JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	油絵調Renderingのための立体ストロークモデルとシーンの3次元幾何情報に基づいたストロークの生成
Author(s)	矢井田,謙; 小谷,一孔
Citation	情報処理学会研究報告 : オーディオビジュアル複合情報処理, 2004(126): 27-32
Issue Date	2004-12
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/3278
Rights	社団法人 情報処理学会, 矢井田謙／小谷一孔, 情報処理学会研究報告 : オーディオビジュアル複合情報処理, 2004(126), 2004, 27-32. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は（社）情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

社団法人 情報処理学会 研究報告
IPSJ SIG Technical Reports

2004－AVM－47（5）
2004／12／9

油絵調Renderingのための立体ストロークモデルとシーンの3次元幾何情報に基づいたストロークの生成

矢井田 謙† 小谷 一孔†

†北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

〒923-1292 石川県能美郡辰口町旭台 1-1
E-mail: †(k-yaida, ikko)@jaist.ac.jp

あらまし 従来の油絵調 Rendering は，油絵の重要な質感である"絵具の厚み"の表現が充分ではない．それに対し，本報告では，油絵の絵具の盛り上がり，絵具の塗り重ね，キャンバスの凹凸による絵具の掠れ等の表現を可能にする立体ストロークモデルを構築し，それを用いて立体的な油絵調 CG を生成する．加えて，人が絵を描く際に視る，影，奥行き，表面形状等の３次元幾何情報を利用したストロークの生成を行い，人の筆遣いの再現を試みる．

キーワード 油絵調レンダリング，立体ストロークモデル，ジオメトリベースドレンダリング

3-dimensional Stroke Model for Oil Painting like Rendering and Drawing Method based on Geometry Information

Ken YAIDA† Kazunori KOTANI†

†School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

Asahidai 1-1, Tatsunokuchi-machi, Nomi-gun, Ishikawa, 923-1292 Japan
E-mail: †(k-yaida, ikko)@jaist.ac.jp

Abstract The conventional rendering method of oil painting is not enough to express thickness of the paints, which is the important characteristic feature of oil painting. This report describes a new rendering method of oil painting that is based on 3-dimensional stroke model. Our new model can be express swelling, recoating and blur (by bumping of canvas) of paints. We also try to represent the characteristics of our brush drawing based on 3-dimensional geometry information that is obtained by analysis of characteristics of human view for shadow, depth and surface of objects.

Keyword oil painting like rendering, 3-dimensional stroke model, geometry-based rendering

1. はじめに

1.1. 研究背景

絵画的な表現のＣＧを生成する，いわゆる Non-Photo Realistic Rendering 技術は，重要な情報の強調，自由な画像表現という観点から注目されている．絵画調画像を得るアプローチとしては，写真などの２次元画像を入力として絵画調画像に変換する Image-based の手法と，３次元幾何モデルから絵画調画像を生成する３次元ＣＧの Geometry-based の手法がある．これまで我々は２次元画像を入力し Image-based の手法により油絵調の画像生成の研究を行ってきた[1-5]．これは，入力画像からストロークの位置，形状，色などを自動的に与えて画像を生成している．一方，人は３次元の実空間において，奥行き，３次元形状，影などを視て描いており，これらの情報を２次元画像からだけで得ることは難しい．このため，本報告では，入力に３次元幾何モデル(ポリゴンモデル)を加え，Geometry-basedの手法に基づく画像生成を考える．

３次元幾何モデルから絵画調画像を得るこれまでの研究例として，油絵調[7]，水墨画調[8]，ペン画調[9]，水彩画調[10]等の Rendering 技法があり，市販の Plug-In ソフトとして実装され高い評価を得ているものもある．しかしながら，油絵のストロークで生じる盛り上がりや刷毛目に対してのアプローチは行われておらず，実際の油絵が持つ立体感や光沢のような表現は充分ではない．

1.2. 研究目標

本研究の目標は，油絵調ＣＧの Rendering 技法において，油絵の重要な質感である油絵表面の立体的な絵具の厚みを表現すること，シーンの３次元幾何情報に基づくストロークの生

