

フォトリアルでない CG 画像表現の手法について

大野義夫

慶応義塾大学理工学部

コンピュータグラフィクス(CG)における、フォトリアルでない表現方法による画像生成の研究を、次の9つのカテゴリに分けて概観する。

(1) テクニカルイラスト的な表現, (2) 図面的な表現, (3) スケッチ的な表現, (4) 絵画的な表現, (5) 水墨画表現, (6) 凹版画表現, (7) 漫画的な表現, (8) アニメ的な表現, (9) 制限された3次元表現.

また、この分野の今後の課題についても言及する。

Non-Photorealistic Rendering Techniques in Computer Graphics

Yoshio Ohno

Faculty of Science and Technology, Keio University
ohno@on.cs.keio.ac.jp

In this paper, we survey the non-photorealistic techniques for image generation in computer graphics. Such techniques are classified into the following nine categories based on their outputs:

(1) technical illustrations, (2) engineering drawings, (3) sketches, (4) paintings, (5) paintings with brush, (6) intaglio printings, (7) comic pictures, (8) character animations, and (9) limited three-dimensional modelings.

We also discuss the problems that should be solved.

1 はじめに

コンピュータグラフィクス (CG) の大きな目標の一つは、写真と見間違えるようなリアルな画像を作ることにある。「ジュラシックパーク」に代表される映画など、膨大なコストを投下できるような分野では、対象物に制限はあるものの、この目標がある程度達成されつつあるといってもよいであろう。

しかし CG に限らず、画像を作ることに目的が、何らかの情報や感情を伝えることにある以上 [28]、そうした目的にとって、どのような表現方法が最適なのか、フォトリアルな表現以外にもっと適切な方法はないのか、あらためて考え直すのに今がちょうどよい時期であると思われる。

本稿は、こうしたフォトリアルでない表現を用いた画像を CG によって作成する研究についてのサーベイである。

2 ささまざまな表現法

われわれはしばしば、写真よりもイラストの方が、対象物の形状を理解しやすいということを経験する。また、表示手段による制限、たとえば、カラーが使えない、わずかな種類の色しか使えない、線のみで表現しなければならない、といった中で、さまざまな表現方法を工夫してきた。

本稿であげた参考文献を、表現方法によって次のように分類することができる。

- テクニカルイラスト的な表現：[1], [4], [12], [13], [14], [16], [17], [20], [26]
- 図面的な表現：[6], [23], [33]
- スケッチ的な表現：[27], [32]
- 絵画的な表現：[9]
- 水墨画表現：[2], [3], [7], [8], [21], [24], [30]
- 凹版画表現：[22], [29]

- 漫画的な表現：[10], [11]
- アニメ的な表現：[15]
- 制限された 3 次元表現：[19], [34]

以下、それぞれの表現法について紹介しよう。

2.1 テクニカルイラスト的な表現

産業的な必要性もあるため、もっとも活発に研究が行われている分野である。対象物の 3 次元形状データを利用する方法 [4], [20], [26] と利用しない方法 [1], [12], [13], [14], [16], [17] とに、大きく分類できる。CAD によって設計された物体のイラストを作成することであれば、イラスト作成のためにわざわざ形状の入力を行わなくてもすむため、3 次元形状モデルを利用することは理にかなっている。ただし、その場合でも対象物が大きいと、全体をカバーした形状モデルが入手できるか、また、CAD によって設計されたのではないものも一緒に表示したいとき (たとえば、建築物の周囲の樹木や人物) どうするかという問題は残る。

3 次元形状モデルを利用した論文の中で、[26] では、フォトリアルでない表示手法を *comprehensible rendering* (わかりやすい描画) と呼び、その可能性と重要性を示した。ここでは、ピクセルごとに、その範囲に見える物体の情報 (距離や法線方向) を G バッファという領域に格納し、この情報にもとづいて、エッジの強調、等高線表示などを行なうアルゴリズムを与えた。[4] では、3 次元形状モデルから得られた線画の各線に対して、太さ、透明度、線種 (実線、破線など) を設定できるようなツールを作成した。[20] では、やはり稜線を対象とし、その種類 (輪郭線か内形線か)、光源の位置を考慮して、線の太さや色、ハイライトの位置を自動的に決定した。

