

Comprehensible Rendering

--- これからの課題

齋藤 隆文

NTT ヒューマンインタフェース研究所

comprehensible rendering (見る人の理解を促進させる画像の生成) に関して、その背景にある課題を抽出し、議論する。comprehensible rendering の目標は、人間にわかりやすく情報を伝達することであり、その評価基準は、目的や対象に依存する。これに関連する課題として、1) 知識、認識の扱い、2) rendering navigation の方法、3) ゴール指向の捉え方、の3点について考察する。また、人間の視覚への伝達という特性から、線画の重要性についても議論する。

Comprehensible Rendering

--- Future Subjects

Takafumi Saito

NTT Human Interface Labs.

Four subjects for comprehensible rendering are extracted and discussed. The goal of comprehensible rendering is to send some information comprehensibly by computer graphics, and its evaluation depends on objects and purposes. This fact leads to the following three subjects: 1) knowledge and recognition; 2) rendering navigation; 3) goal oriented approach. Also, the importance of line drawing is discussed.

1. はじめに

ここ数年, comprehensible rendering, すなわち, 見る人の理解を促進させるような画像をCGで作成する研究が, 活発化しつつある. 著者は, 約10年前からこの分野の研究に取り組み, いくつかの描画法を発表してきた [5, 6]. 本稿では, これらの研究を別の視点から眺め, comprehensible rendering に内在する課題について考察する.

photorealistic rendering の研究がこの20年でめざましい進歩を遂げたのに対し, comprehensible rendering では, 未だに表現手法自体が十分に確立していない. photorealistic rendering の目標は, 光学現象を忠実に再現するという, 明確なものであるため, 理論的アプローチが比較的容易である. ところが, comprehensible rendering の目標は, 人間に対して情報をわかりやすく伝達することであり, その評価基準は, 描画目的, 対象, さらにには見る人の好みにさえも依存する. このため, 対象に依存しないような総括的な議論は難しく, 従来の研究例では, 個々の目的に合致する表現手法と, それを実現するための描画手法とに, 焦点がおかれてきた.

本稿の目的は, 個々の表現手法や描画手法の背景に潜む共通の課題を抽出し, 今後の研究の方向づけに役立てることである. まず, 描画システムを構築するにあたって, わかりやすさの評価基準が曖昧という問題を突き詰めることにより, ここでは以下の3つの課題に帰着させる.

- 1) 知識, 認識の扱い
- 2) rendering navigation の方法
- 3) ゴール指向の捉え方

また, 人間の視覚への情報伝達という特性から,

- 4) 線画の重要性

について, 特に考慮すべきと考えられる.

以下の各章では, これらの4つの課題について, 考察する.

2. 知識, 認識の扱い

2.1 知識の取り込みと利用

comprehensible rendering において, 質の良い画像を生成するためには, その適用分野の知識が不可欠である. こういった知識をいかにシステムに取り込み, 利用していくかが, 重要な課題である.

究極の理想を言えば, 計算機が十分な知識を持ち, 必要な判断を自動的にを行い, 素人のユーザでも良質の画像が描けることが望ましい. しかし, そのためには人工知能研究の飛躍的な進歩が必要であり, 近未来的に実現できるとは思えない. 現時点では, 知識ベースに基づく自動処理は, 全く行わないか, あるいは比較的単純な判断に限定し, ほとんどの処理をユーザの判断に委ねることが現実的である.

処理をユーザの判断で行う場合, ユーザが知識を持っていることが前提となる. しかし, 扱いやすいシステムを構築するには, あらかじめ描画に必要な知識を整理し, 描画メニューに反映させておくことが必要である.

自動化された部分に関しても, 100%正しい判断を行うことは極めて困難であるから, 計算機が判断を誤ることも想定しておく必要がある. この場合, 可能性の高い候補の選択や, パラメータの調節が容易であれば, ユーザはさほど困らない. その意味で, 知識ベースで下手に自動化を目指すよりも, あくまで主体はユーザだと割り切って, それをサポートするような, 有力候補の提供や GUI の設計に, 知識を使う方が, 重要性は大きいと言える.

2.2 認識は必要か?

