

審査の結果の要旨

氏 名 ニコラス

本論文は3次元術中超音波を画像誘導治療に応用する場合に重要な技術となる3次元情報提示方法の高速化を、Integral Videography(IV)を対象として行ったものである。具体的には、術中画像を視覚化するための高速IVレンダリング方法の開発、高画質なIVレンダリングアルゴリズムの開発、様々な手術誘導アプリケーションを開発できるユーザインターフェースの開発を行った。その結果、3次元超音波画像装置からの情報をリアルタイムでIV表示できる世界で唯一のシステムを実現したのは極めて大きく、心臓外科手術や胎児外科手術のような術中の臓器の移動・変形が大きい手術への適用が可能となった。

本論文は6章からなり、第1章では、序論として3次元実画像表示技術に関してIntegral Photographyとそれをベースにしたフルカラー動画表示のIVについてその歴史と原理について解説し、本画像表示が治療分野において大変有用であることを述べている。第2章では、本研究の目的として、①リアルタイムIVレンダリングのアルゴリズムの開発、②高画質レンダリングのアルゴリズムの開発、および③臨床応用に必要なユーザインターフェースの開発、の3点を挙げている。第3章では、システム構成、ソフトウェア開発などの方法について述べている。特にGPUを使用することにより、超音波画像装置、X線CT、MRIなどの3次元画像データをリアルタイムでIV用のデータに演算するアルゴリズムの開発に成功している。開発したシステムを用いて、3次元超音波画像装置からのデータをリアルタイムでIV用データに変換して表示に成功している。第4章では、開発したシステムに関して、事前に取得したヒトの心臓データと胎児モデルを用いてシステムの評価を行っている。第5章では、実験結果に対して考察し、第6章で結論を述べている。

まず、三次元医用画像のリアルタイム立体像の視覚化を目的に、GPU計算を用いて三次元ボクセルデータを直接レンダリングする高速IVボリュームレンダリング方法を開発した。また、実三次元で重要な奥行き感を向上させるために、色・透明度のカラーマッピング及びPhongシェーディングを用いたCompositeレンダリング法を開発している。IVレンダリング機能を3D Slicerの拡張モジュールとして開発した。IVレンダリングモジュールをOpenIGTLinkモジュールと組み合わせることで、様々なアプリケーションの実現が可能となった。これにより、心臓外科手術や胎児外科手術の臨床応用を目的に、市販されている三次元超音波画像診断装置によりリアルタイムで取得した情報をオンラインでリアルタイムIV画像として視覚化するシステムの開発に成功している。

本研究で開発したGPUによるIVレンダリング手法と、通常のCPUによるIVレンダリング時間の処理速度を比較した結果、データサイズが大きくなるほど開発したシステムのほうが高速であることが確認されている。また、奥行き感に関して、従来方法と本研究で開発したIVレンダリングアルゴリズム(Phongシェーディングを用いたCompositeレンダリングアルゴリズム)との比較を行った結果、IVディスプレイの最長飛び出し距離の範囲内ではPhongシェーディングによって奥行き感が向上したことが確認されている。

また、本IVレンダリング表示における元データのノイズの影響を見るために、画質の良いCT像、次にMR像、最後に超音波画像による人の心臓の三次元表示を行った。その結果、比較的ノイズが少ないCT画像の場合は、シェーディングは滑らかであり、鏡面反射成分の割合を大きくすればするほど奥行き感が向上され、比較的ノイズが多いMR画像や超音波画像の場合は、鏡面反射成分を大きくしすぎるとIV画像の明るさ及びコントラストが落ちることを確認している。IVのリアルタイム性の評価としては、ファントム実験とブ

タによる動物実験を心臓外科医に評価してもらったところ、十分に満足行くもので、手術の遂行上問題ないことも確認している。最後に、ナビゲーションの性能評価としてドーナツ形のターゲット（内径 10mm，外形 30mm）の穴に鉗子を挿入する時間の計測を、本 IV 表示と疑似三次元表示で表示して比較している。ターゲットまでの時間は、広範囲に一樣な画質で表示な疑似三次元表示の方が速い（82%）が、挿入には本 IV 表示のほうが速く（50%）かつトータル時間としても本 IV 表示のほうが速い（8%）という結果を得ている。

以上のことから、術中画像用のリアルタイム IV 立体像表示として、高速な IV レンダリング手法を開発し、前処理なしで三次元医用画像をリアルタイムで視覚化が可能になっている。また、IV レンダリングの速度評価から、開発した手法は従来方法より最大 189 倍速いことも判明している。一方、高画質な IV レンダリングアルゴリズムの開発により、色・透明度な表示が可能になり、IV ディスプレイの最長飛び出し距離内では提案したアルゴリズムが従来アルゴリズムより奥行き感を向上している。そして、開発したシステムをモジュール型のデザインにすることで、様々なアプリケーションに応用しやすく、本研究では 2 つの異なるアプリケーションで示している。三次元超音波を用いたリアルタイム IV 表示システムを構築し、従来の三次元表示よりターゲットングを 8% で、詳細のターゲットングを 50% の時間短縮が得られている。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。