

人体の質感と動作の表現方法

宇佐美芳明* 鶴沼宗利* 栗原恒弥** 安生健一*
(株)日立製作所 *日立研究所 **中央研究所

3次元CGのための現実感ある人物のモデルを構成するには、幾何モデルや物理法則ベースのモデリング手法等従来からのスタンダードな技術だけではカバーできない。

本報告では人間の膚や頭髪の質感、歩行表現などを題材にして、人間の表現に特有な質感や情緒的表現を伴う動作の再現方式についての方式の提案と検討結果を報告する。具体的には、膚の質感の再現のための実物からの法線情報抽出法、頭髪表現のための異方性反射モデル、および周波数解析の応用による歩行動作モデルについて現状報告を行なう。

Methods for Human Modeling: Skin, Hair, and Walking

Yoshiaki Usami* Munetoshi Unuma*
Tsuneya Kurihara** Ken-ichi Anjyo*

* Hitachi Research Laboratory
** Central Research Laboratory
Hitachi Ltd

In this paper, some new approaches are described for human modeling. These methods are intended to improve or complement established techniques in 3D computer graphics, in order to obtain a realistic human model: A human skin model, which gives information about its normal vectors and shape, is firstly demonstrated. Secondly a technique for rendering human hair is briefly described and illustrated. Finally a novel approach, based on Fourier analysis, is introduced for human walking with emotion and its variations.

1. はじめに

コンピュータグラフィックス (CG) で人物を表現するといっても目的・用途によって多種多様なモデルが考えられる。写実性 (リアリティある描写) の度合、表現できる動作や環境の豊富さ、画像生成時間、映像制作のための対話ツールの具備などがモデルとそれを提供するシステムを構築するための主要基準である。

本稿では特に3次元CGの表現能力を追究するという素朴な立場から、写実的な人物表現についての我々の研究状況を述べる。

一般に機械部品などの人工物を表現する場合には、物体の幾何情報、材質などの物理的属性情報や光源の指定などによって (試行錯誤はあるにせよ) 最終画像が得られる。しかし人物の場合には指定すべき入力情報として、例えば頭髪のとややかさといった質感や、楽しそうに歩くなどの感情を伴う動作など、利用者が直接的に指定しにくいものが多く必要となる。従ってそうしたあいまいで情緒的な表現を入力として最終画像が得られるような人物表現のモデルを作らねばならない。このモデルは必然的に従来の幾何モデルや物理法則ベースのモデリングを内包し、さらにそれに加えて工夫・方法論をも必要とする。今回は頭髪や膚の質感表現と感情を考慮した動作表現についての検討状況を示し、上述の意味の新しい工夫・技術を模索しているさまを報告する。

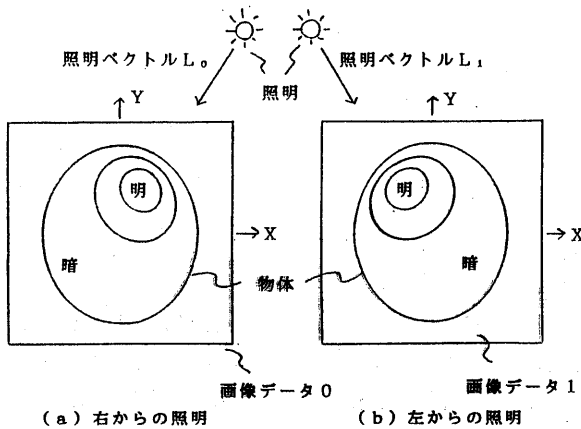


図1. 画像入力時の照明条件

2. 膚の質感

皮膚の質感を再現しようとする場合、皮膚表面の微細な凹凸を簡単に入力できるようにすることが最大の課題である。表面の凹凸は法線ベクトルにより表現できるので結局法線ベクトルを得る方法を開発することになる。

ここでは対象物体の照明条件の異なる2枚の2次元画像から対象物体の面の法線情報を得る方法を提案する。その基礎となるのはコンピュータビジョンの分野で知られている Photometric Stereo法 [Wood 81] である。

2.1 Photometric Stereo法とCGへの応用

Photometric Stereo法では、画像の輝度情報から法線情報を算出するために、複数の照明条件による画像データを必要とする。例えば、図1に示すように対象物体に対し、右上方に照明がある場合の照明ベクトルを L_0 、左上方のものを L_1 であったとする。この物体が図2のような断面形状であったとして、先の照明条件で得られる画像データは図1のような明暗分布を与える。この2枚の画像情報をもとに、以下の仮定と算法により単位法線ベクトル N が算出される。

