

## パーソナルコンピュータ上で動作する三次元 MR 画像 表示ソフトウェアの開発

巨瀬勝美, 井上雄介

筑波大学物理工学系

### はじめに

近年の MR 技術とコンピュータ技術の進展に伴って, MRI における三次元画像の利用はますます普及しつつあり<sup>1)~3)</sup>, MR angiography (MRA) や MR microimaging (MRM) において, 三次元 MRI は不可欠の手段となってきた。ところが, 撮像された三次元データを様々な形で利用するためのソフトウェアは, 一般に非常に高価であり, 使用される計算機もほとんどの場合が, 高価なワークステーション (WS) である\*。

いっぽう, 最近のマイクロプロセッサの高速化は目覚ましく, 処理速度の観点からは, WS とパーソナルコンピュータ (PC) の違いは急速に縮まってきている。しかも, PC にも 32 ビットコードの開発と実行が可能なオペレーティングシステム (Windows95 および NT) が装備されるようになり, 三次元画像の処理を PC 上で行う環境が整備されつつある。そこで我々は, 現在から将来にわたって, 最も広く使用されていくと思われる Windows 系 PC 上で稼働する三次元画像表示ソフトウェア (NMR-3DView) を開発した。本ソフトウェ

アは, 32 MB 以上の主メモリを搭載した Windows95 および NT 上で動作し, 128×128×128 画素の三次元画像データの任意方向からの表面表示像を 30 秒程度で作成する。現在, その最初のバージョンが完成し, サンプルデータと共に一般に公開している\*\*。以下に, 開発の方法, プログラムの構成, 実行結果などを述べる。

### 開発の方法

本プログラムは, 当初は Unix の X-Window 上で, C 言語と OSF Motif を用いて開発を行ったが<sup>4),5)</sup>, その大枠が完成した後, Windows95 上に移植し, 移植後は, Windows95 上で, Visual C++ を用いて開発を行った。Windows95 におけるプログラム開発の代表的方法としては, C 言語と Windows Application Program Interface (WinAPI) を使用する方法や, C++ 言語と Microsoft Class Library (MFC) を使用する方法などがあるが, 本開発では前者を採用した<sup>6)</sup>。また, 開発には, Hewlett-Packard 社の WS, 8000 シリーズ, モデル 712/60 (OS: HP-UX9.03, 主メモリ 32 MB) と, DELL Computer 社の PC, Optiplex

---

キーワード 3D MRI, MR microimaging, 3D processing, volume rendering

\*<http://biocomp.arc.nasa.gov:80/3dreconstruction/software/>

\*\*<ftp://nmrflow.bk.tsukuba.ac.jp/NMR3Dview>

XMT590 (OS: Windows95, 主メモリ 80 MB) を使用した。

なお、本プログラムの実行環境としては、

- ① OS: Windows95, または NT3.5 以上
- ② CPU: Pentium またはその互換 CPU
- ③ 主メモリ: 32 MB 以上
- ④ ビデオカード: 800×600 画素以上かつ表示  
カラー 65536 色以上

を想定して開発を行った。

### プログラムの構成

本プログラムの実行画面を Fig. 1 に示し、その構成を Fig. 2 に示す。

本プログラムを立ち上げると、Fig. 1 に示されるように、二つの画像表示ウィンドウと一つ

のグラフ表示ウィンドウ、そして処理メニューなどが表示される。そこでまず、メニューから、ファイル名を選択して、三次元データの入力を行う。データの形式としては、128×128×128 画素の等方的マトリクスと等方的画素サイズをもった生データ（ヘッダなし）を、そして、画素値としては、2 バイト整数（little endian と big endian）と、1 バイトの符号付き整数をサポートしている。

三次元データを読み込んだ後、既定の視線方向に垂直な中央の断層面と、全画素値のヒストグラムが表示される。次に、三次元の被写体の「表面」を検出するために、その表面を形成していると思われる画素値の範囲を、ヒストグラムの下に表示された二つのスライダーで設定する。そして、視線方向を設定するためのメニ

