4. CG によるヒューマンインタフェース

正会員 中 嶋 正 之[†]

1. ま え が き

そもそも人間には視覚、聴覚、触覚、味覚、臭覚の五感が備わっているが、その中でも単位時間当たり最も多くの情報を認知することが可能なのが視覚であり、音声は 300 word/min すなわち 200 b/s 程度なのに対して視覚は、2 M 画素/フレーム、3 ビット/画素で 7 フレーム/s とすると、42 Mb/s の帯域をもっている。そのため多くの場合、画像を見るという動作を通して人間の行動の意志決定を行っているともいえる。現代社会はまさにコンピュータ全盛時代といえるが、そこでも人間とのインタフェースには画像が重要な役割を担っており、特にコンピュータを用いて文字、図、画像を生成・処理・表示するコンピュータグラフィックス(以下 CG と略す)は、必要不可欠な手段となってきた。そのため、CG を積極的に活用したインタフェースの設計、応用、研究、検討等が注目されるようになってきた。

そこで本節では、現在話題となっている主なトピックスとして、GUI (グラフィカルユーザインタフェース) とビジュアルイゼーションおよび今後の将来動向について述べる。

2. 2 次元 CG によるインタフェース

コンピュータシステム設計者にとって、いかに質の高い応用プログラムやオペレーティングのユーザインタフェースを実現するかが重要な課題となっている。そのため初心者にとっては、より理解しやすかつ学習しやすいインタフェースが求められ、一般ユーザには、使いやすく、効率の高いもの、さらにプロ用には、より誤りの発生が低く生産性が高くなるものが要

求されている。ユーザインタフェースの質に関する正確な評価法は確立されていないが、対話に要する時間がより少なく効率の良いことが重要視されている。

そこで、例えばメニューの選択時においては、より探索時間の短縮が実現する、人間にとってわかり易いアイコン(絵文字)が使用されている。文献1)によると、アルファベットメニューでは 0.81 秒、機能コマンド列では 1.28 秒の探索時間であるが、アイコンによりさらに短時間かつ多くのメニューに対しても正確に選択することができるようになる。このように絵文字、図、画像等のグラフィックスを利用したユーザインタフェースのことを、グラフィカルユーザインタフェース(GUI)という。

従来、GUI は応用プログラムごとに仕様が異なっていたが、現在では操作性の向上や応用ソフトの統合利用を目標に、GUI を標準化する活動が始まっている。米国では GUI の標準案として OSF/Motif と OpenLook が提案されており、どちらも X ウィンドウ上で動き、OS やハードウェアに依存していない²⁾。GUI はこれからのパソコンや EWS における重要な要素になっている。

3. 3 次元 CG によるインタフェース

3.1 ビジュアルイゼーション

CG は、科学、工学、芸術、医学等多くの分野において活用されているが、その目的は、コンピュータによる各種のデータの可視化すなわちビジュアルイゼーションにある。例えば、科学の分野(気象⁴⁾、流体動特性⁵⁾等の物理現象)における大規模なデータをスーパーコンピュータまたは高速な EWS によりシミュレーション解析した数値実験結果を、わかりやすくグラフィックス表示することを、サイエンティフィックビジュアルイゼーション³⁾といい、また建築物、工業製品、電気部品などの 3 次元形状を CG 表示することをエンジニアリングビジュアルイゼーションという。

[†] 東京工業大学 像情報工学研究施設

"Human Interface Using CG" by Masayuki Nakajima (Imaging Science and Engineering Lab., Tokyo Institute of Technology, Yokohama)

図 1 システム応答時間とソフト生産の関係

このビジュアライゼーションは、人間にとって理解し易くかつ高品質なインタフェースを実現するため高性能なワークステーションにおける重要な要素となっている。特にビジュアライゼーション機能の充実したワークステーションを、グラフィックスワークステーションという。

このビジュアライゼーションシステムにおいて、とくに効果的なシミュレーションを実現させるために重要視される要素が、対話性とフォトリアリズムである。

図 1 は IBM が行ったシステムの応答時間とユーザー生産性の関係について示したものであるが¹⁶⁾、この図から明かなように、専門家に対しては処理量と応答時間が指数関数の関係にあり、少なくとも 1 秒以内の応答時間となる対話性が要求されている。この高速な対話性は、コンピュータの高速性とともな高速な画像生成機能をもつ専用グラフィックスハードウェアにより実現される。将来は実時間ビジュアライゼーションによる解析や設計が行える環境が整備されるものと予想される。

対話性の向上は、生産性の向上を目的にしたものであるが、フォトリアリズムの向上は対話環境の向上を目的としている。すなわち、フォトリアリズムの向上により対象とする現象の現実性、さらに見る人の理解を高めることができる。特に CG のレンダリング技法を利用してフォトリアルな画像を生成することを、フォトリアリスティックビジュアライゼーションという。このフォトリアリスティックビジュアライゼーションは、サイエンスビジュアライゼーションの分野のみならず、次世代通信、AR (Artificial reality: 人工現実感)、コマーシャル作り、映像制作等の分野においても重要な手法となっている。

