

仮想空間操作システムの開発による画像処理システム開発支援環境
VISUALの検証

正員 北川 英志[†] 正員 岡田 稔^{††}
正員 横井 茂樹^{†††} 正員 鳥脇純一郎[†]

Evaluation of an Environment for Supporting Development of a
3D Image Processing System VISUAL by Development of
Virtual Space Manipulating System

Eiji KITAGAWA[†], Minoru OKADA^{††}, Shigeki YOKOI^{†††}
and Jun-ichiro TORIWAKI[†], *Members*

あらまし 本論文では、3次元画像処理システム開発支援環境 VISUAL の実際のシステム開発を通じた改良および有効性の評価について述べる。従来、VISUAL のシステム開発における有効性は確認されていなかった。また、VISUAL の機能として、分散環境で複数操作者による画像の並行操作が可能なシステム構築が可能であるが、実際の開発時の問題点などの検証がなされていなかった。今回、3次元画像を対話的に操作するための仮想空間操作システムを開発し、これらの点についての評価、検証を行った。その結果、VISUAL を用いることによってシステム開発に要する作業量が削減でき、効率的な3次元画像処理システムの開発ができるということが確かめられた。また、分散環境で動作するシステムの構築を容易にし、複数操作者による同一仮想空間の並行操作の実現が可能であることを確認した。

キーワード 3次元画像処理, 開発支援環境, 分散環境, 仮想空間操作

1. ま え が き

現在、医療の分野においては、計算機断層撮影装置(CT)や磁気共鳴画像装置(MRI)などの3次元イメージング装置の普及が目覚ましく、3次元画像の入手が容易になり、3次元画像の診療への利用も急増している。このため、3次元デジタル画像の対話的な操作を容易にする3次元画像処理システムへの要求が高まっている。しかし、ユーザが独自に3次元画像処理システムを開発する場合、大規模な3次元画像データの処理

や、ハードウェアの処理能力の限界などから、高度かつ複雑な技術が必要となる。また、これらの負荷の分散を図るために分散環境に対応したシステムを開発することが望ましいが、それは応用分野の技術者には困難である。更に、システムの拡張や、保守について十分考慮して開発しなければ、新たな機能の追加や、変更が生じたときの負担が増大する。このため、3次元画像処理システムの構築を容易にするための開発支援環境の整備が求められてきた。

画像処理システムの開発支援に関しては、田村らが2次元画像を対象とする画像処理環境 VIEW-Station⁽¹⁾を開発している。これは、C++で記述された画像処理ライブラリーや、画像処理手順を視覚的に構成するビジュアルプログラミングプラットフォームなどを用いて、画像処理システムを階層的に開発することができる環境である。また、松尾らは2次元画像を対象とする分散画像処理環境 VIOS⁽²⁾を開発している。

[†] 名古屋大学工学部情報工学科, 名古屋市
School of Engineering, Nagoya University, Nagoya-shi, 464-01 Japan

^{††} 名古屋大学情報処理教育センター, 名古屋市
Education Center for Information Processing, Nagoya University, Nagoya-shi, 464-01 Japan

^{†††} 名古屋大学情報文化学部, 名古屋市
School of Informatics and Sciences, Nagoya University, Nagoya-shi, 464-01 Japan

これは、画像データにオブジェクト指向の考えを取り入れ、画像サイズや種類の違いを吸収して統一的な操作で画像を扱えるようにし、分散環境で機能を固定された三つのモジュールにより画像処理を行うことを実現したシステムである。しかし、これらは対象が2次元画像であり、2次元の画面を通して3次元対象物を操作するという3次元画像処理特有の機能については十分に考慮されていない。