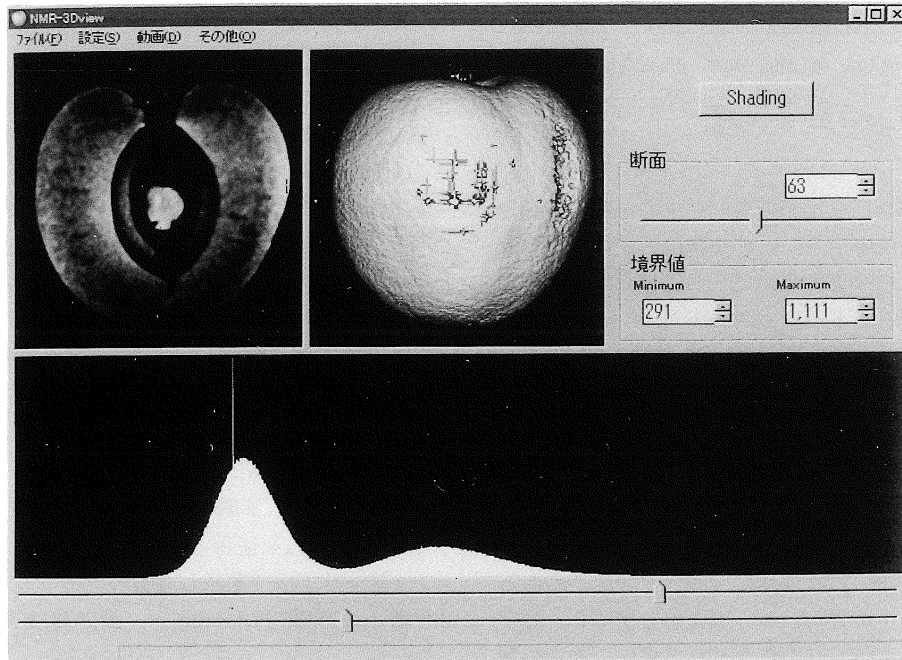


Fig. 1. CRT image of the “NMR-3DView” working window, The cross-sectional image, volume rendered surface image, and histogram of the voxel value are displayed at the upper left, at the upper center, and at the lower part in the working window, respectively.

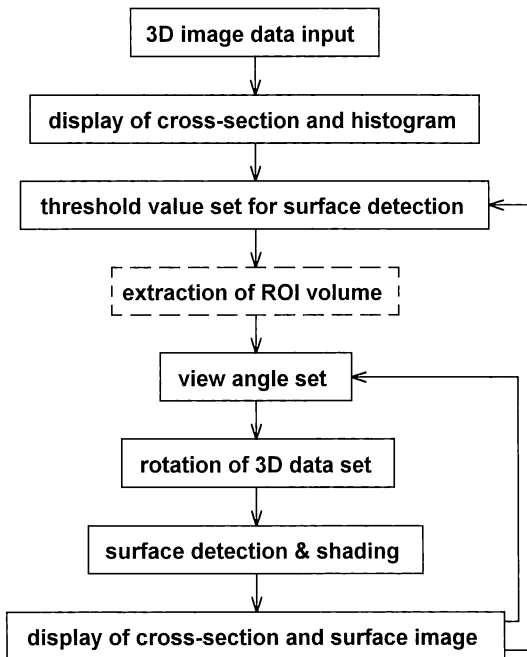


Fig. 2. Outline of the data processing in the "NMR-3DView" program. The extraction of a ROI volume is under development.