実写画像あるいは実測データをもとにして描画処理を行う場合, コンピュータビジョン(CV)の技術を用いて, 何らかの認識を行うことが考えられる. 例えば, カメラから顔画像を取り込んで,

似顔絵を作成する場合に、目や口の形状を認識して特徴量を抽出する [4]、あるいは、CT 断層像から、ある特定の組織を抽出して描画する、などである。CG 技術と比べ、CV による認識技術を実用レベルに高めることは難しい。このため、いかに認識の性能を上げるかが、研究の良し悪しくべきでを左右するものと考えられがちである。

しかしながら、計算機による認識処理は、comprehensible rendering のために真に必要なのであろうか？ 例えば CV による自動計測のように、計算機が何らかの判断を下す必要があるなら、認識処理は不可欠である。しかし、CG の目的は画像を生成することであり、その画像を見て判断を下すのは、あくまでも人間である。従って、ここでの CV 技術は、認識そのものではなく、人間の認識能力の補助として、使用されるべきである。そう考えると、不確実な高レベルの認識処理を敢えて避け、低レベルの画像処理等の組合せだけでどこまでできるか、というアプローチも、場合によっては有効と思われる（例えば Drebin [1]）。

認識処理を取り入れる場合、いかに簡単な処理であっても、100% の確実性をもたせることは非常に困難である。そこで、認識を失敗したときに、大きな破綻が起きないような設計にしておくことも、重要である。

3. Rendering Navigation

ユーザがインタラクティブに描画作業を行う場合、数多くの選択肢やパラメータ設定の中から、試行錯誤によって最良の組合せを選ぶことになる。この試行錯誤のサポート、言い換えると、より良い描画法へのナビゲーションは、描画システムの性能を決定する大きな要因の一つである。

良好な rendering navigation を実現するには、前章で述べた知識の扱いの他に、描画方法あるいはパラメータの変更に対する応答時間が重要である。理想的には、アナログ値のパラメータをダイヤル等で操作する場合は 1/10 ~ 1/5 秒以内、モードの

ON/OFF や択一式メニューの選択の場合は 1/2 ~ 1 秒以内で、再描画されることが望ましい。通常のアルゴリズムでこの速度が実現できれば問題ないが、そうでない場合、通常の（描画方法が予めわかっている場合の）高速化とは、根本的に異なる思想でアルゴリズムを選択しなければならない。

rendering navigation のための高速化手法の一つは、種々の選択肢に対応できるような中間表現を保持しておくことである。例えば、G-buffer 法 [5] では、座標値や法線方向などの幾何的情報を、G-buffer と呼ばれる 2 次元画像の形で保持し、強調描画処理は G-buffer 間の画像処理の組合せによって実現する（図 1）。この場合、3 次元形状データの投影変換や隠面処理は、G-buffer 作成時に前処理として一度だけ実行すればよい。

適切な時間内に描画することが不可能な場合でも、ユーザが描画法変更の効果を瞬時に理解できれば、良好な navigation が期待できる。そのための方法の一つとして、対象の複雑さに応じて描画の細かさを制御し、ある一定時間内に必ず応答を返す手法があげられる。これには、対象物体の概略から詳細まで（levels of detail）の、データの表現と選択がキーポイントである。例えば、斎藤による volume data に対する real-time previewing の手法 [6] では、ボクセル値の追跡処理や iso-surface の生成処理を、ランダムに配置された点での短い線分の描画に置き換え、1 フレームに描画すべき線分の数を制限することによって、一定時間内の応答を確保している（図 2）。さらに、ユーザのインタラクションがない場合に、インクリメンタルに描画を進め、いずれは完全な（詳細な）描画結果が得られるようになっていけば、完璧である。その他、変更のある場所や重要な場所から描画を始めることも、有効な手法である。

