

高品位白黒画像によるレンダリング手法

神原 章、近藤邦雄、佐藤 尚、島田静雄

埼玉大学工学部情報工学科

立体形状や質感の特徴を強調して作図するために、太さに変化を持たせて描く線分表現法を利用した質感表現、ドットの濃さ変化の表現法を用いた質感表現法を提案する。線分表現においては、線分の太さとそれらの間隔を変化させることによって、また、ドット表現では、ドット分布、制御位置、ドットの幅、濃さの変化の割合を制御することによって質感を表現する。これらの2つの手法を利用することによって、光沢の違いによる質感の違いを表現することができる。これらの手法を対話処理としてまとめ、画像をポストスクリプト対応プリンタに出力させるシステムに構築した。本システムの手法によって、立体形状ならびに質感の理解を容易に作図することが可能となった。

Rendering methodology of high quality monochromatic picture
for three-dimensional shapes

Akira KANBARA , Kunio KONDO , Hisashi SATO , Shizuo SHIMADA

Department of Information and Computer Sciences
SAITAMA University

For emphasizing spatial shapes and textures in technical illustrations, a shading method is proposed against lines and surfaces by the aid of an interactive computer graphics. Lines are redrawn with variable linewidth by giving several control points including terminals where the linewidth is specified. Surfaces are marked by dotted belts or group of lines along edges. The belt is specified in its width and density distribution at some control points. Representation of fine textures distinctions is made by these two rendering methods. The interactive system manages a high quality printer which is controlled by a graphics PostScript. Pictures drawn are evaluated from the view of fine visibility.

1 はじめに

線分やドットを多く用いた白黒2値の図形や画像は、その性質上、表す形状や材質の特徴の強調や省略が必ず行なわれる。この特徴の強調や省略によって、カラー画像とは異なった情報伝達の有効な手段として、いろいろな場面で白黒2値画像は用いられる。しかしこの特徴の強調や省略を行なっていることから、コンピュータで扱いにくく手作業に任された面が多くあった。例えば、3次元形状の輪郭は、投影変換によって作図することは、現在の手法を用いることによって容易に行なうことができるが、形状の感じを表現するためのわずかなドットづけや線分の追加などの強調作業は困難である。また一方、コンピュータグラフィックスの研究状況を見ると、よりリアルなカラー画像の生成に重点がおかれてきた。このため、特徴の強調や省略を行なって理解しやすい画像を生成する研究はあまり見当たらない。

このような中で、近藤らの研究はカラー画像の生成する時に、対話的に特徴の強調や省略を行なうインタラクティブレンダリングを提案している^[1]。また、斎藤らは、カラー画像による立体のハイライト部の強調や、形状を示すための手描き風の白黒線図形の作画を試みている^[2]。この白黒画像は、線図形であるが、形状を表すための手法である。さらに線分の形状や太さの制御についての研究として、一定の太さの線分を接続する方法を提案した研究^[3]がある。この研究では、その線分で何かを表現するというより、線分の接続を美しく見せることを目的としている。また、Binh Phamの研究^[4]では、筆のストロークをシミュレーションした白黒濃淡画像を描くものである。

本研究の目標は、形状や質感の特徴強調や省略によって、理解しやすい白黒2値画像を作成する各種の手法と、描画システムを構築することである。筆者らは、白黒画像で形状情報を有効に伝える表現法として、太さ変化を自由に制御できる手法と、ドット分布を用いて形状の理解を助ける濃淡表現法を提案した^[5]。これをもとに、本論文では、材質感を表現するための表現法を分析し、コンピュータを利用するときに必要な条件や入力データを明確にすること、その条件を満たすアルゴリズムを確立することを目的とする。本文中で扱う材質感、質感は、表面の光沢を中心としその違いによって区別できる程度の表現を扱う。表面の模様の違い、たとえば、材木や大理石のように模様のある質感を効率良く表現する手法は扱わない。