ューを開き、三次元画像データの回転の極角と方位角を決定する。この決定は、三次元データの存在を示す立方体のフレームを見ながら、直感的に行うことができる。

以上のように、検出すべき表面画素値の範囲と視線方向を決定し、ボリュームデータからの表面表示像 (volume rendered surface image) を以下のように求める。すなわち、①読み込まれた三次元データを回転して、それを保持する三次元配列における画素値を計算する、②その三次元配列において視線方向 (この配列のあるインデックス方向) から画素値を検索し、最初に表面画素値が見いだされたときに、その位置を表面の位置とする、③以上のように、三次元空間で求められた表面のデータを使用して、表面各点における法線と光源方向 (最初は視線方向と一致) のなす角の方向余弦 (cosine) を計算し、これに比例した輝度をもつ画像を作成す

る。そして、このようにして作成した三次元配列による断層像と表面表示像を、二つの画像ウィンドウにそれぞれ表示する。ただし、断層面は、視線方向と垂直な中央の断層面である。

以上が、このプログラムの大まかな構成であるが、断層像と表面表示像が表示された状態では、さらに、視線方向に垂直な任意の断層面をスライダーとボタンで指定して表示させることができ、また表面表示像の面内をマウスでクリックすることにより、光の方向 (最初は視線方向) を変化させて、表面の凹凸などを詳細に調べることができる。なお、以上の一連の操作には、後に述べるように、現在の典型的ハードウェアでは 30 秒程度の時間を要するため、指定した回転軸の周りに 10° ずつ回転した表面表示像を自動的に作成して保存する機能と、そのようにして作成した画像を連続的に再生するアニメーション機能も備え、三次元的形状の把握を容易にしている。

以上に示したのは、三次元的表示の機能であるが、画像データを積極的に操作する機能として、画像データの一部を切断する機能も付加している。

## 実行結果

Fig. 3, 4 に、本プログラムを用いて表面表示を行った結果を示す。これらの画像データは、鉛直室温開口径 89 mm の超伝導磁石 (Oxford 社) と、勾配コイル付きプローブ (Doty 社) を用いた静磁場強度 4.74 T の自作の MRI システムを使用して、三次元スピン・エコーフリー工法で撮像したものである。いずれも画像視野は (19.2 mm)<sup>3</sup>、画素数は 128<sup>3</sup> である。

Fig. 3 はブドウの実の画像データから作成した表面表示像であるが、陰影づけによって、表面の立体的形状を直感的に把握することができる。

Fig. 4 は、鉛直においた内径 16 mm のアク

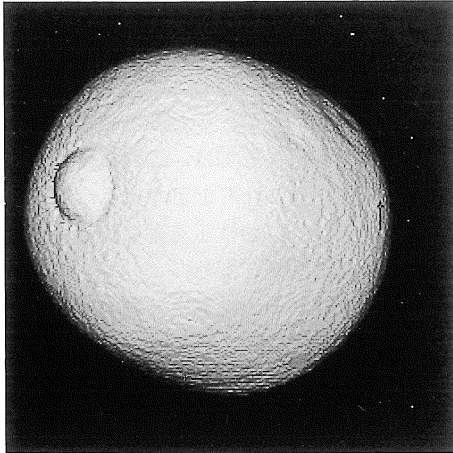


Fig. 3. Volume rendered surface image of a grape made by the "NMR-3DView" program. The FOV is  $(19.2 \text{ mm})^3$  and the image matrix is  $128^3$ .

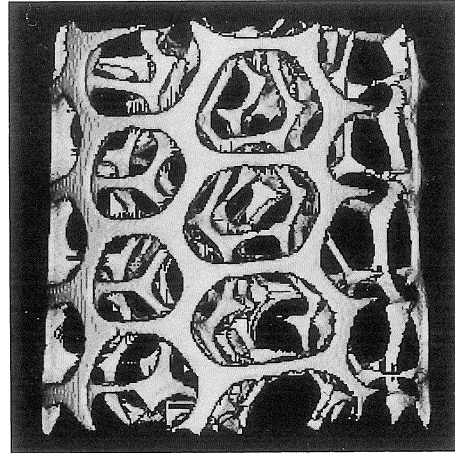


Fig. 4. Volume rendered surface image of a gelatin foam made by the "NMR-3DView" program. The FOV is  $(19.2 \text{ mm})^3$  and the image matrix is  $128^3$ .