3 次元モデルを用いないアプローチの中で、

[1] は透視図を簡単に描けるように、消失点の設定などの機能を組み込んだイラスト作成支援システムで、太さを持つ線の描画、テクスチャによる領域のぬりつぶしも行うことができる。

また、埼玉大学のグループによる一連の研究 ([12], [13], [14], [16], [17]) では、テクニカルイラストレーションで陰影づけのために使われるパターン (点によるものと線によるもの) を自動的に生成するアルゴリズムを与えた。

2.2 図面的な表現

[33] は乱数を用いた石垣や木目などのパターン生成アルゴリズムである。現在の目から見ると、石造りの建造物の図面に使えるような表現であるが、発表された時代 (1979 年) を考えると、当時としてはもっともリアルな表示技術をねらったものであったかもしれない。

[23] はフリーハンドで描いたスケッチからきちんとした図面を生成するため、点の位置関係に制約条件を付け、それを解くことによつて点の位置を補正するアプローチを示した。

[6] は Bézier 曲線を描き、不要な部分を削除し、構成された閉領域を一定の色でぬりつぶす、という操作によつて描くことのできる図面作成ツールである。ただしこの論文は、そのツールの紹介というよりも、交点計算の正確性をいかに維持するのかといった、基礎的なアルゴリズムに重点をおいた記述となっている。

2.3 スケッチ的な表現

[32] と [27] は共通の著者を含み、SIG-GRAPH でも連続して発表された論文であるが、前者は 3 次元モデルにもとづく、スケッチの自動生成を意図したものであり、後者は純粋に 2 次元的な、対話にもとづくスケッチ

の作成という、対照的なアプローチをとっている。

[32] で興味深いのは、領域をぬりつぶすためのテクスチャを構成する各ストロークに優先度を与えておき、必要な明度に応じて、表示するストロークの数を自動的に制御する手法である。またそのテクスチャも指定した領域全体を充填するのではなく、detail segment に近い部分だけ描くようにして、省略による効果を得ている。得られたスケッチは、ほとんど自動的に生成されたものとは思えないできばえである。ただし論文には例がないが、建物の背景に別のものがあつた場合、detail segment のどちら側のテクスチャを描くか、どのようにして判断するのだろうか。ここで使用したストロークの構成法を示したのが [5] である。

[32] に比べると、[27] の手法は割に平凡である。ただし、普通は線を 1 本ずつ描くのではなく、1 つの領域をテクスチャによつてペイントするという操作法を採用した。テクスチャの明度変更には、やはりストロークの優先度を利用している。

2.4 絵画的な表現

フォトタッチソフトなどで、写真を絵画風に変換できるものもあり、よく知られた表現であるが、論文の数は多くない。

[9] では次のアプローチを採用した。最初に原画を画面に表示する。次に、その中の点をマウスで順次ピックアップする。ピックアップされた点で原画の色をサンプリングし、あらかじめ指定したパラメータによつて生成したストロークにその色をぬる。この論文には、ストロークの生成方法により、さまざまな効果が得られることも述べられている。

2.5 水墨画表現

とくに日本,あるいはその周辺諸国からの発表が目だつ分野である。

水墨画など,筆のストロークを活かした表現では,筆の軌跡の入力方法と,筆らしいストロークの表示方法との2つの技術が必要である。

前者の解決法として,[7]では実際に筆をガラスの上で動かし,筆とガラスの接触形状を時々刻々ビデオカメラによって読み取るような,特殊な入力装置を提案した。また,この装置を利用して,筆のタッチを活かした画像も示している。

その他の入力装置としては,感圧タブレット [3] など,比較的筆に近い感触を持つペン入力装置が使われる。

ストロークの骨格や輪郭の表現には,Bézier 曲線 [3],[21],B スプライン曲線 [24] や内挿スプライン曲線 [30] が使われた。

筆らしい,にじみやがすれのあるストロークの表示には,ストロークの幅方向に濃淡のパターンや墨の含有量などのパラメータを与えたり [3],[8],[24],[30],濃淡の変化をフーリエ級数で与えた例 [21] がある。さらに,筆の軌跡が折れ曲がることでのストローク形状の変化を得るため,筆の物理的な構造にもとづいたモデルを用いたケースもあるが,これは主として筆文字の作成を目的としているため,ここでは割愛する。

