

学位論文題名

A Study on Two/Three Dimensional
Medical Image Processing

(医用画像の二/三次元処理に関する研究)

学位論文内容の要旨

近年、コンピューターと結び付いた医用イメージング技術の急速な発展によって、生体などから非侵襲的に観測対象物を画像情報として抽出し、体内の臓器の形態、構造を推定し、細かい病変や代謝状態を観察することが可能となった。しかし、正確な画像診断を行うために多数の画像データに含まれている生体情報を医師が理解しやすいように表示することが第一歩である。本論文では、医用画像の表示における二/三次元処理の諸課題を研究し、いくつかの手法を提案している。二次元画像処理では、画像を医師の読影に適するように画像コントラスト改善の手法を提案し、三次元表示のための画像処理では、コンピュータグラフィックスの技法により三次元画像を高速生成する手法について提案している。

一般に医用画像は多階調であり、CTなどでは最高12ビットにも及ぶ。このように画像信号のダイナミックレンジが広いため、CRTなどの画像出力装置では、十分な階調をもって画像全体を表示できないし、たとえできたとしても人間の目にはこれらを識別する能力はない。そこで、二次元画像処理によって画像の濃度情報の表示能力の不足を補う研究が盛んに行われているが様々な限界があり、本論文の一部ではより有効な画像のコントラスト増強手法を提案してこの問題を取り扱っている。

二次元画像処理では同一平面上の生体情報を明確にすることができるが、三次元におよぶ病巣の形態や構造を解明するためには、病巣の立体的かつ視点を自由に替えることのできる画像表示法が望ましい。X線CT、MRIなどのイメージング装置を利用して生体各部の多数枚の平行スライス断層像を撮影することにより本質的に三次元データ構造としての画像が得られても、処理速度、コストなどの制約から、任意の断層面を瞬時に取り出したり、組織の立体像を表示したりすることが困難であり、大半の医師の診断は個々の断層像を見て、頭の中で三次元像を構成しているのが現状である。三次元表示のための画像処理では、コンピュータグラフィックスの技法により、視点を自由に変えた三次元画像を作り出し表示することにより医師の負担を軽減する。しかしながら膨大な画像データの量は医用画像の三次元高速表示を妨げる要因となる。このため、大容量フレームバッファの利用、三次元アドレスジェネレータのハードウェア化、アルゴリズムの計算量削減などが開発されている。三次元画像の高速生成による生体情報の表示は本論文のもう一つの目的である。そのためのボクセル追跡アルゴリズムと逆投影による画像面の各領域の効率的な処理手法を提案している。

本論文は全6章より構成されている。各章の要約は以下の通りである。

第1章では、本研究の必要性、現状と研究目的を述べ、本論文の構成についてまとめて

いる。

第2章では、二次元画像処理によって、X線CT画像中の微小な濃度差を持つ組織を強調して表示するための二段階画像処理手法を提案している。この手法では、まず非対称な非線形サブフィルターを導入し、画像の局所エッジなどの方向性を持つ構造的な情報を保ちながら画像固有の雑音を軽減する。そして、次段階のサブフィルタでは、局所的な画像の濃度値の剰余変換によって、画像の領域区分の細部を強調する。剰余変換のパラメータは各画素の近傍でのコントラスト因子と画像濃度値の分布に基づいて動的に決定する。局所コントラスト因子はWeberの比に一致するように二段階の近傍領域に対する方向性を考慮したメディアン相対変化の計算により求めた。この方法は低いコントラストで広いダイナミックレンジを持つ画像の強調に適しており、頭部X線CT画像に対する実験例によって、本方法の有効性を示している。

第3章では、三次元画像を生成するための基本的なレンダリング手法を述べ、面素構成法とボリュームレンダリング構成法について、比較を行っている。本論文では、ボクセル表現によるボリュームレンダリング法を採用している。

第4章では、LCDDA (Latched Comparing Digital Differential Analyzer) とよばれるハードウェア志向の高速ボクセル追跡法を提案し、実現した。物体のボクセル表現は広くCAD、ロボット、コンピュータ・グラフィックス及び医用画像処理に応用されている。空間分割法に基づいたCG処理では、光線と物体との交点を求めるために、光線が通過したすべてのボクセルを検出することが重要である。本研究では、従来のDDAアルゴリズムの歩進的動作原理を改良し、一回のDDA計算で得られた結果を前回の結果と組合せて一回、二回、あるいは三回のLCDDA動作に移行するという直進型DDAアルゴリズムを提案する。本方法はDDA計算で得られた結果の整数部と小数部を共に利用しボクセルのアドレスを連続的に生成する。特に、小数部の演算結果を使って偽投影を実現し、ボクセル列の順序を判別している。本方法は従来の方法と比べて、計算量が少なくアルゴリズムの実現が簡単でハードウェア向きという利点がある。本方法によるボクセル追跡の実行時間は、パーソナルコンピュータ(クロック:5MHz)を用いて、 $200\mu\text{s}$ であった。この結果はワークステーション上に評価したFujimotoのアルゴリズムに比べて約100倍速く、Glassnerのアルゴリズムに比べて約1000倍高速である。