Table 1. Processing Times for a Volume Rendered Surface Image in Various Windows Personal Computers

PC	processing time(s)
CPU: Pentium 90 MHz clock OS: Windows 95 memory: 64 MB	40.1
CPU: Pentium 120 MHz clock OS: Windows 95 memory: 80 MB	28.9
CPU: Pentium Pro 180 MHz clock OS: Windows NT 4.0 memory: 32 MB	17.4

リルパイプの中に、暖めて溶かしたゼラチン水溶液を入れ、その中に、下から空気を一定の割合で注入することにより作成した泡の表面表示像である。この泡においては、一つ一つの泡粒 (bubble) の境界面は非常に薄いため ( $10 \mu\text{m}$  以下と思われる) 十分な NMR 信号強度を持たず、泡多面体の稜の部分のみが画像化されている。よって、表面表示像でも、稜の部分のみが描出され、その三次元的な繋がりが可視化されている。

Table 1 に、以上のような表面表示画像を、

いくつかの PC で作成するのに要した時間を示す。この表から、メインメモリが 32 MB 以上であれば、実行速度は、ほぼ CPU のクロック周波数に比例することが分かる。

## 考 察

本プログラムは、機能としては、任意の視線方向からの表面表示と、視線方向に垂直な断層面表示を有するのみであるが、三次元データの全容を把握するためには、十分な機能を有していると思われる。しかも、実行ファイルは 109 kbyte と非常に小さく、プログラムの立ち上がりは非常に速い (Table 1 に示した機種ではほぼ瞬間的に立ち上がる) ため、PC で、いつでも簡単に使用できるという特長がある。また、設定するパラメータも少ないため、専門家でなくとも手軽に使用できるという利点もある。

本プログラムは、以上に述べたような特長を持っているが、一方で、市販の高価なソフトウェアに比べると、様々な機能が不足していることは否定できない。そこで、以下に、入力デー

タ形式、領域抽出、ボリュームレンダリング、処理速度の各項目に関して考察する。

本プログラムでは、入力データとして、 $128^3$ の等方的な画素をもつ生データのみとした。画素数を $128^3$ とした理由は、これが現在の三次元MRIの計測技術と適合していることと、現在の計算機の記憶容量や処理速度とよくバランスがとれていることによるものである。ただし、本プログラムの内部では、二次元的には $256 \times 256$ 画素で処理を行っており、PCの処理速度の進歩を考えると、今後は、PCで $256^3$ の画像データを扱うことにおいて、問題ないものと思われる。

次に、読み込むファイルの形式としては、ヘッダなしの生データファイルのみとした。これは、本プログラムの当初の開発の目的が、われわれの研究室で取得した三次元画像データの処理であったことによるものである。しかし、商用のMR microimagingの装置でも、このような生データの出力は可能であるので(Seo Y, 1997)、microimagingへ適用する際のファイル形式については、ほとんど問題はないと思われる。ところが、臨床診断用のMRI装置では、患者データ、撮像条件など、様々なデータを画像と共に記録することが広く行われており、三次元MRIの画像データを、生データ、すなわち、メモリのディスクイメージとして取得することは、通常は困難である。しかしながら、臨床診断用の画像フォーマットは標準化されつつあるので、将来は、そのような標準画像フォーマットに対応することを計画している。

ところで、本プログラムでは、画像データ全体の表面表示を行っており、関心領域の抽出は行わなかった。これに関しては、画像データの切断の機能を使用することにより、ある程度対応できると思われるが、将来は、特定の地点からregion growingの手法などを用いて、ある一定区間の画素値を持つ特定の領域を抽出する手法なども取り入れる予定である。