2.6 凹版画表現

手彫り凹版の原版作成は,金属版に対して,印刷したときの実物大に,しかも裏返しに彫らなければならないため,きわめて困難で,熟練を要する作業である。凹版画では,画像の濃淡を線の太さ,彫り深さ,間隔,(破線の場合)切れ目の長さによって表現する。[22],[29] は,スキャナで読み込んだ原画像を下敷

として表示し,そこから濃淡情報を抽出して,凹版画の表現に合った線のグループを対話的に作成するシステムを提案した。

2.7 漫画的な表現

論文に掲載されている例題から [10] と [11] をこのカテゴリにまとめたが,両者の手法はまったく異なる。

[10] は入力画像の領域分割を色情報にもとづいて行なうアルゴリズムを与えた。画像処理の分野では,色やテクスチャによる領域分割がしばしば取り上げられるが,ここではそれを略画生成の手段として利用した。

[11] はさまざまな線画を作成するためのツールの紹介であるが,線画を構成する要素として skeletal stroke という表現力豊かな図形を採用したところが興味深い。Skeletal Stroke はパラメータ座標を設定した領域に描いたテクスチャで,それをを用いる場面に応じて,さまざまな変形や伸縮を行なう。また,その一部の伸縮や変形の度合を制限する機能もある。ユーザインタフェースについてはほとんどふれていないが,掲載されている例は,プロがペンで描いたものと区別がつかないようにできばえである。

2.8 アニメ的な表現

[15] は立体物の表示画像から,いわゆるアニメ的な表現を得ようとする研究である。かつてコンピュータの計算能力が低かった時代には,3次元的な画像を得るための計算量を節約するため,いかに2次元の計算で代用するかが重要なノウハウであったことを考えると,隔世の感を抱かせるテーマであろう。

この研究では,3次元モデルを作成し,その動きによって作成した一連の3次元画像を2次元的な表現に変換することにより,動きや形状の変化に矛盾のないアニメが容易に得

られるとしている。3次元画像を2次元的な画像に変換するための技法として、シルエット線の発生、面カラーの決定、影の発生、動きの省略、動きの誇張などのアルゴリズムを提案した。

2.9 制限された3次元表現

版画あるいはレリーフは、3次元的な表現であるので、本稿のカバーすべき内容であるかどうかは微妙なところである。しかし、3次元とはいっても、その形状はきわめて限定されており、2次元画像の拡張といった意味あいも強いので、あえてここでふれておくことにする。

版画やレリーフを作成するシステムやアルゴリズムの提案としては、[19]と[34]がある。いずれも実際に彫刻を出力する段階には至っておらず、現状ではコンピュータ内部にその3次元モデルを作成するにとどまっている。

[19]では、彫刻刀による切削の過程をCSG表現のS式として保存した。彫刻ははじめの材料を順次彫刻刀で削りとっていくため、その作業を材料と彫刻刀の移動空間との差集合をとる演算として表すことができる。ただし、ひとつの彫りごとに演算が生成され、S式の括弧のネストが深くなるため、画素ごとの交点リストを保持することにより、計算量の爆発を防いでいる。

また[34]は、ペイントシステムのペンの代わりに彫刻刀を配置することにより、版画やレリーフの立体モデルを作成することの可能性を示した。ここでは、単に削り取るだけの操作ではなく、逆にもりあげるとか、溝を埋めるといった機能を持つ「彫刻刀」も用意されている。

3 関連する手法

本稿でふれなかった関連技術について述べておく。

白黒表現であっても、必ずしもイラストとしての表現をねらっていないという分野も少なくない。たとえば、誤差拡散法に代表されるdigital halftoning(たとえば[31])は画像の濃淡情報を、限られた階調でできるだけ忠実に再現することを目的としたものである。

また、隠線消去などの、立体の線面表示も、本来の目的はイラストの作成ではなかった。しかし、たとえば稜線の太さを制御するなどした場合には、これはフォトリアルでない表現の一つと見てよいであろう。隠面消去法についても同様のことがいえる。このように、フォトリアルな手法であるか、そうではないかという境界は必ずしも明瞭ではなく、目的が何であったのか、また時代的な技術や背景を考慮しないと、区別がむずかしいこともある。