本論文では、まずはじめに、各種の図の分析から明らかになった線分の太さ変化や、ドット分布と質感表現の関係、並びにコンピュータで扱えるようにするための入力データと条件について述べる。次に、ドット分布の制御法と線影のための線分配置の制御のアルゴリズムについて述べる。そして、最後に、本システムの概要と、描画手順、作画例と評価について述べる。

2 白黒2値画像による質感表現の分類

本節では、まず、各種の2値画像から、質感表現の特徴を明らかにする。そして、その特徴を効率良く表現するための条件を示す。

2.1 質感表現の分類

白黒2値画像のなかで、質感表現に関する特徴ある表現が行なわれているものを図1に示す。

- (a) ドットの密度分布が変化している表現
- (b) 線分の密度が変化している表現
- (c) 線分の太さが変化する表現
- (d) 線分の分布が不規則な表現

これらの図から、質感表現に大きな役割を果たすものは、ドットの配置、線分の太さ変化やその配置である。特にドット表現は、表面がざらざらした感じになり、線分配置による表現は、光沢感を表すことができる。この表現法を線影表現といい、同時に、陰影も表現する。従ってこのドットや線分などを対話的に制御することによって、質感表現を意図に合うように変更することができる。つまり質感の違いを表現できるようになる。次節に、以上の表現の分析、および制御のための条件をまとめる。

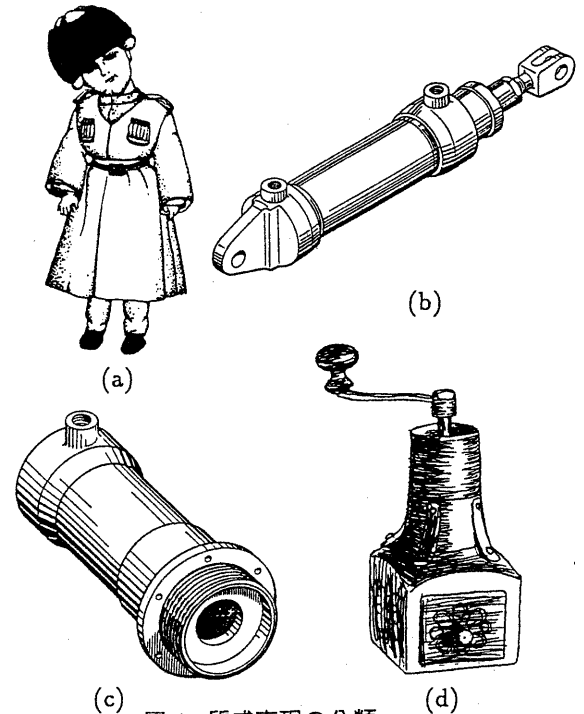


図1: 質感表現の分類

2.2 線影による表現の分析

図1(b)(c)(d)に示したように線描表現では、陰影表現および、光沢感を表すことができる。基本的な描画方法をまとめると、以下のようになる。

- ベンを同一方向に並べてひくことにより、物体各部の中間調や、陰影による明度の変化を表す。
- 比較的明るい部分には間隔をあけた線、暗い部分には間隔をつめた線を用い、線の粗密によって明度の変化を表現する。さらに、線の太さを変化させることで、より効果的な明度の変化を表現できる。
- ハイライトの部分、白い部分などを除いて、全体に線の繰り返しで明暗を描く。
- 線を並べる方向は、自由だが、細長い柄のような形は、長い方向にそって線を引く。

そこで、以上のことに注意して、各種イラストを観察した結果、線の分布の仕方は、図1(b)のように線が規則的に分布していることが分かった。ただし、図1(d)のように正確さが要のないふつうのイラストの場合は、不規則に分布している。このような線を描くには、2本の線分の間を規則的、あるいは不規則にアニメーションの中割りのような具合で、線を分布させればよい。これらのことを、計算機で実行させるためには、次のパラメータを与える。