第5章では、前章に続いて、ボリュームビジュアライゼーションの高速なアルゴリズムについて研究を行った。本手法では従来のBTFアルゴリズムで用いられるボクセル単位の逆投影の代わりに、光線単位を基本とする逆投影を採用している。ここで必要な逆投影及び連立方程式の解の計算に当たっては、スキャンラインの直線性とバウンディングボックスの平面性を利用することで最初の一回を除いて加算と比較演算だけで実現できた。また、乗算の回数は $O(M^2)$ から $O(1)$ へ減らすことができた。冗長な加算についてもバウンディングボックスの可視面のルックアップテーブルを使用し、画像面を各ダイナミック領域に分割して処理することで回避している。

第6章では、これまでの章を総括し、残された課題について述べている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	青木	由直
副査	教授	新保	勝
副査	教授	北島	秀夫
副査	教授	嘉数	侑昇
副査	助教授	川嶋	稔夫

学位論文題名

A Study on Two/Three Dimensional Medical Image Processing

(医用画像の二/三次元処理に関する研究)

近年、医用モダリティの種類が増加、発展に伴い、生体の非侵襲的画像計測が行われ、診断に利用されている。本研究は、医用画像の表示における二/三次元処理の課題のいくつかについて検討し、新たな手法を提案するとともに、実験による評価を行ったものである。本論文では、二次元断層画像のコントラスト改善方式、および、生体のボクセルデータから三次元画像を高速に生成するための手法について検討が行われている。

本論文における研究成果の評価は以下のように要約される。

1) X線CT画像中の微小な濃度差を持つ組織を強調して表示するために、局所的な画像の濃度値の剰余変換によって、画像の領域区分の細部を強調する手法を提案している。剰余変換のパラメータは各画素の近傍でのコントラスト因子と画像濃度値の分布に基づいて動的に決定することが効果的であることも示している。

ここで提案された手法では、コントラストのきわめて低い画像を、局所的性質と視覚の心理学的性質に基づいて適応的に処理する方式が用いられており、X線CTの画像診断の際にきわめて有効な方法と考えられる。

2) 画像強調による雑音の増加を防ぎながら領域細部の境界や線状構造が保存されるような、方向性を持つ非対称な非線形サブフィルターを導入し、1)の前処理とすることで画像の可読性が向上することを明らかにしている。この手法では方向性を持ったメディアンフィルタを大きさの異なる2種類の近傍について処理を行うことを提案し、実験によりその有効性を確認している。

3) 三次元画像処理におけるボクセルデータを高速に追跡するアルゴリズムを提案し、それをハードウェアで実現している。従来のDDAアルゴリズムの歩進動作原理を改良し、DDA計算で得られた結果の整数部と小数部を共に利用することで、ボクセルのアドレスを連続的に高速に生成できることを明らかにしている。

具体的にはLCDDAとよばれるハードウェア指向の高速ボクセル追跡法を提案し、実現している。この手法は、従来のDDAアルゴリズムの歩進動作原理を改良し、一回のDDA計算で得られた結果を前回の結果と組合せて一回、二回、あるいは三回のLCDDA動作に移行するという直進型DDAアルゴリズムで、ハードウェア化の結果、ボクセル追跡の実行時間が、Fujimotoらのアルゴリズムに比べて100倍程度、Glassnerのアルゴリズムに比べて1300倍程度高速化されることを示している。

4) ボリュームビジュアライゼーションの高速なアルゴリズム実現のために、ボリュームレンダリングの際に、スキャンラインの直線性とバウンディングボックスの平面性を利用することで、連立方程式を解かずに加算と比較演算だけで計算する手法を提案している。

本手法では従来のBTFアルゴリズムで用いられるボクセル単位の逆投影の代わりに、光線単位を基本とする

逆投影を採用し、必要な逆投影及び連立方程式の解の計算に当たっては、スキャンラインの直線性とバウンディングボックスの平面性を利用することで最初の一回を除いて加算と比較演算だけで実現している。また、乗算の回数は $O(M^2)$ から $O(1)$ へ減らすことができることを示している。冗長な加算についてもバウンディングボックスの可視面のルックアップテーブルを使用し、画像面を各ダイナミック領域に分割して処理することで回避し、より高速なレンダリングを実現している。

これを要するに著者は、医用画像の二／三次元表示機能を向上するためのいくつかの手法を考案し、医用画像処理において有益な新知見を得ており、情報工学の進歩に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。