

仮想彫刻を用いた版画画像の合成

水野慎士* 岡田稔** 鳥脇純一郎*

*名古屋大学大学院工学研究科

**名古屋大学情報処理教育センター

本報告では、3次元仮想空間に作成した仮想版木から「版画」を作成する手法について検討する。仮想版木は仮想彫刻システムによって作成する。そしてその上に仮想紙を置き、マウスで操作する「ばれん」を用いて仮想版木と仮想紙の距離を変化させる。仮想紙上の各点での黒色濃度値はその距離によって決定されるため、版木の凹凸やばれんの操作に応じた版画画像が合成される。なお、仮想版木はユーザ自身が作成するが、画像を与えることで仮想版木を自動的に作成する手法についても検討する。

Synthesis of images like a woodcut printing using a virtual sculpting system

Shinji MIZUNO*, Minoru OKADA** and Jun-ichiro TORIWAKI*

*Graduate School of Engineering, Nagoya University

**Education Center for Information Processing, Nagoya University

In this paper, we studied a method to generate a woodcut print from a virtual printing block set in a virtual 3-D space. The virtual printing block is made with a virtual sculpture system. We put a virtual paper sheet over this printing block and change a distance from the sheet to the printing block with a virtual printing brush 'baren' which we operate using a mouse device. A grey value of each point on the virtual paper is decided by the distance at each point, thus a woodcut print is generated in response to ups and downs of the printing block or operation of the virtual 'baren'. We also studied a method of automatic preparation of a virtual printing block from an image.

1. まえがき

コンピュータ・グラフィクス (CG) において、フォトリアルな画像生成に関する研究は非常に盛んに行われてきており、その進歩には目覚ましいものがあった。その一方で、フォトリアルでない表現手法についてもその必要性が唱えられており ([1])、筆跡のシミュレーション ([2]) や、写真等の手書き風の画像に変換する手法 ([3]) などにより、フォトリアルでない画像を合成する研究もいくつか報告されている。

ところで、我々は仮想空間での「形」の生成とイメージーションの可視化の実験の一例として仮想彫刻システムを開発している ([4],[5])。これは3次元仮想空間内の彫刻素材に対して切削・付加の操作を実際に彫刻するような感覚で行うことで自由な形状を作成するものである。そして作成した物体の表面が、実際に彫刻刀の丸刀で削ったような形状を持つという特徴がある。

本論文では、我々の仮想彫刻システムを応用し、3次元仮想空間内に作成された版木に基づき、版画画像を合成する研究を行ったので報告する。これは、平板を彫刻刀で削って版木を作成し、墨を塗った版木の上に紙を置いてこれをばれんでこすって版画を刷る、という木版画を作成する過程を仮想空間内で再現することにより、対話的に版画画像を合成するものである。また、ばれんの操作や木目等による刷り上がりのむらも再現している。これらのことにより合成された画像は実際の木版画のような仕上がりとなることが確認された。さらに写真等の画像データを与えることで仮想版木を自動で作成する手法についての基礎的検討を行う。これは写真などを版画風の画像に変換することを目的とする。

2. 仮想版画の概要

2.1 基本原理

本手法では、仮想版画は3次元仮想空間内に定義された「版木」、「紙」、「ばれん」を用いて作成する。

版画の各画素の黒色濃度値は「版木」と「紙」との局所的な距離によって決定し、その距離が小さくなるほど濃度値が大きくなるようにする。これにより、「版木」の切削された部分は切削され

ていない部分に比べ「紙」との距離が大きいため、黒色濃度値は小さくなる。

「ばれん」は「版木」と「紙」との距離を局所的に変化させるのに用いる。これによりばれん操作による木版画のむらを再現することが可能である。

2.2 仮想版木

版画画像合成のための仮想版木は、我々が従来開発してきた仮想彫刻システムを用いて作成する。これは仮想空間内に彫刻素材を用意し、これを仮想彫刻刀で切削または付加することにより、自由な形状を作成していくシステムである。ここで仮想彫刻刀を楕円体で定義しており、その切削形状が彫刻刀の丸刀による切削形状と似た雰囲気をもつ。また、操作はマウスを用いるが、操作感覚は実際の彫刻に近いものとなっている。