一方、3次元画像を対話的に操作したいという要求の高まりの中で、3次元画像操作を行うシステムがいくつか考案されている。Galyleanらは、仮想空間に置かれたオブジェクトを各種のツールを用いて対話的に操作する3次元彫刻システム⁽⁶⁾を開発した。このシステムは、自由かつ複雑な3次元形状を作成することができるが、正確な形状を作成することが困難である。安田らは頭蓋形成手術計画の立案、シミュレーションのためのシステム NUCSS⁽⁷⁾を開発した。また、これをワークステーションに移植したもの⁽¹²⁾も開発されている。これらは、3次元物体の正確な切断や移動を対話的に行うことができる。しかし、位置の決定に3面図を用いているため、実際の操作感に乏しく、物体の表面形状に沿った切断などで誤差が生じるといった問題点がある。また、CT装置に付属しているソフトウェアはいくつかあるが、これらは3次元画像や任意断面の高速表示に重点がおかれており、3次元画像の対話的な操作はほとんど実現できない。また、これらのシステムはすべて単一操作者による操作を対象としたものであり、実際の外科手術で必要とされる複数操作者による並行操作については全く考慮されていない。

これらに対して我々は、3次元画像の画像処理システムの構築を効率良く行うための開発支援環境 VISUAL⁽³⁾⁻⁽⁵⁾の構想を提案し、原型を既に開発している。VISUALは分散環境で動作する画像処理システムの開発も行えるように設計されている。しかしながら、具体的なシステムの開発に応用した場合の有効性は十分に検討されていない。

本論文では、上記の3次元画像処理システム開発支援環境 VISUALを改良したこと、更に、それを用いて並行操作が可能なる3次元画像を操作するための仮想空間操作システムを作成し、VISUALの有効性を検討したのでその結果を報告する。

以下、2.では、VISUALの概要および改良点について述べる。3.では、仮想空間操作および今回作成した仮想空間操作システムと並行操作について述べる。4.では、

VISUALの評価を行う。

2. VISUALとその改良

本章では VISUAL の概要⁽³⁾⁻⁽⁵⁾と共に、その改良点について述べる。

2.1 VISUALの概要

VISUALは、3次元画像処理システムの基本的な部品を用意し、3次元画像処理システムの構築を効率良く行うための開発支援環境を提供するシステムであり、UNIXおよびX-Window System上で動作する。また、分散環境で動作するシステムの構築を容易にするために、ネットワークを考慮した環境を提供する。

VISUALは、VISUALサーバとVISUALクライアント(以下クライアント)から構成される。その概念図を図1に示す。

VISUALサーバは3次元画像を管理しており、クライアントのリクエストに従って3次元画像に関する各種のサービスを行う。更に、ネットワークを内包しているためシステムを分散処理環境で動作させることが可能である。このネットワーク対応部分は、必要に応じて切り離すことができるので、分散環境を必要としないシステムでは無用のオーバーヘッドを避けることができる。

クライアントは、目的のシステムの各種の機能を実現する。また、VISUALサーバがネットワークを内包しているため、クライアントをネットワーク内の任意のワークステーションに複数配置することができる。これにより、クライアントのもつ機能に最適なワークステーションで動作させることができるので、全体と

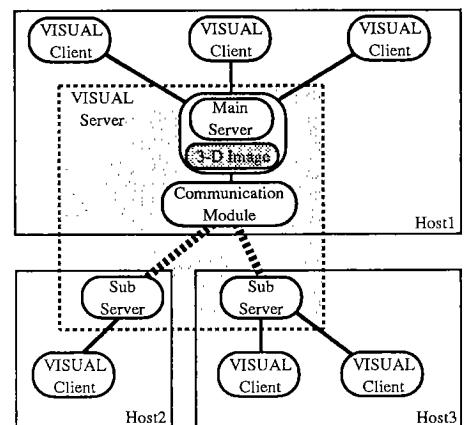


図1 VISUALの概念図
Fig. 1 Outline of VISUAL.

して効率的なシステムを構築することができる(機能分散)。また、同一クライアントを複数配置することによって、複数の操作者がシステムを並行操作することも可能である。クライアントは他のクライアントと独立に開発することができる。このためクライアントプログラムの開発が容易となり、システムの拡張性や保守性が向上する。

クライアントの開発を支援するために、Vlib と呼ばれるライブラリーが用意されている。Vlib を用いることで、複雑な VISUAL サーバとの通信部分や対話的な処理部分を効率的に開発することができる。

2.2 基本 VISUAL クライアント

現在、多くの画像処理システムに共通して用いることができる基本的なクライアントとして、3次元画像表示、画像ファイル管理および立体視表示の各クライアントが開発されている。これらのクライアントは、システムを構築する上で必要となる基本的機能を実現している。