次に、本プログラムでは、三次元のボリューム

ムデータから、表面を検出して、それを陰影づけすることにより、三次元領域を立体的に表示することを行った。しかし、ボリュームデータを二次元の画像にする、いわゆるボリュームレンダリングの手法としては、これ以外にも様々なものがあり<sup>7)</sup>、これらをどのように取り入れて、本プログラムにおける有効な表示手法とするかは、今後の課題である。

さて、本プログラムにおける表面表示像の作成には、Table 1に示すように、現状で得られる最高クラスのPCで、20秒程度を要した。この処理速度は、メモリの容量の制限を考慮したプログラミング手法により決定されている部分が大きく、メモリ容量の制限を考慮しないプログラミングを行えば(100MB以上のメモリの使用が許されれば)、大幅に改良されるものと思われる。ただし、本プログラムの開発においては、特別なハードウェアでなくとも動作できることを主眼としたため、実行速度よりもメモリ容量を優先としたが、今後は、実行速度を優先するプログラムの開発も計画している。

## む す び

以上に述べたように、市場で入手できる標準的なパーソナルコンピュータにおいて、実用的な速度で動作する三次元MR画像表示プログラムを開発した。本プログラムを、臨床画像に適用するためには、まだいくつかの解決すべき問題点があるが、MR microimagingへ適用する場合には、ほとんど問題点はなく、その有用性も大いに期待される。

最後に、本論文を執筆するにあたり、岩手医科大学の佐々木真理先生、筑波大学の阿武泉先生、日本医科大学の玉井仁先生、京都府立医科大学の瀬尾芳輝先生、紀ノ定保臣先生、大阪通信病院の櫻井康介先生に、日本磁気共鳴医学会インターネット会議(IC97)において、貴重な助言を頂きましたので、ここに記して感謝します。

文 献

- 1) Bormans M, Höhne KL, Laub G, Pommert A, Tiede U: Improvement of 3D acquisition and visualization in MRI. *Magn Reson Imag* 1991 ; 9 : 597-609
- 2) Höhne KL, Bormans M, Riemar M, Schubert R, Tiede U, Lierse W : A volumebased anatomical atlas. *IEEE CG&A* 1992 ; 12 : 72-78
- 3) Yoo TS, Neumann U, Fuchs H, Pizer SM, Cullip T, Rhoades J, Whitaker R : Direct visualization of volume data. *IEEE CG&A* 1992 ; 12 : 63-71
- 4) 木下凌一. X-Window Ver. 11 プログラミング. 東京 : 日刊工業新聞社, 1989 :
- 5) 兜木昭男, 木下凌一, 林 秀幸, 安川悦子. X-Window OSF/Motif プログラミング. 東京 : 日刊工業新聞社, 1990 ;
- 6) Herbert Schildt 著, 柏原正三監訳. C/C++プログラマのための Windows95 プログラミング. 東京 : 翔泳社, 1995 ;
- 7) Drebin RA, Carpenter L, Hanranhan P : Volume Rendering. *Computer Graphics (Proc. Siggraph)* 1988 ; 22 : 65-74

**Development of Volume Visualization Software (NMR-3DView)  
for Personal Computers**

Katsumi KOSE, Yusuke INOUE

*Institute of Applied Physics, University of Tsukuba 1-1-1, Tennoudai, Tsukuba-shi 305*

3D MRI is now an indispensable tool in MRI research as well as in medical diagnosis using MRI. Most of 3D visualization software packages, however, are very expensive and limited to be used on workstations which will not be personally available. We have thus developed a 3D volume visualization software (NMR-3D View) on personal computers running under Windows 95 or NT, because the Windows PC's have the overwhelming market share and the best performance per cost. The program can make a volume rendered surface image of a  $128 \times 128 \times 128$  voxel image data from any direction in about 40 seconds when a Pentium processor (90 MHz clock) is used with 32 MB RAM. The initial version has been completed and now available on the Internet (<ftp://nmrflow.bk.tsukuba.ac.jp/NMR3Dview>).