- 1) 線の太さの変化の割合
- 2) 線の密度の変化の割合
- 3) 線の分布の規則性
- 4) 線の長さ

1)と2)は、濃度分布曲線によって、制御することにした。3)については、アニメーションの中割りのようにし、不規則にしたい場合は、乱数で変化させるようにする。4)は、図1(d)のように長さを変化させたい場合は、3)のように乱数で長さを変えるようにする。

本研究では、以上で説明したドット分布と線分配置の制御、および太さ変化を持つ線分の3種類の表現方法を用いて陰影や質感を表現するシステムを構築する。このシステムで利用するためのドットづけ、線分配置による線影表現のためのアルゴリズムについて、次に説明する。

2.3 ドットによる表現の分析

ドット表現は、陰影や丸みを出すと同時に、ザラザラした質感を出すことに使われる。ドットの明暗は、面による表現に空間の深さと奥行きを与え、平面を立体にまで発展させる造形要素である。人間の視覚は、色相よりも、明暗による感覚のほうが優先している。もしこの感覚が鈍っていると外界のものは、ただ平たく距離も深みもなく、また、物と物の区別ははっきりと見えない。従って、この明暗表現は、物体を表すことにとって重要な要素である。普通、ドットは、図1(a)に示すように影となる部分につけ、ハイライトのような部分はなにも作画しないで、省略してしまう。これによって、形状や質感をわずかな作画で表現することが可能となる。このようなドット分布は、図1(a)のように、線分に沿って、そのドットの幅を変化させることにより行なう。

このようなドット分布は、以下のパラメータを与えることにより描画できる。(図2)

- 1) ドットの幅を変化させる位置
- 2) その位置でのドットの幅
- 3) ドットの濃さの変化の割合
- 4) ドットの大きさの制御

パラメータ

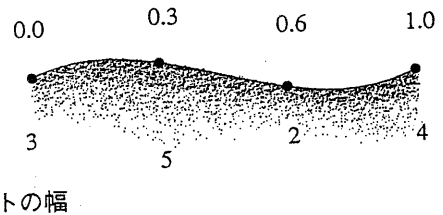


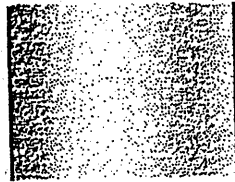
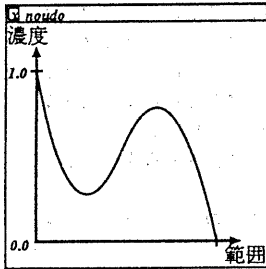
図2: ドットづけの条件

本研究では、1)の場所を点とみなし、ドット制御点と呼ぶことにする。ドット制御点では、その位置でのドットの幅をデータに持つようにする。また、濃さの変化の割合は、関数曲線によって制御する。この曲線を濃度分布曲線とよぶ。この濃度分布曲線と対話的に変えることにより、濃度を決定し、ドット分布を指定する。この手法を用いれば、線の形状に合わせたドットづけを行なうことが可能である。さらに、ドットの大きさを変化させる条件を加えることによって、より幅広い質感表現が可能となる。

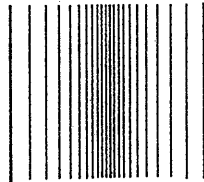
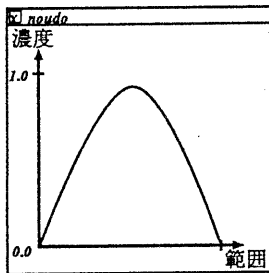
2.4 濃度分布曲線

この曲線は、濃度を自由に制御したい場合に用いる曲線である。曲線は、Bézier 曲線を用いている。Bézier 曲線を用いれば様々な曲線を引くことができるので、濃度も自由に設定することができる。

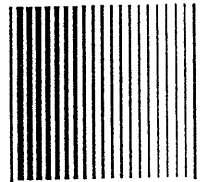
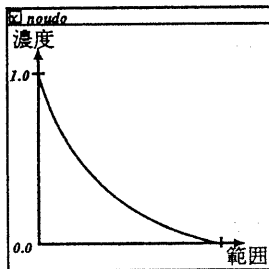
この曲線は、図 3 のように縦軸が濃度を表し、横軸が範囲を示す。濃度が 1.0 のとき、密度が濃い状態を表している。以下に、ドットづけ、線影と濃度曲線の対応を示す。