成により油絵の筆遣いを再現することである．

油絵の特徴として，絵具の盛り上がり，絵具の塗り重ね，キャンバスの凹凸による掠れ等の立体的な表現を伴うことが挙げられるが，従来のストロークモデル（図1, 2）では表現できていない．これに対し，本研究では，油絵特有の“絵具の厚み”という質感に着目し，画家がキャンバスに絵具を塗り重ねる過程で，絵具の形状がどの様に変化するか，色がどの様に重なり合うかといった現象をモデル化し，キャンバス上で３次元的に生成する．そこで得た厚み情報を使用し，任意の照明条件下においてShadingを行うことで，立体感のある油絵調ＣＧ画像を生成する．

加えて，画家が絵を描く際に考慮する，奥行き，表面形状，影などの情報をシーンの３次元幾何情報から抽出し，これに基づいてストロークの重ね塗りの順番のプライオリティ付けや物体形状のディテールに応じた筆サイズの使い分けを行うことで，油絵における人の筆遣いを再現する．

本報告では，以上を目標とした油絵調Renderingシステムを図3のように構成する．描画法において，入力の３次元幾何情報に基づいてストロークの進行方向やパラメータを決定し，立体ストロークモデルによりキャンバスへの絵具の付着を３次元的に表現する．Shadingモデルはキャンバス上の絵具の厚みを立体的に可視化する部分であり，本報告では，立体感のある油絵調CGをShadingにより生成する手法についても説明する．

図1. アウトライン筆モデルによるストローク[1]

図2. キャンバスと絵具のモデル化によって絵具の掠れを表現したストローク[2]

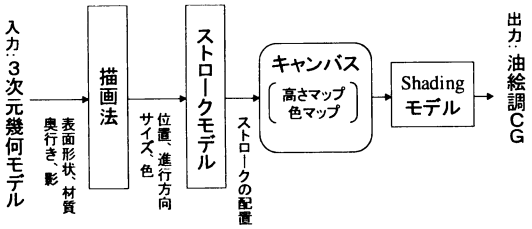


図3. 本報告の油絵調Renderingシステムの流れ

2. Shadingによる立体的な油絵調CGの生成法

Shadingによりキャンバス上の絵具を立体的に可視化するためには，Phongの鏡面反射モデル[11]に従うと，法線ベクトルと材質情報が必要となる．本手法では，生成画像のピクセルに対応するキャンバス平面の座標$\langle u, v\rangle$での法線ベクトル$\mathbf{N}_{map}(u, v)$を導くために，３次元形状情報として，高さマップ$H_{map}(u, v)$をデータとして保存する．高さマップ$H_{map}(u, v)$内の特定のピクセルに対応する法線ベクトルを導くには，まず，隣接するピクセル間の差に基づいて，横方向の接線ベクトル$\mathbf{U}(u, v)$及び縦方向の接線ベクトル$\mathbf{V}(u, v)$を次式のように計算する．

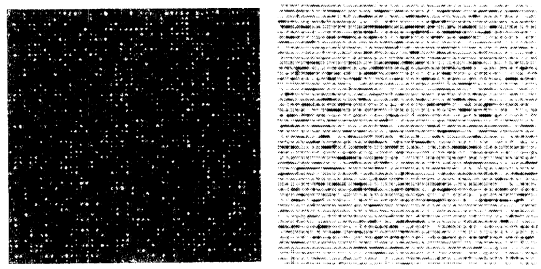
$$\mathbf{U}(u,v) = \left\langle 1,0,aH_{map}(u+1,v) - aH_{map}(u-1,v) \right\rangle \cdots (1)$$

$$\mathbf{V}(u,v) = \left\langle 0,1,aH_{map}(u,v+1) - aH_{map}(u,v-1) \right\rangle \cdots (2)$$

ここで，定数aは高さの範囲を変えるためのスカラー係数であり，法線の摂動をどの程度目立たせるかを制御する．$\mathbf{U}(u, v)$と$\mathbf{V}(u, v)$の高さ方向の成分をU_h, V_hとすると，法線ベクトル$\mathbf{N}_{map}(u, v)$は次式のように外積を用いて計算される．

$$\mathbf{N}_{map}(u,v) = \frac{\mathbf{U}(u,v)\times\mathbf{V}(u,v)}{\left|\mathbf{U}(u,v)\times\mathbf{V}(u,v)\right|} = \frac{\left\langle -U_h, -V_h, 1\right\rangle}{\sqrt{U_h^2 + V_h^2 + 1}} \cdots (3)$$