[3次元画像表示クライアント] 3次元整数値画像をラベル画像とみなして疑似カラー表示するクライアントである。3次元画像のラベル値0の部分は背景として扱う。ユーザは、マウスを用いて対話的に視線方向や倍率を指定することができる。これによって、任意の方向から任意の大きさで3次元画像(または、仮想3次元物体)を観測することができる。

[ファイル管理クライアント] 3次元画像ファイルの入出力を管理するクライアントである。これらのファイルの指定はマウスを用いて対話的に行える。また、3次元配列以外にもランレングスやリストなどのさまざまなデータ形式に対応し、データ形式の違いを吸収する機能をもつ。ファイルから読み込んだデータは、VISUAL サーバの管理する3次元画像配列に送られるが、このときに、前の画像に上書きするモードと、前の画像を残して書き込むモードが用意されている。

[立体視表示クライアント] 3次元画像の立体視を行うために、アナグリフ方式による両眼立体視画像を生成するクライアントである。3次元画像表示クライアントと同様に、任意の方向から任意の大きさで3次元画像を観測することができる。また、必要に応じて視差の調整が行える。

2.3 VISUAL の改良

今回の実際のシステムの開発(3.参照)を通して判明した不都合な点に対する改良や、新たな考察に基づいて変更した点のあらましを以下に簡潔に記す。

(1) 従来、メインサーバとサブサーバに別れていた部分とネットワーク管理部分の一つにまとめて VISUAL サーバとした。これによりネットワークの存在を意識せずに、同一ワークステーション上に存在する VISUAL サーバとの通信のみを考慮してクライアントを作成することが可能となる。結果として分散環境で動作するシステムの構築が容易になる。

(2) 従来、VISUAL サーバは X-Window System がない環境では動作しなかったが、今回、X-Window System が存在しない環境で動作可能なモードを追加した。これにより、X-Window System とは独立に動くシステムの開発が可能となった。

(3) ライブラリー Vlib を用途に合わせて以下の四つに細分化した。

(i) 対話処理関係: X-Window System に依存する対話処理をまとめたライブラリー。

(ii) VISUAL サーバとの通信関係: VISUAL サーバへの各種のサービスの要求や、3次元画像の変更など、VISUAL サーバとの通信が必要となる処理をまとめたライブラリー。

(iii) VISUAL サーバ用の処理関係: 通常 VISUAL サーバのみが使用して、クライアントが使用する必要のない処理をまとめたライブラリー。

(iv) ネットワーク通信関係: VISUAL サーバ内でネットワークを介して3次元画像を扱うときの処理をまとめたライブラリー。

クライアントを作成する場合は通常(i), (ii)のライブラリーを使用するだけでよい。

(4) 後述する複数操作者による並行操作の際の画像の使用権の問題を解決するために VISUAL サーバに画像のロック機能をもたせた。

2.4 VISUAL によるシステム開発

VISUAL によるシステムの構築は、必要な機能を実現する複数のクライアントを作成することで行われる。クライアントは異なるシステムで共用することができるため、画像の表示やファイルの管理などのシステムの基本的機能を実現するクライアントを1度作成すれば、他のシステムで再利用することが可能になる。

先に述べた基本 VISUAL クライアントを用いることにより、新たに作成したいシステムの本質部分のクライアントを開発するだけで求めるシステムのプロトタイプを作成できる。このため、システムの開発効率が向上する。

VISUAL のソフトウェア階層を図2に示す。

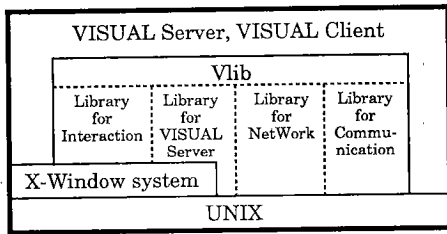


図2 VISUALのソフトウェア階層
Fig. 2 Software hierarchy of VISUAL.