(a) ドット分布の変化



(b) 線の密度変化



(c) 線の太さ変化

図 3: 濃度分布曲線

3 線分による質感表現

線分を多数集めることによって、面の陰を表現する。これによって表面の光沢の違いを表すことができる。線分のパターンの制御は、上述の濃度分布曲線によって、計算する。濃度の値により、密度、太さを変化させる。

本研究では、図 4 のように、線影は 2 本の線分の間を埋めるようにつける。線分の形状は、任意である。

3.1 線の密度変化の制御

ここでは、密度変化の制御方法について述べる。

Bézier 曲線を生成する制御点を P_0, P_1, \dots, P_n とする。E をシフト演算子としたとき、Bézier 曲線は次のようになる。

$$R = (1 - t + tE)^n P_0 \quad (1)$$

ただし、 t はパラメータであり、 $(0 \leq t \leq 1)$ となっている。

まず、(1) 式を用い、2 本の線分のパラメータごとの座標 r_1, r_2 を求める。

計算された座標 $S(x, y)$ は、次のようになる。

$$S(x, y) = r_1 + len \times \frac{r_2 - r_1}{|r_2 - r_1|} \quad (2)$$

濃度に対応させて、 len を制御すれば、意図した表現が可能となる。この計算によって求まる座標をつなぐことによって、規則的に並ぶ線を描くことができる。

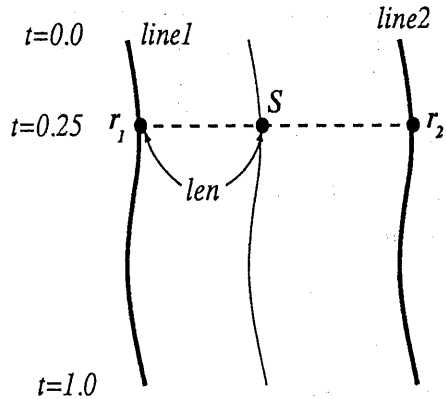


図 4: 線影

3.2 太さ変化の制御

濃度に合わせて線分の太さのみを変更して、濃淡をつくり出すためには、密度変化の制御とほぼ同じである。(2) 式の len を一定にし、濃度に対応させて線の太さを変化させれば良い。

また、密度変化と太さ変化を組み合わせると、同様に引くことができる。また、線のそれぞれの長さの制御だが、乱数を利用して、不自然にならないようにしている。

4 濃淡表現のためのドット分布制御法

4.1 ドット分布制御法

本節では、線分に沿うようなドットづけを行い、ドットづけの幅を任意位置で制御できるような陰影を実現する方法について述べる。線に沿うようにドットをつけるとは、図5のようなドット表現のことをいう。

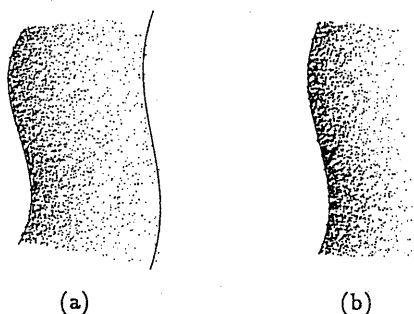


図5: ドットづけの指定

図(a)は、ドットづけを行なう領域を決定するための2本の線分、さらに、ドットの濃さを決定するための濃度曲線を指定することによって描いた。図(b)は、領域を決定するための1本の線分とドットの幅を入力することにより、描いた例である。

ドットの制御は、線影の制御に準じて計算できる。以下、このドットづけに必要なドット分布制御と領域決定法について述べる。

4.2 ドット分布の制御

前章で述べた濃度分布曲線の値により、ドットの間隔、大きさを算出し、中間調を表現する。このとき、ドットは、次のような手順で、描画される。また、ドット描画法アルゴリズムを図6に示す。この図中のものは、パラメータであり、(1)式のものと同様である。