今回は版木作成が目的であるため、平板を仮想空間の x - y 平面に平行に定義し、その表面は $z=0$ 、内部は $z<0$ とする。仮想版木は平板を切削して作成するが、このとき版木表面の z 座標値 $b(x,y)$ は、

$$b(x,y) \begin{cases} =0: \text{未切削部} \\ <0: \text{切削部} \\ >0: \text{付加部} \end{cases}$$

となる。

2.3 仮想紙

仮想紙は、2次元格子で構成されるデジタル画像で表現される。このとき (i,j) 番目の格子点の仮想空間における x,y 座標値は

$$x=ki, y=kj \quad (k \neq 0)$$

を満たす。初期状態では仮想紙は x - y 平面に平行に置かれ、格子は z 方向にのみ移動する。ただし、仮想紙は仮想版木にめり込まないため、各格子点 (i,j) の z 座標値 $p(i,j)$ は、

$$p(i,j) \geq b(ki,kj)$$

を満たす。このとき、仮想版木と仮想紙との格子点 (i,j) における距離 $d(i,j)$ は、

$$d(i,j) = p(i,j) - b(ki,kj)$$

となる。図1に仮想紙と仮想版木を示す。

2.4 仮想ばれん

仮想紙を仮想版木に局所的に接近させるには、仮想ばれんの操作によって行う。

仮想ばれんの形状は円形で、底面は平面状とし

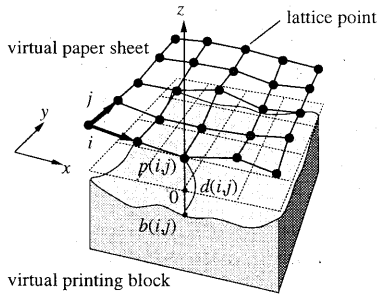


図1 仮想紙と仮想版木
fig.1 A virtual paper sheet and a virtual printing block

た。操作するときは仮想空間内でx-y平面に平行に置かれる。このとき、ばれんの位置する高さは、仮想ばれん領域内の仮想紙格子点のz座標の平均値 p_a から決まり、その底面のz座標を

$$p_a - \Delta z, \quad \Delta z > 0$$

と定める。 Δz は一度にばれんが紙を押す量のパラメータである。仮想ばれんよりz座標値が大きい仮想紙格子点は、ばれんに押されたときのみ、版木にめり込まない限り仮想ばれん底面のz座標値まで移動する。そして、この操作を繰り返すことで、格子点は少しずつ仮想版木に接近していく。ただし、仮想ばれんのz座標を上記のように定めることにより、実際の版画と同様、仮想版木の小凹部が仮想紙と接触することはない。

仮想ばれんの操作はマウスによって行う。ただし、今のところ仮想ばれんは実際には表示されず、マウスカーソルがその中心を表わす。

2.5 版画作成

まず、仮想版木と仮想紙が表示される。そして、仮想紙上でマウスをプレス・アンド・ドラッグ、すなわちボタンを押下したまま移動させることで、ばれんで紙をこする操作を再現する。

仮想ばれんの操作が行われると、格子点が移動した部分について、随時、黒色濃度値 $f(i, j)$ の計算が行われる。 $f(i, j)$ は以下の式によって求める。

$$f(i, j) = \begin{cases} 0 & : \text{if } d(i, j) > t \\ k(t - d(i, j)) & : \text{otherwise} \quad (k > 0) \end{cases}$$

これにより、実際の版画と同じく、仮想版木の凸部や何度もばれんでこすられた部分は他に比べてより黒くなる。なお、このように求めた $f(i, j)$ をもとに、版画画像が仮想紙に浮き出てくる。よって、対話的操作による版画画像合成ができる。

3. リアルな版画作成のための手法

前章で説明した手法による仮想紙格子点の移動だけでも版画画像を合成することは可能であるが、実際の版画と比べると不自然な部分がある。今回は、版木に急激な起伏がある部分の処理と、刷り上がりのむらについて、検討を行った。

3.1 仮想紙凹凸の補正

実際の版画では、版木に段差ある部分などで、紙と版木の距離が大きくなるため、黒色濃度値が低くなったり、濃度値が0になったりする(図2)。この現象の再現は、現実の版画らしい画像合成のためには重要である。そして、これは仮想紙の曲率にしきい値を設けることにより実現できる。そのため、仮想ばれんの操作によって仮想紙格子点を移動させるとき、仮想紙が大きい曲率を持った場合にそれを是正する方向に格子点の位置の補正を行う。