3. 仮想空間操作システム

3.1 システムの概要

今回、VISUAL を用いて仮想空間操作システムを開発した。このシステムは、立方体画素（ボクセル）の3次元配列で与えられる3次元ラベル画像を対象とし、その中の3次元図形（値1以上の画素の集合）に対する編集操作を対話的に行うことを目的としている。ここでいうラベルとは、各々の3次元図形に与えられる識別番号のことで1～255の値をもつ。各画素はそれが属する図形のラベルを値としてもつ。背景はラベル0が与えられる。この3次元画像は仮想的な空間を、その中の図形は空間中の3次元物体をそれぞれ記録しているとみなされる。その意味で、本システムを仮想空間操作システムと呼ぶ。なお、本システムの機能は、外科手術シミュレーションシステム開発の経験に基づいて設定されたものであり^{(7),(8)}、本システム自体の応用上の意義も大きい。また、この開発は開発環境であるVISUALの有効性を実証的に検討するという意味も併せて持っている。

システムは、3次元画像編集クライアント、3次元画像表示クライアント、画像ファイル管理クライアントおよびVISUALサーバから構成されている(図3)。3次元画像編集クライアントは、3次元画像内の3次元図形の対話的な編集を担当し、今回開発したシステムの中心的な機能を実現する。3次元画像表示クライアントは、3次元画像を平行投影で表示し、任意の方向から3次元画像を観察することを可能とする。画像ファイル管理クライアントは、3次元画像の保存、読出しを行う。VISUALサーバは、3次元画像の管理を行い、3次元画像の変化を検出すると、それを他のクライアントに通知する。これによって、必要に応じて各クライアントで同期をとることが可能である。

現在のVISUALにおいて、VISUALサーバおよび

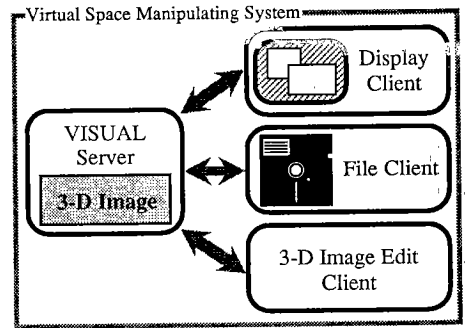


図3 仮想空間操作システムの構成図
Fig. 3 An Illustration of the virtual space manipulating system.

基本クライアントとして3次元画像表示クライアントと、画像ファイル管理クライアントが既に用意されている。このため、3次元画像の編集を対話的に行う3次元画像編集クライアントを作成するだけで求めるシステムが構築可能である。

3次元画像編集クライアントの機能としては、図形の移動、切断、複製、削除、新たな3次元基本形状の生成などが必要である。これらの操作での対象の選択や位置の指定のために、後述する3次元カーソルを用意した。また、アナグリフ方式による3次元画像の立体視表示によって、ユーザは3次元画像を任意の位置から観測することができる。この3次元画像編集クライアントを複数起動することで、後述する複数操作者による同一空間の並行的な編集が可能となる。

本システムで扱う3次元画像では、同じ画素値（ラベル）をもつ画素の集合は一つの3次元図形を表すものとみなし、それを「部品」と呼ぶ。

各種の操作において操作対象の選択は、直方体領域での指定と、部品単位での指定が可能である。

3.2 3次元カーソル

3次元画像編集クライアントにおいて、画像の操作における対象の選択や位置の指定のために3次元カーソルを定義し実装した。なお、これは暫定的な措置であり、3次元カーソルの機能は3次元画像編集クライアントから独立したモジュールとする方法が望ましいと考えられる。3次元カーソルは、仮想空間内の位置の座標値を示し、仮想空間内の任意の位置に移動可能なカーソルで、マウスとキーボードで操作することができる。

マウスの移動により、3次元カーソルは仮想空間内を投影面に垂直な方向に移動する。また、controlキー

と併用することで投影面に平行な方向への移動が可能になる。

3次元カーソルも3次元画像と同様にアナグリフ方式で表示される。また、同時に仮想空間内の座標値も表示される。これらによって、仮想3次元空間中の正確な位置の指定が可能になっている。

3.3 各種の操作

現在システムで用意されている操作は、移動、切断、複写、削除および3次元基本形状の生成である。移動は仮想空間内での3次元図形の位置の変更を行う。切断は3次元図形を新たなラベルをもつ複数の図形に分割する。複写は既に存在する3次元図形と同じ形で新たなラベルをもつ図形を任意の位置に生成する。削除は3次元図形を仮想空間から取り除く。3次元基本形状の生成は、直方体や球などの3次元形状を生成し、仮想空間に配置する。