材質情報には色マップ$C_{map}(u, v)$を用い，$H_{map}(u, v)$と$C_{map}(u, v)$の初期値には，それぞれキャンバス地の凹凸と色を代入する．例として，キャンバス地の高さマップ$H_{map}(u, v)$とShading後の画像を図4(a), (b)に示す．



(a) $H_{map}(u, v)$　　(b) Shading結果

図4. キャンバス地をロードした$H_{map}(u, v)$にShadingを行った例

キャンバス上にストロークを配置するには，ストローク毎に描画領域を決定し，その領域内の高さマップ$H_{map}(u, v)$と色マップ$C_{map}(u, v)$を更新すればよい．

3. 立体ストロークモデルの構築

3.1. 油絵におけるストロークの特徴

次に油絵におけるストロークの特徴の代表的なものを挙げる．

1. 曲線や直線が描ける
2. 絵具の盛り上がりが生じる
3. 刷毛目が生じる
4. キャンバスの凹凸が現れる
5. 絵具の掠れが生じる
6. 絵具の透過が生じる

これらの特徴は，筆やキャンバスや絵具といった画材の要因

が相互に影響し合って生じる．本研究では，これらの特徴1～6を統合的に表現できる立体ストロークモデルを構築する．

3.2. 描画領域の生成法

ストロークの中心を通る点列 P_n が任意に与えられたとする．ストロークはキャンバス上の座標$\langle u, v\rangle$に対応した高さマップ$H_{map}(u, v)$と色マップ$C_{map}(u, v)$を更新することで生成されるが，その際に，u-v 平面からストローク毎に計算しやすい座標平面(ストロークの始点 P_0 を原点とする x-y 平面)に写像して考える(図 5)．x 軸は P_0 と P_1 を通る直線とし，y 軸は x 軸に対する垂線とする．その x-y 平面において，点列 P_n を一価スプライン関数 $S(x)$で補間し，連続的なストロークの軌跡を生成する．ストロークのアウトライン $W(x)$ は，筆幅を $2L$ とすると

$$W(x) = S(x) + L - (L - A_{start})\exp(-xB_{start}) - (L - A_{end})\exp(xB_{end} - 1) \quad \ldots(4)$$

で表され，ストロークの描画領域は $y<|W(x)|$ となる．ここで，$0 < A_{start} < L$，$0 < A_{end} < L$ はそれぞれ塗り始めと塗り終わりの幅を決定するパラメータであり，値が大きいほど平筆に近い形状になる．$0 < B_{start}, 0 < B_{end}$ はストローク中の筆圧の変化に関わるパラメータであり，値が大きいほどストロークの進行に伴う筆幅の拡がりが速くなる．例として，2 つの描画領域の生成例を図 6(a),(b)に示す．このストロークモデルを実際の Rendering システムに適用させる場合，ストローク毎にこれらのパラメータに揺らぎを与えることで，一様でないストロークの生成が可能になる．

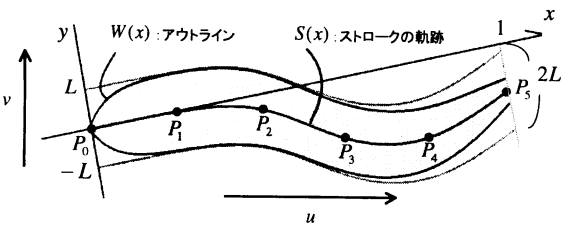


図 5. ストロークの描画領域

(a) A_{start}= 6L/10 A_{end} = 6L/10
B_{start}= 10 B_{end} = 5

(b) A_{start}= 3L/10 A_{end} = 3L/10
B_{start}= 20 B_{end} = 10

図 6. パラメータの設定による描画領域の違い

3.3. 高さマップの生成法

油絵の絵具の盛り上がりには刷毛目が生じるが，それは筆の毛の節々毎に保持される絵具の量が異なることにより生じる．その再現のため，各節における絵具の量の初期値 Brush(w) を図 7 のように乱数を用いて作成し，各節毎に絵具の量にばらつきを持たせる．そして，各節の絵具の量に応じて配置するストロークの高さを決定することで，刷毛目を表現する．更に，ストロークの進行に伴う絵具の減衰を考慮すると，x-y 平面での絵具の量 $V(x,y)$は次式のように表される．