補正は、仮想ばれんによって移動させられた注目格子点と、その4近傍の隣接格子点についての位置関係によって行う。まず、x方向について、注目格子点と2つの隣接格子点を結んで作られる、2つの線分の角度($\theta_x; 0 < \theta_x \leq \pi$)を求める。そしてしきい値 θ_0 に関して、 $\theta_x < \theta_0$ となった場合、格子点のz座標に関する位置の補正を行う。ただし版木を下方に見て、3つの格子点が凹形状をなす場合(Case 1)には、注目格子点を正の方向に移動し、凸形状をなす場合(Case 2)には、2つの隣接格子点で注目格子点よりz座標の小さいものは正の方向に移動する。移動量および補正の様子を図3に示す。同様の補正をy方向についても行う。このような手順により、仮想紙の局所的曲げ角度に制限を与えている。

ところで、仮想紙格子点の補正は、対話的操作

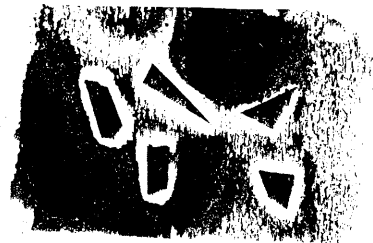


図2 実際の版画の一部
fig.2 Part of a real woodcut print

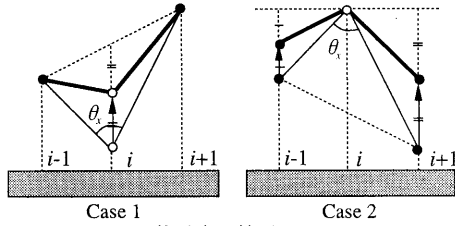


図3 格子点の補正
fig.3 Correction of the lattice point

の実現のため、仮想ばれんの範囲内で1度だけの走査によって行う。そのため、前述した手法で格子点の位置の補正を行った後でも、元の仮想紙角度が極めて小さい場合（図4(i)）や他の格子点の補正の影響（図4(ii)）により、仮想紙上でしきい値 θ_0 を下回る角度を持つ部分が存在する場合がある。しかし、ばれんの操作は仮想紙上の同じ場所に対して何回も行われるため、走査を複数回行ったのと同様の効果があり、仮想紙がしきい値とかけ離れた曲率を持つことはほとんどない。また、版画画像を合成するという目的を考えると、多少しきい値を超える曲率を持つ部分が存在することは、大きな問題にはならないと思われる。ただし、仮想紙の曲率については今後検討する必要がある。

3.2 刷り上がりむらの再現

現実の版画には刷る上がりにむらが存在する。その原因としては、版木表面の微妙な凹凸やばれんの使い方によるものなどが考えられる。

版木によるものについては、仮想版木表面にランダムに溝を付けることで実現した（木目作成機能）。また、材木は木目などで性質の異なる部分に分かれ、刷り上がりもそれぞれで微妙に異なる。そこで、仮想彫刻システムの木目作成機能で仮想版木を2つの部分に分け、それぞれに与える溝の深さの分散や平均を変えた。なお、溝は木目方向に沿って付け、その長さもランダムに与えた。これらにより、刷り上がりにうっすらと写る木目を再現した。

ばれんの操作によるむらは、ユーザの仮想ばれんの操作により再現できる。実際、本論文の手法で合成した版画画像は、版木によるむらに比べ、ばれんの操作によるむらの方が目立つことが多い。

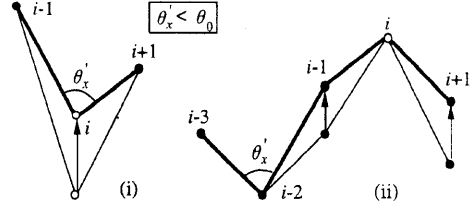


図4 仮想紙角度がしきい値を下回る例
fig.4 Examples of the cases that θ_x' remains to be less than θ_0

4. 仮想版木の自動作成

4.1 概要

ここでは、ある濃淡デジタル画像を与えたとき、それに対する仮想版木を自動的に作成する手法について述べる。これは、本論文でこれまで述べた版画画像合成の手法に基づいて、写真等の画像を版画風の画像に変換することを目的とする。