以下、この中で移動と切断について述べる。両者は、画像操作において基本的な操作であり、最も多く使用されると考えられるからである。

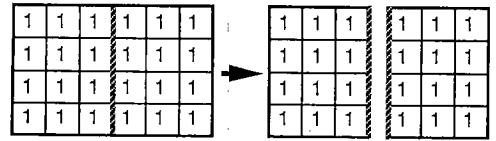
(1) 移動 移動は、まず対象となる図形を選択し、次に移動量を指定することで実現される。この対象の選択方法には、仮想空間内の直方体領域での選択と、部品単位での選択がある。どちらも3次元カーソルで直方体領域を指定するが、前者は指定された領域内に存在し、かつどれかの部品に属する画素のすべてが対象となり、後者は領域内に一部分が含まれる部品を構成する画素のすべてが対象となる。

対象をこのように指定すると、移動対象となる画素の集合の存在範囲を表す直方体が示され、これを仮想空間内の任意の位置に移動することで移動操作を実現する。移動は画素の位置のみを変化させ、ラベルは変化させない(図4(a))。

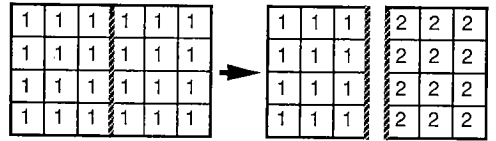
なお、移動先に別の図形が存在すると上書きされてしまうため、注意が必要である。

(2) 切断 本システムでは切断の定義を、ある画素集合を異なるラベルをもつ複数の画素集合に分割することとする。切断の実現は、画素集合を移動することで実現する方法と、切断平面を指定することで実現する方法がある。

前者の切断の指定方法は、移動の指定と全く同じである。移動では画素のラベルは変化しないが切断では操作後の画素のラベルが変化する(図4(b))。このため切断した後の画素集合は、新しい部分として扱われることになる。



(a) Moving



(b) Cutting

図4 (a)移動と(b)切断
Fig. 4 (a) Moving and (b) Cutting.

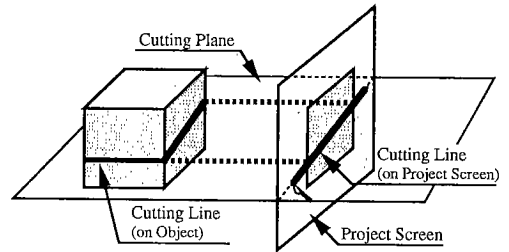


図5 投影面に垂直な平面による切断
Fig. 5 Cutting by plane that is perpendicular to project-plane.

後者の切断平面の指定方法には次の三つの方法が用意されている。

第1の方法は、空間の3点を指定することによって、それらを通る平面を切断面とする方法である。この方法では、どの部分が実際に切断されるかがわかりにくいという問題点がある。

第2の方法は、投影面上で切断面を指定する方法である。この方法では、投影面上のマウス操作によって指定された直線を通り、投影面に垂直な無限平面で3次元画像を切断する(図5)。これにより、投影面上のマウスカーソルをあたかもメスのように扱うことができ、より現実の切断に近い感覚で作業を行うことができる。

第3の方法は、投影面上での切断面の指定と中心点を利用する方法である。この方法では、マウスを用いて投影面上に指定した直線を物体表面に投影し、この物体表面上の直線と中心点で決まる三角形平面で切断する。更に投影面上で曲線を指定し、この曲線を折れ線近似して、各構成線分で切断平面を決定していくこ

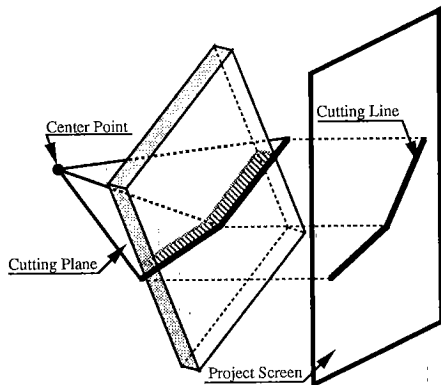


図6 近似曲面による切断
Fig. 6 Cutting by approximate curve.

