授、イーグロース(株)今西勁峰取締役をはじめ関係各位に感謝致します。

## 参考文献

- [1] 吉田宗人 他, “内視鏡下脊椎後方手術の実際,” 金芳堂, 2005.
- [2] Kim Laehyun et al., “Haptic interaction and volume modeling techniques for realistic dental simulation,” The Visual Computer, vol.22, no.2, pp.90-98, 2006.
- [3] Huff R et al., “Erasing, digging and clipping in volumetric datasets with one or two hands,” Proceedings of the ACM international conference on virtual reality continuum and its applications, pp.271-278, 2006.
- [4] 今西勁峰 他, “切削シミュレーション装置,” 特願2010-067610, 2010.
- [5] K. Imanishi et al., “Interactive bone drilling using a 2D pointing device to support microendoscopic discectomy planning,” International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, vol.5, no.5, pp.461-469, Sep. 2010.
- [6] ザイオソフト (株), “医用ワークステーション ziostation2,” <http://www.zio.co.jp/products/ziostation.html>, 参照 Sep. 5, 2011.
- [7] サイバネットシステム (株), “Real INTAGE 製品情報,” <http://www.cybernet.co.jp/medical-imaging/products/realintage/>, 参照 Sep. 5, 2011.
- [8] (株) AZE, “AZE Virtual Place,” <http://www.aze.co.jp/products/premium.html>, 参照 Sep. 5, 2011.