もう一つ例をあげると、確率的な要素を含まない単純な自己相似図形による樹木の表示は、こうした方法が登場した当時はもっともリアルな表現であったかもしれないが、現在ではこれをフォトリアルな表現ということとはできない。

また、形状や色だけでなく、表現手段として動きの重要性も見落とすことはできない。これについては、CGによらないアニメーションで昔から採用されてきたさまざまな動きの誇張・表現手段をまとめた論文が知られている[18]。

一方、絵画的な画像をすべて対話的な入力に頼って作成するペイントシステムについては、本稿ではまったくふれなかった。

4 おわりに

本稿では、静止画像としての表現に限定し、フォトリアルでないCG画像作成の研究について概観した。形状や色だけでなく、表現手段としては動きの重要性も見落とすことはできない。しかし現状では、静止画像としての表現に限らず、動きの分野でも、従来のアニメーションで培われてきた表現手法をそのまま取り入れるのが精いっぱいであるように思われる。それでも、得られた画像の質は、人間のイラストレータが描いたものに及ばないケースが多い。

今後、画質の向上をはかるとともに、CGの特性を生かした表現、CGでなければできないような、なお一層わかりやすい表現を生みだしていく必要があるだろう。

参考文献

- [1] 旭昌広, 近藤邦雄, 島田静雄, 佐藤尚, “イラスト作画支援システムの開発,” 第7回NICOGRAPH論文コンテスト論文集, 1991年11月, pp. 22-31.
- [2] 千葉則茂, 大志田憲, 川瀬健二, 張青, 高橋淳也, “盆栽 / 陶芸 / 水墨画のCGに向けて,” 第70回グラフィクスとCAD研究会, 情報処理学会研究報告 94-CG-70, 1994年8月, pp. 9-14.
- [3] 張家鈞, 大野義夫, “スケルトン方式による墨跡の表現に関する研究,” 第61回グラフィクスとCAD研究会, 情報処理学会研究報告 93-CG-61, 1993年2月, pp. 1-8.
- [4] Debra Dooley, Michael F. Cohen, “Automatic Illustration of 3D Geometric Models: Lines,” *Computer Graphics*, Vol. 24, No. 2, 1990年3月, pp. 77-82 and p. 262.
- [5] Adam Finkelstein, David H. Salesin, “Multiresolution Curves,” *SIGGRAPH '94 Proc.*, 1994, pp. 261-268.
- [6] Michel Gangnet, Jean-Claude Hervé, Thierry Pudet, Jean-Manuel Van Thong, “Incremental Computation of Planar Maps,” *SIGGRAPH '89 Proc.*, 1989, pp. 345-354.
- [7] Richard Greene, “The Drawing Prism: A Versatile Graphic Input Device,” *SIGGRAPH '85 Proc.*, 1985, pp. 103-110.
- [8] Qinglian Guo, T. L. Kunii, “Modelling the Diffuse Paintings of ‘Sumie’,” In *Modelling in Computer Graphics*, T. L. Kunii, Ed., Springer Verlag, 1991.
- [9] Paul Haeberli, “Paint by Numbers: Abstract Image Representations,” *SIGGRAPH '90 Proc.*, 1990, pp. 207-214.
- [10] 濱田準一, 玉木明和, 加藤清史, “略画自動生成システムの試作,” 第66回グラフィクスとCAD研究会, 情報処理学会研究報告 93-CG-66, 1993年12月, pp. 49-56.
- [11] Siu Chi Hsu, Irene H. H. Lee, “Drawing and Animation Using Skeletal Strokes,” *SIGGRAPH '94 Proc.*, 1994, pp. 109-118.
- [12] 神原章, 近藤邦雄, 佐藤尚, 島田静雄, “3次元形状表現のための高品位白黒画像の描画法,” 第56回グラフィクスとCAD研究会, 情報処理学会研究報告 92-CG-56, 1992年5月, pp. 17-24.
- [13] 神原章, 近藤邦雄, 佐藤尚, 島田静雄, “高品位白黒画像によるレンダリング手法,” 第58回グラフィクスとCAD研究会, 情報処理学会研究報告 92-CG-58, 1992年8月, pp. 97-103.
- [14] 神原章, 近藤邦雄, 佐藤尚, 島田静雄, “3次元形状表現のための白黒画像の描画法,” 情報処理学会論文誌, Vol. 34, No. 8, 1993年8月, pp. 1762-1769.
- [15] 金子満, 中嶋正之, “次世代アニメーションシステムに関する研究 第一報 — 3次元CG画像の2次元化アルゴリズム,” 第69回グラフィクスとCAD研究会, 情報処理学会研究報告 94-CG-69, 1994年7月, pp. 57-64.
- [16] 近藤邦雄, 木村文彦, 田嶋太郎, “インタラクティブレンダリングシステムによる3次元形状の表現,” 情報処理, Vol. 26, No. 11, 1985年11月, pp. 1401-1408.
- [17] 近藤邦雄, 神原章, 佐藤尚, 島田静雄, 尚鳳武, “レンダリングのための対話型線画表現法,” 図学研究, No. 55, 1992年3月, pp. 11-15.
- [18] John Lasseter, “Principles of Traditional Animation Applied to 3D Computer