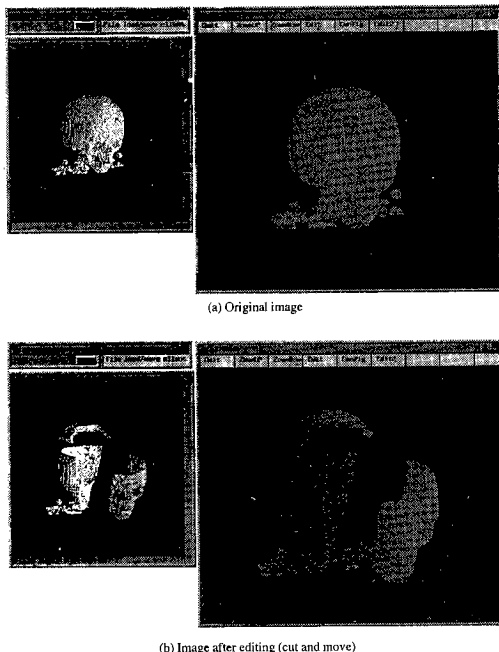


図7 編集例
Fig. 7 Examples of editing image.

とで、曲面での切断が近似的に可能になる(図6)。但しこの方法では、中心点の位置によっては切断が行われないことや、不自然な切断を行うことがある。

図7に実際の編集例を示す。仮想空間を表す3次元配列の大きさは128×128×128で、その中に頭部CT画像から構成した頭蓋骨が配置されている(図7(a))。この画像に対し、頭頂部の骨の移動を行い、顔面部分の骨を切断した後、移動したものが図7(b)である。

3.4 複数操作者による仮想空間操作

複数の操作者による、同一画像の並行操作が可能になれば、本システムを教育などに応用することが可能となる。例えば、医学部における外科手術の教育などで教師となる医師と同時に患者の画像データを操作することで、実際の手術を行う前のある程度の技術の修得が可能になると考えられる。更に、実際の外科手術では、執刀医を含む複数の医師が並行操作を行うこともある。

VISUALでは、同一クライアントを複数起動することが可能である。このため、3次元画像編集クライアントを複数起動して複数操作者による同一仮想空間の並行操作を実現することができる⁽⁹⁾。

このとき、同一時点で同一対象に複数の矛盾した操作が加わることを避けるために、あるクライアントが画像に対して操作を行っているときに他のクライアントがこれを操作することのできないように、VISUALサーバは画像をロックする機能をアクセス権機構の一部として用意している。画像をロックすることで、複数操作者による並行操作を安定して行えるが、画像の利用効率性は低くなる。一方ロックをしなければ、画像アクセスが容易になるため画像操作の応答性能が向上する。しかし、画像の同一画素を並行して操作した場合、矛盾した操作結果の書き込みがおきて画像が予期しない状態に変更されることがある。より具体的には、操作Aの結果が操作者Aに通知される前に操作者Bが操作Bを行ったときなどである。システムの用途によってどちらが良いかは一概に決定できないことから、VISUALではユーザの要求に応じて両者を選択可能にしている。なお、今回実現した仮想空間操作システムでは、画像のロックを行わないシステムにしている。

4. VISUAL の評価

VISUALを用いて上記の仮想空間操作システムを作成する作業を通して、実際のシステムを開発する上でのVISUALの有効性について検証した。

仮想空間操作システムの開発では、3次元画像編集クライアントを作成するだけで全体のシステム開発を行うことができた。これは、システム全体を開発する場合と比べてはるかに少ないコストでシステム開発ができることを示している。また、クライアントという形で機能が分割されているため各クライアントの独立性が高まり、開発、デバッグ、改良などが容易であった。しかし、現段階ではVISUALサーバの機能が不足

表1 仮想空間操作システム開発におけるファイルの大きさ

	既存部分	新規開発部分	新規開発割合
	A	B	B/(A+B)
ソースファイル	188kB	70kB	27.1%
オブジェクトファイル	188kB	66kB	26.0%
実行ファイル	475kB	106kB	18.2%