版木自動作成は、仮想彫刻システムを拡張することにより実現する。ある画像に対する版木を作成する場合、基本的には、画像の白い部分は版木を深く切削し、黒い部分は切削せずに残せばよい。本手法はこの考えに基づき、与えられた画像に対する仮想版木を仮想彫刻システムを用いて自動的に作成する。

4.2 実現法

仮想彫刻システムによる版木の作成は、3次元仮想空間内の平板を楕円体で定義された仮想彫刻刀で切削することによって行う。版木の自動作成は、与えられた画像の小領域の濃度値の分布から彫刻刀の位置や方向を計算する。そして、これを画像全体に対して行い、求められた彫刻刀で平板を切削することで実現する。

小領域はサイズが $n \times n$ 画素の正方形領域である。この小領域に対して、黒色濃度の平均値と濃度勾配ベクトルを求める。ここで、小領域の各画素の黒色濃度値を $f_0(i, j)$ ($0 \leq i, j \leq n-1$ 、簡単のため、 $0 \leq f_0(i, j) \leq 1$) とすると、濃度平均値 a は、

$$a = \frac{\sum_{ij} f_0(i, j)}{n^2}$$

で表わされる。また、濃度勾配ベクトル g の各成分 (g_x, g_y) は、

$$g_x = \frac{\sum_{ij} \{f_0(i, j) \cdot (i - \frac{n-1}{2})\}}{N}$$

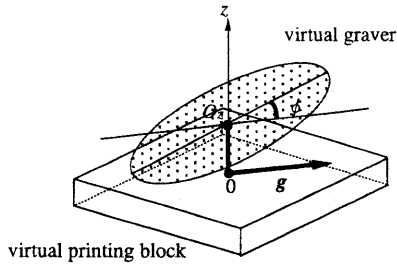


図5 仮想彫刻刀の位置決定法
fig.5 Decision of a graver's position

$$g_x = \frac{\sum_{ij} (f_0(i,j) \cdot (j - \frac{n-1}{2}))}{N}$$

$$N = \begin{cases} n^3 & (n: \text{even}) \\ n^3 - n & (n: \text{odd}) \end{cases}$$

と定義する。このとき、

$$-1 \leq g_x, g_y \leq 1, \quad 0 \leq |g| \leq 1$$

を満たす。

ここで、平板および仮想彫刻刀である楕円体の軸を図5のようにとる。黒色濃度平均値は、仮想彫刻刀の版木平板からの高さを決定する。平板表面を $z=0$ とした場合、仮想彫刻刀の中心の z 座標を、

$$o_z = r \cdot a$$

とする。ただし、 r は仮想彫刻刀である楕円体の z 軸半径とする。これにより、黒色濃度が低いほど仮想彫刻刀の z 座標が小さくなる、つまり深く切削されることになる。

勾配ベクトルの方向は、仮想彫刻刀の z 軸回りの回転角度を決定する。また、勾配ベクトルの長さは、平板表面と仮想彫刻刀とのなす角度を決定する。この角度は、

$$\phi = \phi_{\text{MAX}} \cdot |g|$$

とする。これにより、小領域で濃度に勾配がある場合には、仮想彫刻刀は平板を斜めに切削することになる。

以上のような手法で、画像の各小領域に対して1つの仮想彫刻刀の位置や方向を決定する。そしてこれを画像全体について行い、求めた仮想彫刻刀によって版木平板を切削することにより、与えられた画像に対する仮想版木を作成する。この仮想版木は、基本的には、与えられた画像の白い部分は深く、黒い部分は浅く切削されたものになっている。

5. 実験

ここまで述べた手法に基づき、版画画像合成の実験を行った。

図6は、仮想彫刻システムを用いてユーザ自身が仮想版木を作成し、版画画像を合成したものである。合成画像は、彫刻刀の切削痕による版画独特の刷り上がりが表現され、かなり木版画の雰囲気を出している。しかし、木目は実際のものとは異なる印象を受けた。また、仮想ばれんの操作によって、画像の印象はかなり変わることが知られた。