$$V(x, y) = \text{Brush}(yL/W(x))\exp(-xK) \quad \ldots(5)$$

$0 < K$ は絵具の減衰に関わる係数であり，値が大きいほど減衰が早くなる．

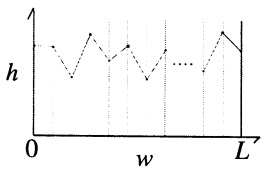


図 7. 絵具の量の初期値 Brush(w)

また，絵具の量が少ない部分では，キャンバス地の凹凸が現れる．この現象を，絵具の量 $V(x,y)$と下層の高さ $H_{low}(x,y)$ を次式により加重混合することで表現する (図 8)．

$$H_{map}(x, y) = (1 - x)V(x, y) + xH_{low}(x, y) \quad \ldots(6)$$

図 9 に $H_{map}(x,y)$におけるストロークの生成例を示す．

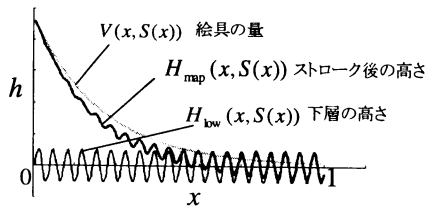


図 8. ストロークの軌跡 $S(x)$での断面図

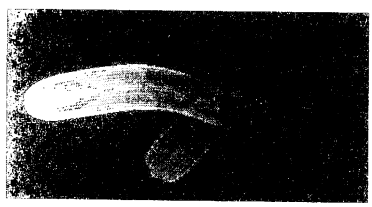


図 9. $H_{map}(x,y)$におけるストロークの生成例

3.4. 色マップの生成法

(a) 絵具の掠れの表現

絵具の量が少ないとき，キャンバスの凹部分に色が配置されなくなる，いわゆる“掠れ”現象が起こる．本手法では絵具を配置する条件式

$$1-V(x,y)/G < \frac{H_{canvas}(x,y)-(\mu_{canvas}-2\sigma_{canvas})}{4\sigma_{canvas}} \quad \ldots(7)$$

により，絵具の量 $V(x,y)$ が閾値 G 未満のときのキャンバスの高さ $H_{canvas}(x,y)$ との大小により“掠れ”を引き起こすようにする．同式のようにキャンバスの高さの平均値 μ_{canvas} と標準偏差 σ_{canvas} を利用することで，任意のキャンバス地への対応が可能になる．

(b) 絵具の透過の表現

絵具が薄くなると，下層に配置された色が透けて見える．その再現のため，厚さが閾値 T 以下のとき，上層の色が透過するように設定する．絵具の厚さを上層の絵具の高さ $H_{map}(x,y)$ と下層の絵具の高さ $H_{low}(x,y)$ の差とすると，描画領域内の色マップ $C_{map}(u,v)$ に配置される色は次式のようになる．

$$C_{map}(x,y)=\begin{cases} C & \left(T<H_{map}(x,y)-H_{low}(x,y)\right) \\ (1-\alpha)C+\alpha C_{low}(x,y) & \left(T\geq H_{map}(x,y)-H_{low}(x,y)\right) \end{cases} \quad \ldots(8)$$

ここで，C は上層のストロークの絵具の色，$C_{low}(x,y)$ は下層に配置された色，α は透過率とする．図 10 にストロークの軌跡 $S(x)$ 上での絵具の透過領域の例，図 11 に $C_{map}(x,y)$ におけるストロークの生成例を示す．

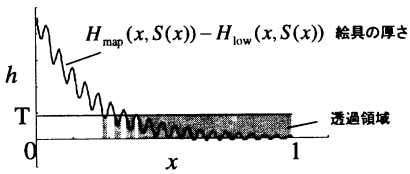


図 10. ストロークの軌跡 $S(x)$ 上での絵具の透過領域の例

図 11. $C_{map}(x,y)$ におけるストロークの生成例

3.5. 本手法のストロークと現実のストロークの比較

図 9 の高さマップと図 11 の色マップを用いて，Shading によりストロークを立体的に可視化した例を図 12 に示す．本手法のストロークでは，絵具の掠れ，絵具の盛り上がり，キャンバスの凹凸の表れ，刷毛目の現れなどの特徴に関して，現実のストローク（図 13）に近い表現が可能になり，従来手法（図 1, 2）にはない立体感や光沢が表されている．