[仮定1] (シェーディング方程式) 表面輝度

I は次式で与えられる:

$$I = (L \cdot N) * K_d \quad \dots (1)$$

ここで L は照明ベクトル、 K_d は拡散反射係数である。

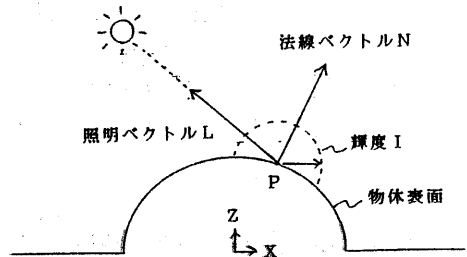


図2. 物体表面上での反射様式

[仮定2] 対象物体は次の意味で凸である：
 物体表面の各点で法線ベクトル $N = (n_x, n_y, n_z)$ は

$$n_x > 0 \quad \dots (2)$$
 を満たす。

[仮定2] は、言い換えるならば、対象物体のうち、(2) を満たす部分だけ考慮するということである。

さて以上の条件下で $N = (n_x, n_y, n_z)$ を求める。(1) 式から求めるが、まず Kd の値は物体の凸性から入力画像の最高輝度値 I_{max} を持つ画素において

$$I_{max} = Kd \quad \dots (3)$$

となるのでこの値を Kd とすることができる。画像を得る際の照明ベクトル L は既知だから (1) 式における未知量は N のみとなる。

Photometric Stereo法では、 I と N の組合せを事前にすべて計算しておき、テーブル形式で結果を記憶し、すべての照明条件を満たす N の解をテーブル中から探し出す方式である。

我々の場合は各画素ごとに2つの異なる条件下での (1) 式を連立させ、 N の大きさが1であることから求めた。即ち、図1に示したような条件下で得られる方程式

$$\begin{aligned} I_0 &= (L_0 \cdot N) * Kd \\ I_1 &= (L_1 \cdot N) * Kd \end{aligned} \quad (4)$$

と

$$n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1 \quad (5)$$

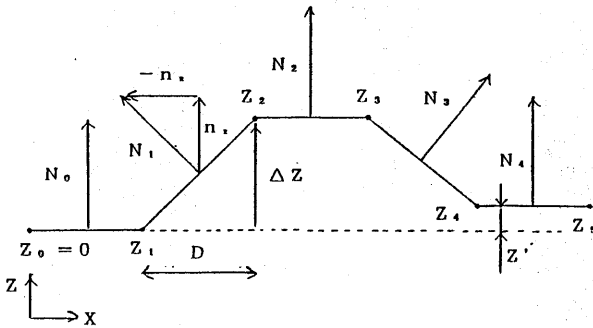


図3 法線ベクトルから形状を求める方法

及び (2) に注意して、計算される。さらに形状は法線データの積分によって求まる。即ち、図3に示すような場合に x 軸方向に N を積分してゆくとすると、画素間隔を D 、高さ Z の初期値 Z_0 を0として、

$$\begin{aligned} N_i &= (n_x^i, n_y^i, n_z^i) \\ \Delta Z &= -n_x^i / n_z^i * D \\ Z_{i+1} &= Z_i + \Delta Z \end{aligned} \quad (6)$$

から計算される。ここで N_i は既知データ。なお初期値 Z_0 が未知の場合は適当な推定値が必要である。

2.2 結果及び検討

図4は質感入力のための画像データである。(a)は右から照明をあてた場合で、(b)が左からの場合の入力画像である。ここで入力した物体は指の関節部分であり実物から石膏像を作成しこれをテレビカメラで入力した。