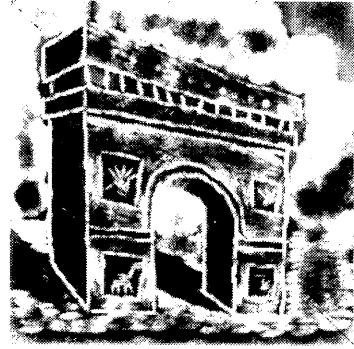
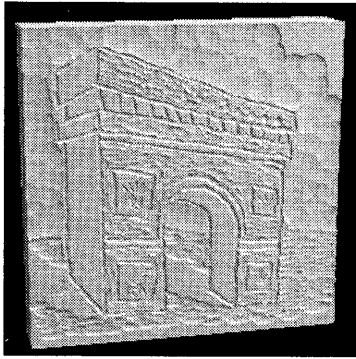
図7は、版木の自動作成の手法により版木を作成することで、写真画像を版画風画像に変換したものである。与えた画像は 512×512 画素で、仮想彫刻刀決定のための小領域は、 16×16 画素とした。与えた画像の x, y 方向に各63ずつ、合計3969の小領域を設定したため、各小領域は隣接小領域と半分重なった状態である。自動作成した版木から生成された画像(図7(b))は彫刻刀の切削の痕跡らしいパターンを示すが、全体としては木版画の印象からはやや異なる印象となった。

なお、今回使用したワークステーションは Sun Sparc Station 20 で、仮想版木の自動作成に要する時間は、図7の場合で約40秒である。

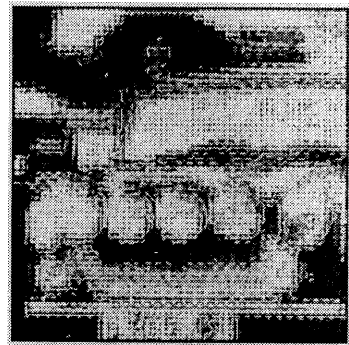
6. むすび

仮想彫刻の応用の1つとして、仮想彫刻システムで版木を作成し、それを用いて版画画像を作成する手法を提案し、実際にシステムを実現した。これは、仮想空間内に「版木」、「紙」、「ばれん」を定義し、これらを用いて版画画像を合成する。我々の仮想彫刻システムで作成した版木は、実際に彫刻刀で削ったような形状をもつ。また、仮想紙曲率に関する制限、ばれんの操作、木目等により、仮想版木と仮想紙の距離を変化させ、それらの効果によって版画の刷り上がりのむらなど、版画としてのリアリティを高める要因を加えることができた。これらのことにより、現実的に版画を作成する感覚で、現実の木版画に近い表現が可能となった。

さらに、与えられた画像を基に仮想版木を自動的に作成し、これから版画画像を合成する手法を提案し、実現例を示した。



(a) (b)
 図6 仮想版木 (a) と合成した版画画像 (b)
 fig.6 A virtual printing block and a generated woodcut print image



(a) (b)
 図7 写真画像 (a) と版画風に変換した画像 (b)
 fig.7 An original image and a transformed image with impression of woodcut printing

今後の課題としては、版画画像合成については、版画のむら、特に木目等によるむら、仮想紙曲率、仮想ばれんの底面形状や仮想版木との位置関係、などの諸要因についてより詳しく検討する必要がある。さらに多色刷りの実現なども挙げられる。次に、画像の版画風変換については、今回は1つの手法を提案したに過ぎず、リアリティが十分でない。そのため、仮想版木作成のための彫刻刀や画像小領域設定法、画像の特徴的な部分を切削する手法などを検討する必要がある。

謝辞 日頃熱心にご討論頂く名大鳥脇研究室の皆様にご挨拶。本研究の一部は文部省科研費による。

参考文献

[1]大野義夫: "フォトリアルでないCG画像表現の手法について", 情処研報, グラフィクスと

CAD, 95CG76-1, pp. 1-7 (1995)

[2]松下政親, 中村剛士, 世木博久, 伊藤英則: "毛筆文字出力システムにおけるかすれのパターンの多様化", 平成6年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, p. 285 (1994)

[3]齋藤豪, 中嶋正之: "FFTを用いた写真からの手書き風画像の自動作成", 情処研報, グラフィクスとCAD, 95CG74-3, pp. 11-16 (1995)

[4]水野慎士, 岡田稔, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: "CSGを用いた仮想彫刻", 情処研報, グラフィクスとCAD, 95CG73-7, pp. 49-56(1995)

[5]Mizuno, S., Okada, M., Yokoi, S., and Toriwaki, J.: "A Virtual Sculpture System", Proc. of Int. Conf. on Virtual System and MultiMedia '95, pp. 308-313 (1995)