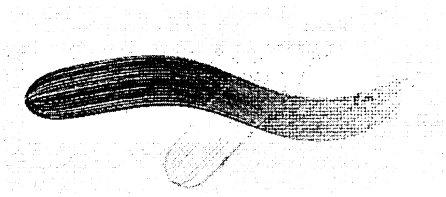


図 12. 本手法のストロークモデルによる生成例

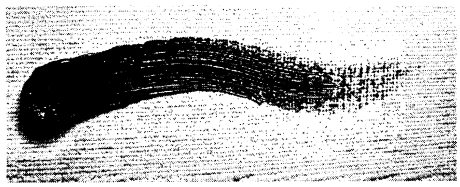


図 13. 油絵具による実際のストロークの例

4. シーンの 3 次元幾何情報に基づく描画法

前章では，立体的なストロークを生成するモデルを示したが，実際の油絵調 Rendering 処理にそのストロークモデルを適用するには，ストロークの進行方向，筆幅等のストロークモデルに渡すパラメータや配置する順序を決定する必要がある．本報告では，人が絵を描く際に視るシーンの 3 次元幾何情報を利用し，人の描き方の再現を試みる．

4.1. ストロークの進行方向の決定方法

2.2 節で示したように，本報告のストロークの軌跡は，任意の点列 P_n を補間することで得られる．点 P_n の座標を $\langle uP_n, vP_n \rangle$ と表すと，P_n はストロークの進行方向を決定付けるベクトル場 $\mathbf{D}(u,v)$ に基づき，次式によって与えられる．

$$uP_{n+1} = r\cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{D}(uP_n,vP_n)}{\mathbf{u}\cdot\mathbf{D}(uP_n,vP_n)}\right)\right) \quad \ldots(9)$$

$$vP_{n+1} = r\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{D}(uP_n,vP_n)}{\mathbf{u}\cdot\mathbf{D}(uP_n,vP_n)}\right)\right) \quad \ldots(10)$$

ここで，r はサンプル点間の距離であり，$\mathbf{u}$ はキャンバス横方向のベクトル，$\mathbf{v}$ はキャンバス縦方向のベクトルを表す．ベクトル場 $\mathbf{D}(u,v)$ の生成には，芳賀らのペン画調 Rendering[8] で用いられている手法を採用した．この手法は，オブジェクトの傾斜に沿って筆を運ぶ，或いはオブジェクトの輪郭に沿って筆を運ぶような筆遣いを再現でき，油絵の描画においても有効であると考えた．この手法では，レイトレーシング法（図 14）を用い，キャンバスに映るオブジェクトの可視面を算出し，可視面の法線ベクトル $\mathbf{N}$ をもとにして

$$\mathbf{D}(u,v) = \mathbf{N}\times\mathbf{E} \quad \ldots(11)$$

によりキャンバスの各座標 $\langle u,v \rangle$ におけるベクトル場 $\mathbf{D}(u,v)$ を求める．図 15 に $\mathbf{D}(u,v)$ の生成例を示す．

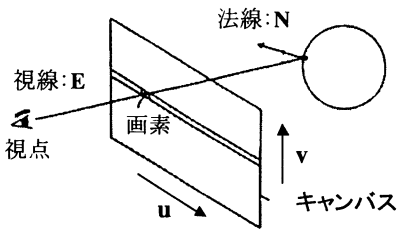


図 14. レイトレーシング法の概念図

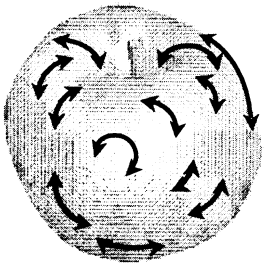


図 15. ベクトル場 $\mathbf{D}(u, v)$の生成例

4.2. 筆跡幅の決定方法

ポリゴンによる3D オブジェクトは，オブジェクトの詳細部分ほど，小さく細かいポリゴンで構成されている．一方，人が絵を描く際，オブジェクトの詳細部分ほど細かく丁寧に描く傾向が見られる．本研究では，この点に注目し，筆幅 $2L$ を次式のようにストロークの始点 P_0での可視ポリゴンの面積 S_{P0} に基づいて決定することで，人の筆遣いの再現を試みる．