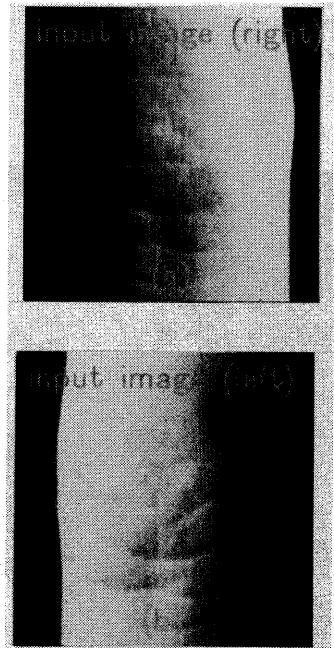


図4. 質感入力のための入力データ

図5は上記データから求めたCGモデルの表示例である。この図に示したのは、2.1節の方法で求めた形状データをもとに400個のポリゴンからなる幾何モデルを作り、得られた法線情報をもとにある方向から光をあてた際の画像データをマッピングした結果である。これによれば実物の質感と形状をほぼ再現したと考えられ、提案手法の有効性が例証された。

しかしながらこの実験例では原データを石膏像をもとに作成する必要があった訳でその意味では実用的でない。これは(1)のシェーディング方程式が、対象が石膏面のような完全拡散反射面であるという仮定のうで用いられていることによる。従って精度よく法線を求めるには石膏像を作るか無光沢な塗料を塗る必要がある。こうした点の改良と誤差評価などについては現在検討中である。

3. 頭髪の質感

頭髪の質感の再現のためには、まずレンダリング手法として異方性反射モデルを用いるのが自然であろう(例えば[安居院90])。頭髪のつやや

かさ、髪型などを容易に制御できるモデリング方法もきわめて重要である。

現状では、我々の研究は主としてレンダリング技術の開発にウエイトがある。頭髪を表示する際には、頭髪の本数が10万程度は必要といわれているので、特に高速で現実感ある異方性反射モデルを開発中である。

図6に開発中のアルゴリズムに基づく表示例を示す。ここでは頭髪のモデルとしては一本一本を局所的には2次曲線として定義し表示の際はさらに多数の線分で近似した。このモデルは、今後は頭髪のダイナミックな動きも考慮できるものにしたので頭髪一本一本が定義されている。図6の表示例では約2万本の頭髪が定義されている。頭髪の異方性反射特性に基づくハイライトの仕方、また艶が再現されている。

さてどの程度高速かについての評価であるが、現状では表示される頭髪のリアリティの程度との絡みもあり、評価方法自体の検討を行なっている状況である。髪の毛の質のパラメータ化や髪型の定義法などと合わせて近々報告の予定である。

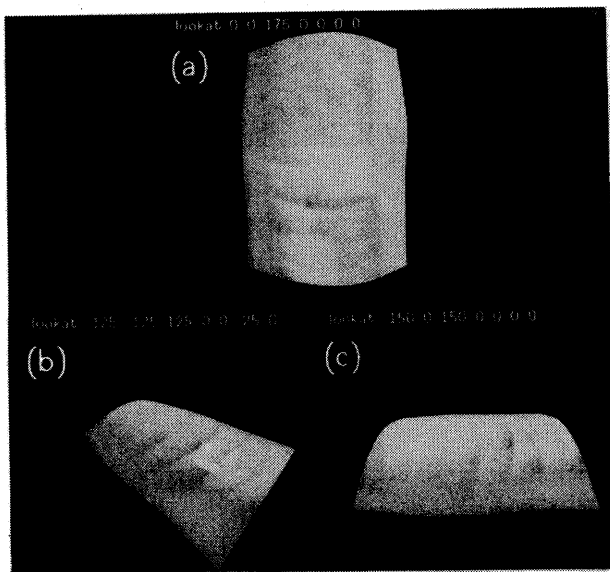


図5. ポリゴンとマッピングで表現した例



図6 頭髪のレンダリング例

4. 感情や副詞表現を伴う動作生成方式

コンピュータ・グラフィックスを用いて歩行動作を表現する場合、実際の動きを測定しそのデータをそのままディスプレイ上に再現する方法あるいはキーフレーム法[Thal87]が現在主に用いられている。これらの手法はデータの制作に多大な労力と時間を必要とする。また制作したデータのほとんどは1つのシーンにしか使用できず、違うシーンを作る場合には再度膨大なデータ制作が強いられる。

本節では種々の歩行動作を周波数領域で補間することにより、簡単に歩行動作を生成・変形する手法について述べる。

4.1 関節運動の周波数解析

動作の解析手法を図7に示す。次のようなステップで行なった：

- ①(a)に示すように動作を正面・側面それぞれに置いたビデオカメラで撮影する。歩行動作は「普通に歩く」の他に「楽しそうに歩く」「悲しそうに歩く」などの動作を修飾する成分を伴う定常的な動作も撮影した。