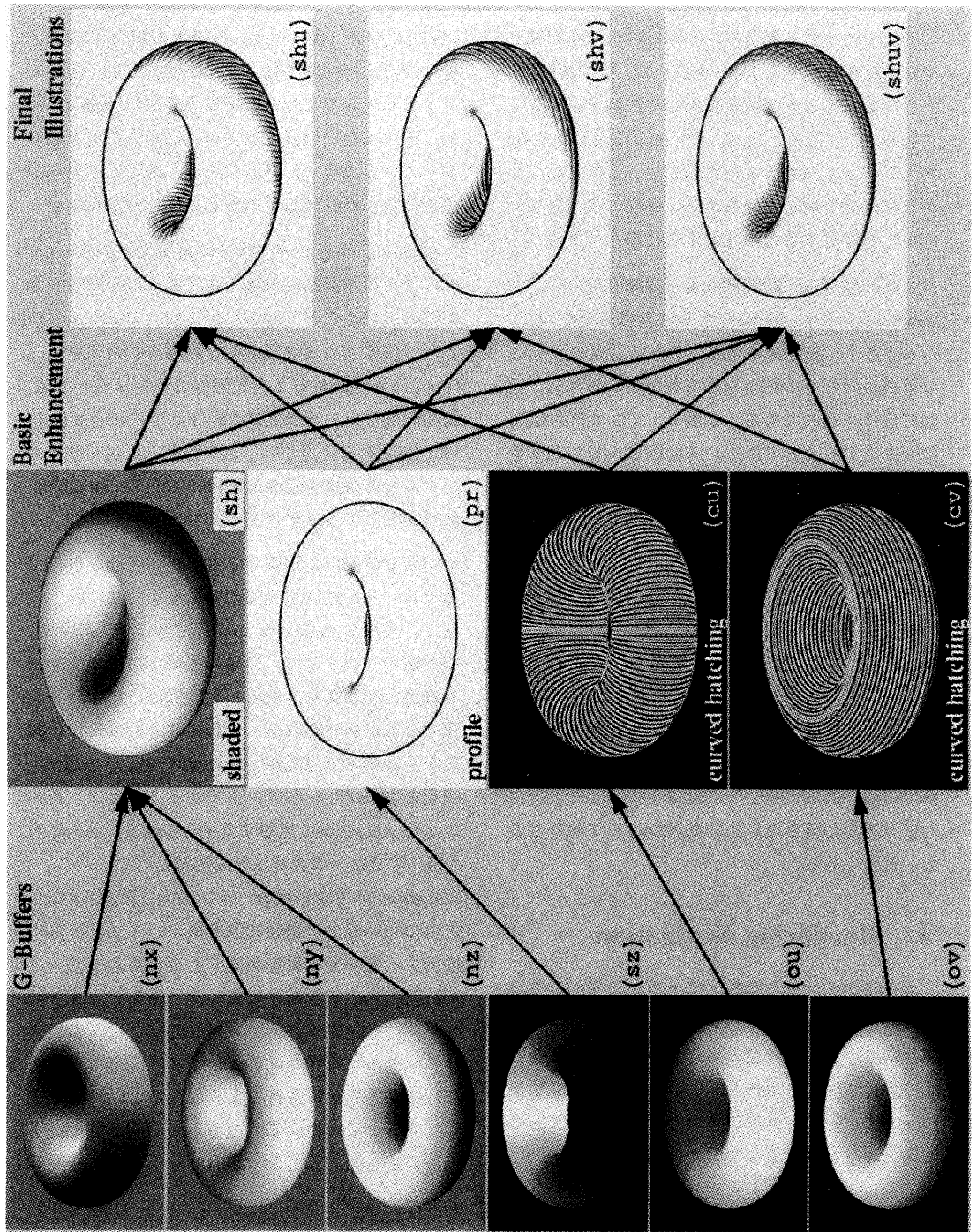


図1. G-buffer法による強調描画例

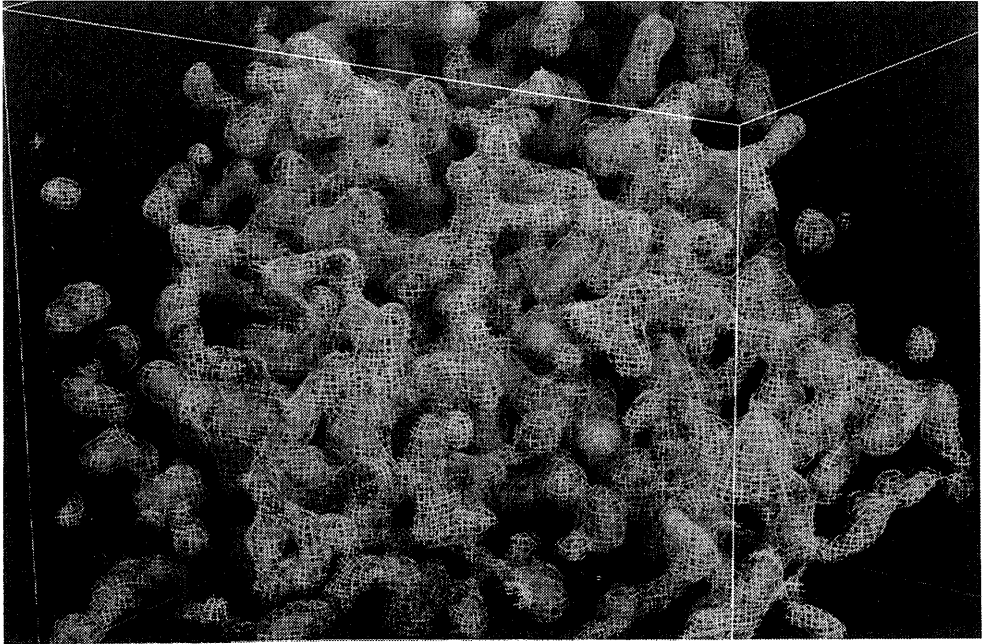


図 2. 短い線分の組合せによるボリュームデータの実時間描画例

4. ゴール指向 (Goal Oriented Approach)

photorealistic rendering, 特に景観シミュレーションなどを行う場合, 与えられた物体形状やテクスチャ, 光源などに対してだけ, 画像を生成すればよい. 一方, comprehensible rendering では, 「こんな画像を描きたい」という要求を満たすように, 各種の描画パラメータを設定しなければならない. 例えば, 物体のある箇所が特定の明るさになるように光源を配置する, といった具合に, 描画の因果関係が逆転している. こうした, ゴール指向の扱い方として, 以下の三つのアプローチが考えられる.