$$2L = \begin{cases} l_{\max} & (l_{\max} \le t\sqrt{S_{P_0}}) \\ t\sqrt{S_{P_0}} & (l_{\min} < t\sqrt{S_{P_0}} < l_{\max}) \\ l_{\min} & (t\sqrt{S_{P_0}} \le l_{\min}) \end{cases} \quad \ldots (12)$$

ここで，筆幅の最大値 l_{max}，最小値 l_{min}，係数 $0 < t$ は，ユーザが好みの画像を生成するために，任意に指定する値である．

4.3. 領域抽出と奥行き値を利用した描き分け

現実の絵画作品では，オブジェクト，背景，影などを描き分けている作品がよく見られる．本手法においても，入力に3D モデルを用いるため，オブジェクト，背景，影の領域を別々に抽出することが容易であり，対象毎にストロークモデルのパラメータを指定し，描き分けを行うことが可能である．また，奥行き値も正確に抽出可能であるため，例えば遠方のオブジェクトから順に描くなど，ストロークを配置する順序の指定も可能である．

5. 油絵調 Rendering 結果

入力データとして通常のRenderingにおいて図16の画像が得られるポリゴンモデルを使用し，本手法により油絵調 Rendering を行った．配置するストロークの色パラメータには，通常の Rendering で得た色に揺らぎを与えた色を用い，絵具の配置する順序は背景，影，オブジェクトと遠方から順に行った．背景と影までを描いた途中経過の画像を図 17(a)に，完成画像を図 17(b)に示す．続いて，本手法の有効性を示すために次の２点について考察した．

(1) 本手法では，油絵調 CG を立体的に生成するため，３次元情報として高さマップを用いた．その効果を示すため，図 18(a)に Shading を行った場合の部分拡大図を，図 18(b)に色情報のみの画像の部分拡大図を示し比較する．Shading を行った図 18(a)では，絵具の盛り上がりや光沢，キャンバスの凹凸などの油絵特有の質感が表れている．

(2) 本報告ではシーンの３次元幾何情報を利用して人の筆遣いを再現することを試みた．入力が２次元画像の場合の手法との比較のため，ストロークの配置に２次元画像の輪郭特徴を用いた手法[5] に本ストロークモデルを適用させ，入力に図 16 の通常 Rendering の画像を用いて油絵調ＣＧを生成した結果を図 19 に示す．入力が２次元画像の場合，オブジェクト毎の領域を正確に抽出することは不可能なため，背景や影を区別して描画をすることは難しく，入力にポリゴンモデルを用いた図17(b)と比較すると，オブジェクトの境界が曖昧であり，奥行き感を失っている．

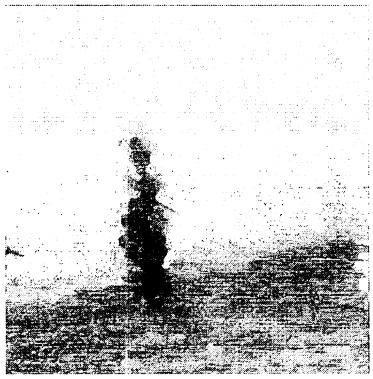
6. まとめ

本研究の目標は，油絵の重要な質感である油絵表面の立体的な厚みを表現する立体ストロークモデルを構築すること，シーンの３次元幾何情報に基づくストロークの生成により油絵の筆遣いを再現することである．以下にそれぞれの検討内容をまとめる．

・立体ストロークモデルの構築

任意の点列からストロークの描画領域を決定し，描画領域内におけるストロークの進行に伴う絵具の量の変化とキャンバス表面の情報を利用して，絵具の盛り上がり，刷毛目の現れ，絵具の掠れ，絵具の透過などをモデル化した．これにより，従来のストロークモデルにはない立体感や光沢などの油絵特有の質感表現が可能になり，従来方法より現実のストロークに近い特徴を再現できている．続いて，本ストロークモデルを Rendering システムに適用し，実際に油絵調 CG を生成した．色情報のみの結果と比較することで，本手法の立体ストロークモデルの有効性を示した．