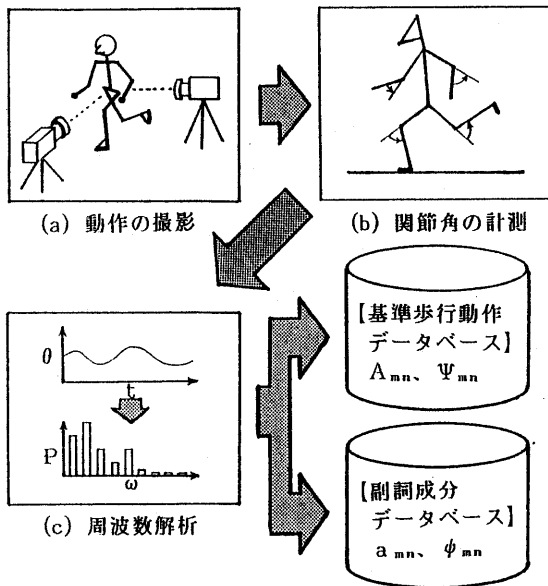


図7 歩行動作の解析手法

- ②この撮影した映像からフレーム毎に各関節の曲げ角を計測する。これより各関節の時間変移を計測した。

- ③関節の時間変移を(c)に示すように周波数領域に変換する。周波数領域では各周波数におけるスペクトル強度及び位相角が求まる。

4.2 基準歩行動作データベース

前節の結果をもとに歩行動作のモデルを作る。まず「基準歩行動作」と「修飾成分」に分ける。「基準歩行動作」とは、感情などの伴っていない動作（「標準的な歩き」など）を言う。基準歩行動作データベースには周波数解析したスペクトル強度 A_{mn} 、位相角 Ψ_{mn} を格納する。ここで m は関節番号、 n は第 n 次高調波である。

4.3 修飾成分データベース

「修飾成分」とは「元気に歩く」「腰を曲げて歩く」などのように副詞の伴った動作の「元気に」「腰を曲げて」をいう。例えば「元気に歩く」の各関節のスペクトル強度を A'_{mn} とし位相角を Ψ'_{mn} とすると、「基準歩行動作」と「元気に歩

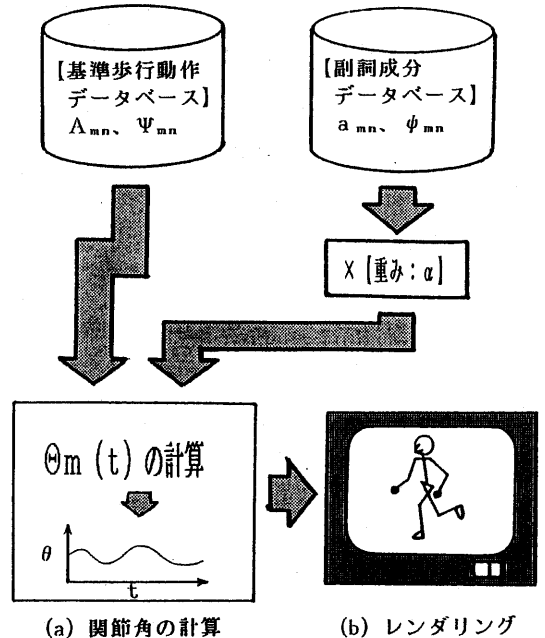


図8 種々の歩行動作の表現手法

く」との差、すなわち

$$a_{mn} = A_{mn} - A_{mn}$$

$$\phi_{mn} = \Psi_{mn} - \Psi_{mn}$$

を「元気に」成分と定義し、そのスペクトル強度 a_{mn} と位相角 ϕ_{mn} を修飾成分データベースに格納する。

4.4 種々の歩行動作表現と作成例

種々の歩行動作表現手法を図8に示す。[基準歩行動作]とそれに付加する[修飾成分]のスペクトル強度と位相角をそれぞれのデータベースから持ってくる。それぞれの関節の時間変移は次式のように求める：

$$\Theta_m(t) = (A_{m0} + \alpha \cdot a_{m0}) \\ + \sum \{ (A_{mn} + \alpha \cdot a_{mn}) \\ \cdot \sin((n \cdot t + (\Psi_{mn} + \alpha \cdot \phi_{mn}))) \}$$