このフォトリアリスティックビジュアライゼーションの研究が急速に活発になってきたのは、新しい物体表

現法、すなわち以下に述べる新しいレンダリングの研究の進展等を背景としている。

3.2 新しいレンダリング法

3 次元のビジュアライゼーションにおいては、対象の 3 次元形状モデリングとそのレンダリングの方法、すなわち、対象立体の現実感のあるカラー画像の生成処理方法が重要となる。モデリングに関しては近年余り大きな進展はみられていないが、レンダリングに関しては注目すべき手法が提案されている。

従来、グラフィックスワークステーションに備えられている 3 次元のレンダリングの方法としては、フォーンのモデル (Phong lighting model) が一般的である。このモデルは、光源と物体の表面の状況に着目するもので、高速かつ比較的现实感のある画像が生成可能なため EWS に標準的に使われている。しかし、最近さらに現実感のある画像を生成する新しいレンダリング方法が提案されている。

CG のレンダリング技術は、1980 年の Whitted による光線追跡法⁶⁾と 1978 年の J. Blinn によるテクスチャマッピングにより飛躍的に向上した。その後、目立って効果的なレンダリング法が提案されていなかったが、1988 年の SIGGRAPH においてボリウムレンダリングとラディオシティ法が注目された。

[ボリウムレンダリング]

ボリウムレンダリングは、3 次元空間内に分布している各種のデータのレンダリングを、従来のフォーンのモデル等のシェーディングモデルを使わずに、直接ディスプレイ表示するもので、主に CT により得られた医用データの画像表示処理法として提案された。さらに現在ではその定義が拡張され、広く一般に 3 次元ボクセルデータや多層データで与えられた立体データのレンダリング法の総称として使用されている。

ボリウムレンダリングの考え方そのものは古くからあったが、それが注目され始めたきっかけは、Drebin らが 1988 年に SIGGRAPH において行った発表である⁷⁾。この論文は、断層画像からアーチファクトの少ない立体画像の生成とその効果的な実装方法について述べたもので、従来から多くの類似した論文が発表されているが、ソリッドモデルや表面モデルではないボクセルデータからのレンダリングアルゴリズムとして、ボリウムレンダリングという用語を全面的に押しだして発表したことにより注目されることになった。ボリウムレンダリングの具体的な方法としては、今まで各種のアルゴリズムが提案されている。

最も簡単な方法は、2 次元の多層画像から輪郭線を抽出し各層間の 3 次元パッチを生成し最終的にレンダ

図 2 マーチンキューブズ法

リングを行うものである。しかし、最近ではボクセルデータからの直接画像を生成する 3D コンバージョンとして以下の方法が提案されている。

図 2 に示すように、隣接する 8 個の格子点によって 14 通りの表示面の中での面を判定してレンダリングを行うマーチンキューブズ法⁸⁾、スクリーン上でサンプリングされた視線ベクトルに沿って奥行き方向へのボリュームのサンプリングを行うボリュームトレーシング法⁹⁾、ボクセルボリュームを直接レンダリングする 3D スキャンコンバージョン法¹⁰⁾、レイによりボリューム内を不透明度が 1 になるまでトレースし、その時までの累積カラーを利用するレイキャスティング法¹¹⁾、視点に近いセルごとにレンダリング処理を行うセルバイセル法¹¹⁾などが提案されている。

従来のレンダリング法の多くは 3 次元物体の表面を対象としていたが、ボリュームレンダリングは、むしろ物体内部のレンダリングを目的としている。今後と

も医用画像処理の分野を中心にアルゴリズムの検討がなされていくものと考えられる。

【ラディオシティ法】

一方、ラディオシティ法は、環境内に含まれる各種の光源とすべての反射光からの直接の照明量を算出する方法で、極めてリアルな画像のレンダリングが可能となっている。従来最もリアルなレンダリングが可能とされている光線追跡法は、視点の変化に対して再計算を必要としていたが、ラディオシティ法は観測者の視点には独立となっており、視点移動のアニメーションが容易に作成できることから注目されている。ラディオシティ法の基本的なアルゴリズムは、2つの領域間の反射交換のためのフォームファクタから与えられるラディオシティ方程式を解くものである¹²⁾。

しかし、本方式でリアルな画像を生成するためには大規模な方程式を解かなければならない。そこで、その高速解法としてラディオシティ方程式を同時に解くのではなく、1度に 1 行の方程式を解く方法¹³⁾、分割パッチをエレメントに分解しエレメント対パッチのラディオシティ方程式を解く方法¹⁴⁾、2 段階方式¹⁵⁾等が提案されている。