- 1) 濃度曲線によって表示したい位置の濃度 $rate$ を計算する。前述のように、 $rate$ は、 $0.0 \sim 1.0$ まで変化するものである。
- 2) 濃度に合わせて、ドットの大きさ D を徐々に変化させる。 d_{max}, d_{min} は、それぞれ、最大、最小のドットの大きさである。

$$D = d_{max} \times rate^3 + d_{min} \quad (3)$$

- 3) (2)式を用い、ドットを描く座標を計算する。このとき、単純に描くと規則的になり、不自然な感じを受けるので、乱数により描画座標を再配置してから描画するようにする。

4.3 領域決定とドットづけ手法

本節では、任意の線分が与えられたときの領域決定の方法について述べる。図5(a)は、基本ドットづけ手法によって描いた濃淡画像である。図5(b)は基本ドットづけの応用によって描画した例である。

(a) 基本ドットづけ手法

領域決定の方法は、次のような手順で決定する。

- 1) ドットづけの領域を決める2本の線を与える。
- 2) この2本の線分の対応するパラメータによって、幅を計算する。
- 3) この幅に濃度分布曲線を対応させることによって、囲まれた領域のドットづけを行なうことができる。

この手法で描いたドット分布の変更は、2本の線分の間に沿ってドットをつけているので、線分の形状を変更すると、それに沿うように、ドット分布を変更することができる。

(b) 簡易描画手法

前述の手法で各種の表現が可能であるが、1本の線分と幅を与える方が容易に入力できる。以下に、簡易描画手法での領域決定の方法について述べる。

1本の線分を入力し、その線分上に、いくつかのドット制御点を与え、それが持つドット幅を画面上で与える。この与えられた幅の座標から、対応する曲線を生成し、領域を決定することができる。この方式では、ドット制御点により、任意の位置でドットの幅を変えることができることから、編集を行ない易いという利点がある。

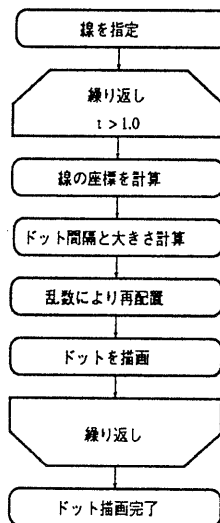


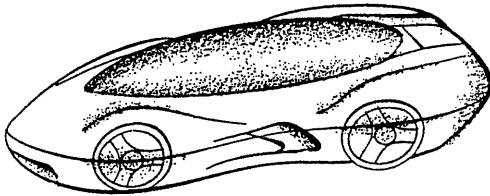
図6: ドットづけのアルゴリズム

5 作画実験

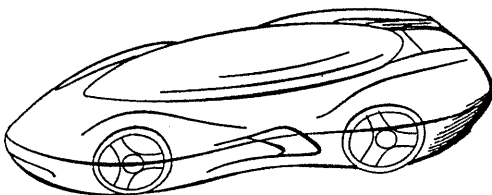
本システムを用いて、いくつかの描画例を作成し、評価を行なう。描画した例を図7と図8に示す。

図7 (a) は、ドット表現を用いて描いた例である。これを線影表現に変えたものが、図 (b) である。この図を比べてみると、質感の違いが表れていると思う。(a) では、ざらざらした材質のように見えるが、(b) では、金属のような材質を知覚させる。

図8は、主に曲面の様子を表現しようとした例である。図 (a) は、太くしたところを強調して、面が曲がっている様子を表した。一定の線で描いたものより、曲面の様子が理解しやすい。(b) では、ドットを加えることにより、陰影と曲面の様子を表現している。太さ以外にドットを与えることにより、さらに立体感が増し、奥深い表現となった。この表現では、ざらざらした材質であるように見える。(c) は、ドット表現を線影表現に変更したものである。この物体は、金属かプラスチックでできているように見ることが出来る。