ここで、 α は [修飾成分] の重みである。

$\alpha=0$ で [基準歩行動作]、 $\alpha=1$ で計測した歩行動作 (修飾成分の加わった動作) が得られる。図9の(a)(b)に簡単な形状モデルを用いて例を示した。 $0 < \alpha < 1$ では基準歩行動作と計測した歩行動作の中間の表現、即ち内挿ができる。さらにこの α に関する外挿表現も可能である。 $\alpha > 1$ では [修飾成分] を強調した動作、例えば「非常に元気に歩く」などが表現できる。一方 $\alpha < 0$ では [修飾成分] の負の表現、例えば「元気がない歩き」などの表現、が可能である。以上の内挿・外挿について図9(c)–(e)に例を示した。

また [修飾成分] を差し換えることによって、別な歩行動作表現ができる。本手法を用いて連続的に [修飾成分] が変化するリアルタイムアニメーションが可能である。

5. おわりに

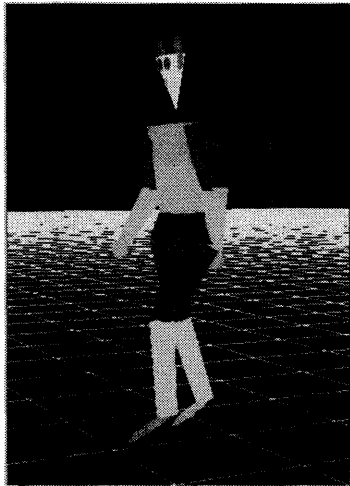
以上、現実感ある人物モデルを構成するうえで特に従来のモデリング技術で対応しきれない部分についての方法の提案を行なった。具体的には人間に特有の髪や膚のもつ質感や情緒を伴う動きのモデル化法である。まだ検討段階のものばかりであり、さらに詳細な解析と一般化を試みて続報を予定している。

[参考文献]

[安居院90] 安居院、三輪、中島：“領域アンチエイジング”を用いた頭髪表現”、信学春季全大 D-609 (1990)

[Thal87] N.M-Thalmann and D.Thalmann: "The Direction of Synthetic Actors in the Film Rendezvous a Montreal", IEEE CG&A, pp.9-19 (1987)

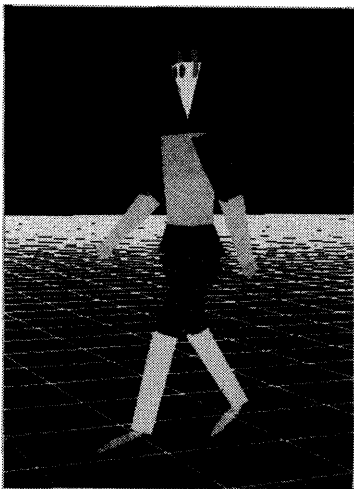
[Wood 81] R.J.Woodham: "Analyzing Images of Curved Surfaces" Artificial Intelligence, Vol.17, pp.117-140 (1981)



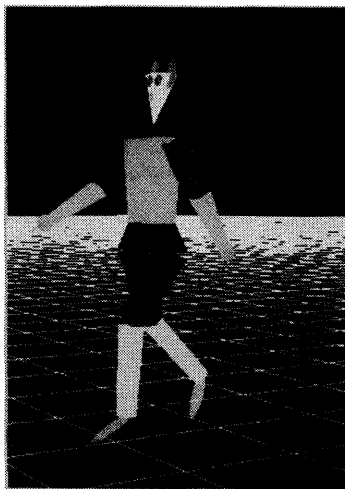
(a) $\alpha = 0.0$



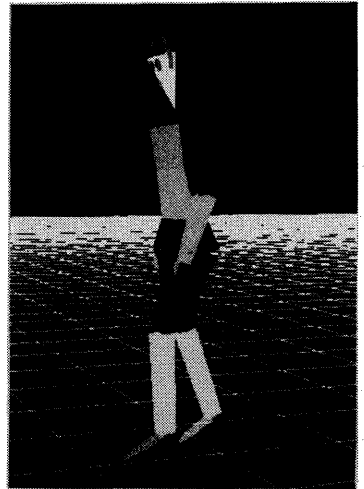
(b) $\alpha = 1.0$



(c) $\alpha = 0.5$



(d) $\alpha = 1.5$



(e) $\alpha = -1.0$

図9. 重みパラメータ α による歩行動作の内挿と外挿