していることや Vlib に収められている機能が十分ではなかったため、新たにライブラリーに関数を追加したり、VISUAL サーバの機能拡張を行うなどの処置が必要であった。これらは今後、機能の充実および検討が必要と考えられる。また、今回の開発では一つのクライアントの作成のみでシステムを構築することが可能であったが、より複雑なシステムを構築する場合、複数のクライアントを開発する必要があると考えられる。

表1に、従来からある部分と、今回開発した部分のソースリストおよび実行ファイルの大きさの比較を示す。プログラムサイズの比較は、開発効率の評価の絶対的な基準とは必ずしもなり得ないが、重要な客観的基準の一つと考えられる。また、実際に作成した部分の大きさはソースリストでも比較できるが、コメントの量などの影響を除くことや、オブジェクトレベルでの部品化の効率を調べるために実行ファイル等の大きさも比較した。これらの比較結果から、システム全体のほぼ1/4を新たに作成するだけで全システムが構築できたことがわかる。なお、開発には SPARC station 1+ を使用し、言語には C 言語を用いた。また、今回作成した3次元画像編集クライアントを新たな基本クライアントに加えることで、3次元画像を操作する部分のプロトタイプとすることが可能なことから、今後のシステム開発がいつそう容易になると期待される。

同一クライアントの複数起動によって複数の操作者による同一対象空間の並行操作が行えることを仮想空間操作システムにおいて実現することで、実際に確認することができた。同一対象への並行操作による副作用を避けたい場合のために VISUAL サーバが画像をロックする機能を設けたが(3.4参照)、この機能は VISUAL サーバのみの対応では実現できず、クライアントの方も画像のロックを考慮して作成しなくてはならない。Vlib で用意される関数はこの点を考慮して作成されているため問題は起きないが、Vlib を用いずにクライアントを開発した場合に画像のロックを無視して画像への書き込みを行うことが考えられる。

5. む す び

本論文では、3次元画像処理システム開発支援環境 VISUAL の改良および実際の応用例として仮想空間操作システムを開発し、VISUAL の有効性を検証した結果について述べた。

この仮想空間操作システムでは仮想空間を対話的に操作するための位置制御の機構として3次元カーソルを導入し、これを通常のマウスとキーボードで操作するための手法を開発した。また、投影面上での指定による切断を開発した。この方法により、切断の操作がより現実に近い感覚で行えるようになり、仮想空間操作の対話性が向上した。更に、複数操作者による同一仮想空間の並行操作について考察し、VISUAL の機能を用いて実現をみた。

更に、本システムの開発を通して、VISUAL を用いることでシステムの開発効率を向上することを確認し、定性的な評価を行うことができた。また、実際にシステムを開発することで、新たに判明した VISUAL の問題点や、不十分な点を改良、補充した。

今後の課題として次のようなものが挙げられる。

(1) 同一仮想空間の並行操作で同一対象に矛盾した操作が加えられた場合、現在は操作が行われた順序で画像の内容の変更が行われる。これに対し、クライアントに優先順位を設けることで操作の優先順位を定めるようにすることが考えられる。

(2) VISUAL でシステムを構築した場合、複数のクライアントを同時に起動して作業を行うが、現段階では、クライアントの起動、終了を制御する方法が与えられていない。このため、各クライアントの起動、終了をユーザが手作業で行わなければならない。今後は、クライアントの起動、終了の制御機構を用意することが望まれる。

(3) 現在、クライアントと VISUAL サーバの間の通信手段は提供されているが、クライアント間の通信手段は提供されていない。クライアント間で通信を行うことで、あるクライアントが他のクライアントの制御を行うことが可能となる。これにより、クライアントの階層構造を構築することができるため、クライアントの再利用がより行いやすくなると期待される。従って、今後クライアント間通信機能を提供することが望まれる。