3.3 3 次元画像通信

GEW の高速化、実時間 3 次元画像生成処理、レンダリングアルゴリズムの開発により様々な応用システムが考えられる。例えば、図 3 は実時間ビジュアルゼーションシステムを利用した 3 次元画像通信システムの構成を示したものである。我々は、3 次元の世界の中で生活しており、もしも 3 次元のままでの通信が可能であれば、より高いヒューマンコミュニケーションが成立することになる。現在、テレビ会議のデータ圧縮を主な目的として顔画像処理・生成の検討が盛んに行われている。しかし 3 次元画像通信を目的にした場合、世の中に存在する多くの物体を対象としたフォトリアリスティックな映像システムの構築が要求されている。図 3 のシステムにおいては、送信系では入力された映像を解析し、さらにモデリングを行う。また動作モデリングとしてはアニメーション生成のためのパ

図 3 3 次元 CG 画像通信システムの構成

ラメータ抽出を行うことになる。一方、受信系では送られてきたパラメータに従って3次元画像生成部において映像を再生することになる。

現在ではまだこのようなシステムは実現不可能であるが、将来CGのハードおよびソフトが飛躍的に向上すれば夢ではなくなるものと考えられる。

3.4 標準化について

以上、CGを用いたヒューマンインタフェースに関する主な話題について述べた。その他、CGによるヒューマンインタフェースを広く定着させるための課題としては、標準化が最も重要となる。標準化を実現することにより誰でも簡単にかつ手軽に使えるようになるものと期待されている。現在、ISO/IEC JTC1/SC24においては、GKS、GKS-3Dの他、以下の標準化が検討されている。

応用プログラムに対するインタフェース標準であるPHIGS (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System), PHIGS+, PHIGS++。図形・画像情報を、逐次ファイルの形式で表現し、蓄積や移送を可能にするCGM (Computer Graphics Metafile)。グラフィックスパッケージや応用プログラムとグラフィックスデバイスとの間でデータを送受信するための機能と図形データの表現方法を規定するCGI (Computer Graphics Interface)。

また、業界においては、レンダーマンやDore等のレンダリング用の標準化が検討されており、ヒューマンインタフェースを含めたグラフィックスワークステーションの標準化が実現するものと予想される。

4. 今後の動向

今後のCGによるヒューマンインタフェースの動向としては、高速な実時間レンダリングシステムが実現した場合、対象物体を動かすアニメーション技術がより重要視されるものと考えられる。またハイビジョンの普及や眼鏡なしの動画像表示用立体ディスプレイの開発により、さらに臨場間あふれるインタフェースが実現し、ますます広い分野においてCGによるヒュー

マンインタフェースが活用されるものと期待している。
(1990年4月13日受付)

〔参考文献〕

- 1) Bob Edge: "The Impact of System Performance on a User Interface", NCGA '89 Conference Proceedings, Vol. 1, pp. 355-367 (1989)
- 2) 日経CG 1989年10月号, pp. 43-57
- 3) C. Upson, et al.: "The Application Visualization System, IEEE CG and A., 9, 4, pp. 30-42 (1989)
- 4) C. Warren: "Pratt: Workstation Graphics for the Atmospheric Science", NCGA '89, 2, pp. 352-358 (1989)
- 5) G. Bancroft, F. Merritt: "3D Graphics Applications in Flow Simulation", Proc. of the 2nd IEEE Conference on Computer Workstation, pp. 142-147 (Mar. 1988)
- 6) T. Whitted: "An Improved Illumination Model for Shaded Display", C. ACM, 23, 6, pp. 343-349
- 7) R. Drebin, et al.: "Volume Rendering", SIGGRAPH, 22, 4, pp. 65-74 (1988)
- 8) W. Lorensen, et al.: "Marching Cubes", SIGGRAPH, 21, 4, pp. 163-169 (1987)
- 9) 稲隆: "ボリュームレンダリングの基礎", 日経CG (Apr. 1989)
- 10) A. Kaufman: "Efficient Algorithms for 3D Scan-Conversion of Parametric Curves Surfaces and Volumes", SIGGRAPH, 21, 4, pp. 171-179 (1987)
- 11) C. Upson: "V-buffer", SIGGRAPH, 23, 4, pp. 59-74 (1988)
- 12) M. Cindy, et al.: "Modeling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces", SIGGRAPH, 18, 3, pp. 213-222 (1984)
- 13) M. Cohen: "A Progressive Refinement Approach to Fast Radiosity Image Generation", SIGGRAPH, 22, 4, pp. 75-84 (1988)
- 14) M. Cohen: "An Efficient Radiosity Approach for Realistic Image Synthesis", IEEE CG&A, 6, 3, pp. 26-35 (1986)
- 15) M. Shao, et al.: "A New Approach Procedural Refinements for Realistic Image Synthesis", SIGGRAPH, 22, 4, pp. 99-101 (1988)
- 16) W. J. Doherty, A. J. Thadhani: "The Economic Value of Rapid Response Time", IBM Technical Report, GE20-0752-0 (Nov. 1982)

なかじま まさゆき
中嶋 正之 昭和44年、東京工業大学工学部電気工学科卒業。50年、同大学大学院博士課程修了。同年、同大学勤務。58年、同大学像情報工学研究施設助教授コンピュータグラフィックス、画像処理の研究に従事。工学博士。正会員。