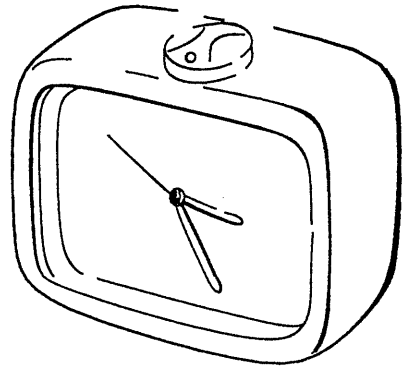


(a) ドット表現を用いたもの

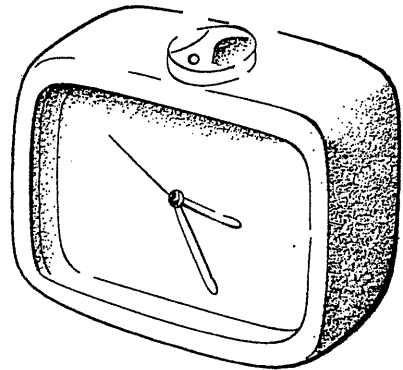


(b) 線影表現を用いたもの

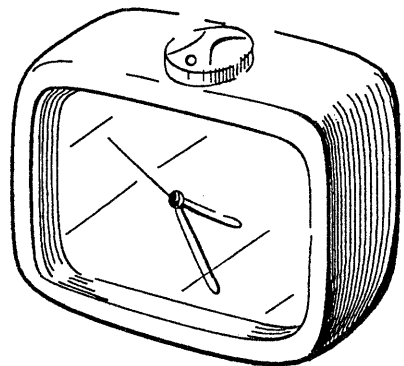
図 7: 車



(a) 太さの変わる線を用いたもの



(b) ドットを与えたもの



(c) 線影表現をしたもの

図 8: 時計

6 まとめ

本研究では、多くのイラスト図を観察し、経験や熟練した技術によって描かれていた、線影表現や、ドットパターンによる表現法を分析した。そして、これらの表現法を提案し、イラスト図の描画の有効性と、理解しやすい形状表現が可能かどうかを評価した。これらから、次のことを示した。

- (1) イラスト図に用いられている線影表現と、ドット表現を描画するための条件を明らかにした。これによって、計算機による描画法を考案できた。
- (2) 陰影表現に必要な、線の分布制御とドットの幅の変化を行なうには、Bézier 曲線のパラメータを利用することにより、実現できることが分かった。
- (3) 線影表現やドットによる表現は、陰影や曲面の様子を表現することに有効であることが分かった。
- (4) 2次元作画に本研究で提案した表現を利用することにより、3次元形状の理解を支援することが分かった。
- (5) 人手による描画と同程度の表現がコンピュータグラフィクスでも、可能となった。また、PostScript を用いたことにより、高品位な白黒画像を得ることができた。

今後は、エキスパートの経験や熟練した技術を分析し、これらの表現法の自動描画法を確立し、より高度な表現を実現する。

参考文献

- [1] 近藤、他：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
- [2] 齊藤隆文：曲面形状の記述法と描画法、1991
- [3] C.Yao,J.Rokne：Fat curves,Computer Graphics Forum, Vol.10,No.3, pp.237-248,1991
- [4] Binh Pham：Expressive Brush Strokes, CVGIP Graphical Models and Image Processing, Vol.53,No.1 1991
- [5] 神原、他：3次元形状表現のための高品位白黒画像の描画法、情処研報、Vol.92,No40,1992
- [6] 高橋正人、ヴィジュアルデザイン研究所編：イラスト技法ハンドブック、ダヴィッド社、1977
- [7] 清水吉治：マーカーテクニック、グラフィック社、pp.115-120、1990
- [8] 竹村俊彦：立体図の画きかた〈応用編〉、大河出版、1972
- [9] 大竹、吉岡、石川：レンダリング モデリング 製品デザインにおける表示論、美術出版社、1965