- Animation," *SIGGRAPH '87 Proc.*, 1987, pp. 35-44.
- [19] 水野慎士, 岡田稔, 横井茂樹, 島脇純一郎, "CSG を用いた仮想彫刻," 第 73 回グラフィクスと CAD 研究会, 情報処理学会研究報告 95-CG-73, 1995 年 2 月, pp. 49-56.
- [20] 望月義典, 近藤邦雄, 佐藤尚, 島田静雄, "形状理解を助けるためのカラー画像の強調表現手法," 第 74 回グラフィクスと CAD 研究会, 情報処理学会研究報告 95-CG-74, 1995 年 5 月, pp. 17-22.
- [21] 西田友是, 北北晋一, 中前栄八郎, "Bezier 関数を用いた墨絵の表現," グラフィクスと CAD シンポジウム '92, 情報処理学会, pp. 153-159.
- [22] 大野義夫, 坊見利, "凹版印刷のための肖像画の対話的な生成手法に関する研究," 第 58 回グラフィクスと CAD 研究会, 情報処理学会研究報告 92-CG-58, 1992 年 8 月, pp. 89-96.
- [23] Theo Pavlidis, "Au Automatic Beautifier for Drawings and Illustrations," *SIGGRAPH '85 Proc.*, 1985, pp. 225-234.
- [24] Binh Pham, "Expressive Brush Strokes," *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, Vol. 53, No. 1, January 1991, pp. 1-6.
- [25] 斎藤豪, 中嶋正之, "FFT を用いた写真からの手書き風画像の自動生成," 第 74 回グラフィクスと CAD 研究会, 情報処理学会研究報告 95-CG-74, 1995 年 5 月, pp. 11-16.
- [26] Takafumi Saito, Tokiichiro Takahashi, "Comprehensible Rendering of 3-D Shapes," *SIGGRAPH '90 Proc.*, 1990, pp. 197-206.
- [27] Michael P. Salisbury, Sean E. Anderson, Rosen Barzel, David H. Salesin, "Interactive Pen-and-Ink Illustration," *SIGGRAPH '94 Proc.*, 1994, pp. 101-108.
- [28] Dorée Duncan Seligmann, Steven Feiner, "Automated Generation of Intent-Based 3D Illustrations," *SIGGRAPH '91 Proc.*, 1991, pp. 123-132.
- [29] Tetsuya Shirouzu, Yoshio Ohno "Computer-Aided Plate Making for Intaglio Printing," *6th ICECGDG Proc.*, pp. 708-712, 1994 年 8 月.
- [30] Steve Strassmann, "Hairy Brushes," *SIGGRAPH '86 Proc.*, 1986, pp. 225-232.
- [31] Luiz Velho, Jonas de Miranda Gomes, "Digital Halftoning with Space Filling Curves," *SIGGRAPH '91 Proc.*, 1991, pp. 81-90.
- [32] Georges Winkenbach, David H. Salesin, "Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration," *SIGGRAPH '94 Proc.*, 1994, pp. 91-100.
- [33] Chris I. Yessios, "Computer Drafting of Stones, Wood, Plant and Ground Materials," *SIGGRAPH '79 Proc.*, 1979, pp. 190-198.
- [34] 吉田英正, 大野義夫, "対話的なレリーフ形状作成システムに関する研究," 第 58 回グラフィクスと CAD 研究会, 情報処理学会研究報告 92-CG-58, 1992 年 8 月, pp. 81-88.