(4) 仮想空間操作に関して、現在の段階で問題となっているのは物体の回転操作^{(10),(11)}に関する部分であ

る。回転は、対象の図形を回転し、再サンプリングを行うことで可能であるが、この方法は一般には非可逆的である。可逆的な回転を実現する方法については現在検討中である。

謝辞 日ごろ熱心に御指導、御討論頂く研究室の皆様に感謝します。

文 献

- (1) 佐藤宏明, 岡崎 洋, 河合智明, 山本裕之, 田村秀行: “画像処理ワークステーション VIEW-Station のソフトウェアアーキテクチャ”, 情処論, 31, 7, pp. 1015-1026 (1990).
- (2) 松尾啓志, 和田錦一, 岩田 彰, 鈴木直夫: “分散型画像処理環境 VIOS”, 信学論(D-II), J75-D-II, 8, pp. 1328-1337 (1992-08).
- (3) 岡田 稔, 北川英志, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: “3次元画像処理のための分散処理環境に関する検討”, 信学技報, PRU91-23 (1991).
- (4) 北川英志, 岡田 稔, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: “3次元画像処理の分散環境における実現について”, 東海支部連大, p. 689 (1991-11).
- (5) 岡田 稔, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: “拡張サーバ・クライアントモデルに基づく3次元デジタル画像処理の分散処理環境に関する一考察”, 信学論(D-II), J75-D-II, 2, pp. 288-296 (1992-02).
- (6) Galyean T. A. and Hughes J. F.: “Sculpting: An Interactive Volumetric Modeling Technique”, Computer Graphics, 25, 4, pp. 267-274 (July 1991).
- (7) 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: “3次元任意形状の骨切断・移動操作が可能な頭蓋形成手術計画支援システム NUCSS-V2”, 情処論, 31, 6, pp. 870-878 (1990).
- (8) 周 欣欣, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎, 泉田良一: “股関節整形手術における人工関節置換支援システム”, 信学論(D-II), J76-D-II, 2, pp. 374-381 (1993-02).
- (9) 池井 寧, 都築功兒, 大川善邦: “共有エディタの編集制御系設計”, 情処論, 32, 11, pp. 1467-1487 (1991-11).
- (10) Höhne K. H., Bomans M., Pommert A., Riemer M., Schiers C., Tiede U. and Wiebecke G.: “3D Visualization of tomographic volume data using the generalized voxel model”, Visual Computer, 6, 1, pp. 28-36 (1990).
- (11) 伴 秀行, 橋詰明英, 鈴木隆一: “オブジェクト直接指示による医用3次元画像の回転操作方法”, 信学'93春大, D-643.
- (12) 泉田良一, 石名田洋一, 川久保誠, 牧田聡夫, 逸見 治, 飯田 勝, 藤岡睦久, 守屋禎之, 森田泰幸: “紫外線硬化樹脂モデルを用いて術前プランニングを行った寛骨臼回転骨切り手術 (RAO) の1例”, 関節外科, 12, 3, pp. 223-230 (1993).

(平成5年12月13日受付, 6年4月1日再受付)



北川 英志

平3名大・工・情報卒。平5同大大学院博士前期課程了。現在同大大学院博士後期課程在学中。分散環境における3次元画像処理システムおよびコンピュータグラフィックスに関する研究に従事。



岡田 稔

昭59名工大・工・電気卒。平1名大大学院博士課程(情報工学)了。工博。昭63・平1年度日本学術振興会特別研究員。平2名大・情報処理教育センター・助手を経て、平5同・助教授。この間、デジタル画像処理、計算幾何学、コンピュータグラフィックスとその医学応用に関する研究に従事。平4年度情報処理学会研究賞、平6年度市村学術賞。情報処理学会、日本ME学会各会員。



横井 茂樹

昭46名大・工・電気卒。昭52同大大学院博士課程了。工博。名大助手、三重大助教授、名大工学部情報工学科助教授を経て、平5同大情報文化学部教授。画像処理、コンピュータグラフィックスの基本手法とその医学応用に関する研究に従事。情報処理学会、コンピュータ・グラフィックス学会、日本ME学会、日本形成外科学会、日本シミュレーション外科学会各会員。



鳥脇純一郎

昭37名大・工・電子卒。同42同大大学院博士課程了。同年4月名大工学部助手。以後、昭45助教授、昭49名大大型計算機センター助教授、昭55豊橋技術科学大情報工学系教授、昭58名大工学部電子工学科教授を経て、昭60年4月より同情報工学科教授。工博。パターン認識、画像処理、グラフィックスおよびそれらの医学情報処理への応用に関する研究に従事。著書「画像理解のためのデジタル画像処理I, II」(昭晃堂)、情報処理学会、ME学会、医療情報学会、人工知能学会、IEEE各会員。