(1) 間接的操作

ごく普通に, 描画パラメータを試行錯誤で変えながら描画結果を眺め, 求める画像に近づけていく方法である. インプリメントは単純だが, 使い勝手を良くするには, 前章で述べた応答時間を十分短縮することが, 必須条件である. さらに, 二

つ以上の描画パラメータが影響する場合には, 所望の結果を短時間で得ることは困難である.

(2) 強制変更による直接的操作

もとの描画パラメータに関わらず, 所望の箇所に強制的に色を塗ったり線を引いたりする方法である. 近藤らのインタラクティブレンダリングシステム [2] の他, ほとんどの 2 次元ペイントシステムが, このアプローチを取っている. 利点は, どんなに細かい強調描画要求にも容易に対処できる, すなわち痒い所に手が届くことである. 欠点は, 操作に時間がかかることと, 一貫性 (consistency) の保持が難しいことである. ことに, アニメーションの作成となると, 膨大な時間を要する上に, フレーム間の一貫性を保つことは極めて困難である.

(3) 逆問題解決による直接的操作

所望の結果を得るような描画パラメータを, 逆問題を解くことによって, 直接求める手法である. このアプローチでは, ゴールに直接たどりつくことができるほか, 一貫性も保持できる. 欠点は,

一般に条件式が少なすぎて解が一意に求まらない、解を絞り込もうとしても、そのための現実的な制約条件を設定することが難しい、などである。今後は、このアプローチが増えてくるものと予想される。

5. 線画の重要性

人間の視覚は、物体のエッジに対して特に敏感であることから、輪郭線や内部稜線などのエッジを強調描画することは、応用分野にかかわらず効果的である。また、陰影やテクスチャの表現も、単に濃淡で表現するよりも、線がを巧みに使ったハッチングの方が、面の曲り具合や方向性を表現することができるなど、情報伝達能力に優れている [2-7] (図 1, 2)。さらに、コピーや fax、出版などの用途を考えても、カラー画や濃淡画よりも線画の方が、融通性が高い。

3次元形状データをもとに、線画による強調と面画(濃淡画)とを重ねて表現する場合、隠面消去と隠線消去とを同時に行わなければならない。線画を直線あるいは曲線データとして表現した場合、隠面消去アルゴリズムの中に、これらの線データの処理を矛盾なく組み込まなければならない(例えば、近藤 [3])。一方、線画を最初からラスターとして扱うのであれば(例えば、G-buffer法 [5])、隠線消去の厄介な問題からは解放されるが、表現の繊細さが画素数によって制限されてしまう。このような隠線隠面同時消去問題には、まだ研究の余地が残されている。

GWS などにおける、グラフィックス処理のハードウェア化においても、線画による強調描画を扱う上では、まだまだ改善の余地がある。ハードウェア化は、ベクトル描画からシェーディング面の描画、さらにはテクスチャマップへと進歩している。しかし、強調描画用としては、ベクトル描画のさらなる高速化と、線種のバリエーションのサポート(ストローク中での太さ変化、色変化など)が、必要である。

6. おわりに

comprehensible rendering 研究の背景に潜む課題のいくつかに着目し、議論した。この分野のさらなる発展を目指して、これからも研究を続けていきたい。

なお、本稿で述べた中で、rendering navigation やゴール指向の扱いについては、photorealistic rendering にも適用しうる議論である。

参考文献

- [1] R. A. Drebin, L. Carpenter, P. Hanrahan: Volume Rendering, Proc. SIGGRAPH'88, pp.65-74 (1988).
- [2] 近藤, 木村, 田嶋: 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, pp.1401-1408 (1985).
- [3] 望月, 近藤, 佐藤, 島田: 形状理解を助けるためのカラー画像の強調表現手法, 情報研報, Vol. 95, No. 47 (95-CAD-74) pp. 17-22 (1995).
- [4] 村上, 輿水, 中山, 福村: 錯視を用いた似顔絵生成システム PICASSO について, 情報処理学会論文誌, Vol. 34, No. 10, pp. 2106-2116 (1993).
- [5] T. Saito, T. Takahashi: Comprehensible Rendering of 3D shapes, Proc. SIGGRAPH'90, pp. 197-206 (1990).
- [6] T. Saito: Real-time Previewing for Volume Visualization, Proc. '94 Symp. on Volume Visualization, pp.99-106 & p. 1320 (1994).
- [7] G. Winkenback, D. H. Salesin: Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration, Proc. SIGGRAPH'94, pp.91-100 (1994).