図 16. 通常の Rendaring での生成画像

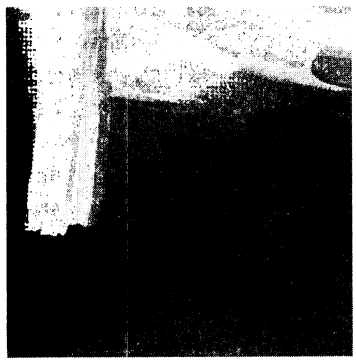


(a) 背景と影までを描いた途中経過

(b) 完成画像

図 17. 本手法での Rendering 結果

(a) Shading を用いた Rendering 結果



(b) 色情報のみの Rendering 結果

図 18. 部分拡大図

図 19. 入力に 2 次元画像を用いた場合の Rendering 結果

・3次元幾何情報に基づくストロークの生成

人の筆遣いの再現を目指し，ストロークの進行方向，筆幅，配置する順序などを，人が絵を描く際に視るシーンの３次元幾何情報を利用して決定する描画法を提案した．ストロークはオブジェクト表面形状，オブジェクトの領域，奥行きなどの情報に応じて配置されるため，２次元画像を入力した場合に比べ，オブジェクトの形状を損なわず，オブジェクト毎に統一のとれたストロークを配置することが可能になった．

今後の課題として，画風や生成コンテンツなどを考慮した効率の良いパラメータの与え方を検討し，ユーザフレンドリなアプリケーションの作成を目指している．

文　献

[1] 福島範幸, 小谷一孔, 手書き風グラフィックス生成におけるアウトライン筆モデルの生成, 情報処理学会研究報告, 98-CVIM-109, pp. 125-132, 1998.

[2] 鈴木裕紀, 小谷一孔, 絵筆の特性とキャンバスの表面特性を考慮した油絵風 CG 画像表現に関する研究, 信学技報, CS99-112, pp. 19-24, 1999.

[3] 松井将, 剣持雪子, 小谷一孔, ストロークの形状と色調により遠近表現する絵画風 CG 生成に関する研究, グラフィックスと CAD, 101-2, pp. 7-12, 2000.

[4] 西出諭二, 剣持雪子, 小谷一孔, 絵具の透過特性を薄塗り技法による絵画風 CG 画像生成手法に関する研究, 映像情報メディア学会技術報告, AIT2003-94, pp. 43-46, 2003. 3.

[5] 福島範幸, 染谷信彦, 小谷一孔, 手描き風グラフィックス生成における筆モデルの構成と多重解像度解析によるパラメータ決定, 第 55 回情報処理学会, 5AD-7, pp. 4-305-306, 1997. 9.

[6] 向江雅弥, 今村弘樹, 藤村誠, 黒田英夫, インパスト簡易表現モデルによるインタラクティブな油絵画像生成アプリケーション -3 次元オブジェクト化で立体的な表現を-, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 28, No. 19, pp. 9-12, 2004.

[7] Reyes Infografica, http://www.reyes-infografica.net/

[8] 佐藤陽悦, 藤本忠博, 村岡一信, 千葉則茂, ポリゴンベース幾何モデルの水墨画調レンダリング法, グラフィックスと CAD, 103-7, pp. 37-42, 2001.

[9] 芳賀俊之, 西田友是, ストロークによるペンアンドインク風画像の生成とそのアニメーション化, グラフィックスと CAD, 101-1, pp. 1-6, 2000.

[10] 中川大介, 藤本忠博, 村岡一信, 千葉則茂, 水彩パース図風レンダリング法, 芸術科学会論文誌, Vol. 2, No. 1, pp. 40-50, 2003.

[11] B. Phong, Illumination for computer-generated pictures, Communications of the ACM, Vol. 18, No. 6, pp. 311-317, 1982

[12] A. Hertzmann, A Survey of Stroke-Based Rendering, IEEE Computer Graphics & Applications, Special Issue on Non-Photorealistic Rendering Vol. 23, No. 4. pp. 70-81. 2003.