画像処理および CG 手法を用いた 3次元ドレープ像の予測

三重県工業技術センター 西 松 豊 典 (会員)

Prediction of the Three-Dimensional Drape Image by Using Computer Image Processing and Computer Graphics

Toyonori Nishimatsu*

*Department of Textile, Mie Prefectural Industrial
Research Institute, Tsu.

Abstract

The image processing system to predict three-dimensional drape image from the two-dimensional drape photo image was constructed on a basis of the three-dimensional drape images seen from different angles by using this experimental system and these predicted drape images were compared with the drape images observed at different angles.

The results obtained are as follows ;

Using the revised height coefficient ($k=5$), three-dimensional drape image seen from different angles were computed by the smooth-shading method. The predicted drape images were different from the measured drape images at the salient feature and the re-entrant feature of the drape images.

So the revised height coefficient ($k_b=kr=km=1$) of the suspected colored parts (blue, red and madder red) was given the smaller value than the revised coefficient ($k_g=ka=ky=5$) of the suspected colored parts (green, azure and yellow). And using these coefficients, three-dimensional drape image seen from different angles were predicted from the two-dimensional drape image by the smooth-shading method. As the result, there was a good agreement between the predicted three-dimensional drape images and the measured three-dimensional drape images.

(Received April 13, 1990)

摘 要

目的：コンピュータ画像処理および3次元CG（コンピュータグラフィックス）手法を用いて、簡易に織物の3次元ドレープ像を予測できるシステムの試作を行った。そして、この試作システムを用いて、2次元ドレープ撮影像より織物が任意の視点から眺められた状態での3次元ドレープ像を予測し、実測3次元ドレープ像と比較検討を行った。

成果：簡単な画像処理した2次元ドレープ画像について、スムーズシェーディング法を用いて3次元CG計算を行った結果、復元された3次元ドレープ像の凸部・凹部周辺においてドレープ傾斜角度が急激に大きくなる傾向をみつけた。そこで、2次元ドレープ像の輝度値よりドレープ高さを計算する方法を提案するとともに、周辺部の高さ補正係数を設定する手法について検討した。これらの補正係数を用いてZ軸に対して45°、90°方向より眺めた3次元ドレープ像をCG計算した結果、予測3次元ドレープ像と実測3次元ドレープ像間には比較的良好一致がみられた。

(平成2年4月13日受理)

1. 緒 言

ドレープを優美に作り上げる性能の指標となるドレープ性の評価は、パネルの主観によるところが大きい。現在、一般に行われている評価法としては Hamburger のドレープ係数¹⁾が用いられている。この Hamburger のドレープ係数の大小とパネルが織物のドレープ性について主観的評価を行った順位との間には、かなり高い相関があるといわれている²⁾。そのため、この係数を用いて官能評価との対応関係を考察した研究は数多くみられる³⁻⁷⁾。

しかし、ドレープ係数がそのままドレープ性の良否につながらないことは予想される。須田ら⁸⁾は、織物のみではなく不織布、フィルム等を加えて、このドレープ係数と官能評価値との関係を考察した結果、ドレープ係数が小さいものほどドレープ性が良いという関係は成立しないと報告している。

それゆえ、ドレープ性を評価する別の試みが²⁾、³⁾なされている。岩崎ら⁹⁾は、Hamburger が提唱した形状係数（ノードの波長と波高との比）と主観的評価との関係を考察している。北田ら¹⁰⁾はドレープした織物の形態を円錐体と考え、ドレープ高さおよびドレープ角度から、たてのドレープ係数を求め、この係数と Hamburger のドレープ係数との比より 3 次元的なドレープ係数を提案している。また内山ら¹¹⁾は 3 次元的なドレープの美しさに関連する因子はドレープ指数、ドレープのノード数であると報告している。

これらのドレープ性評価に用いられている試料は、3 次元ドレープ形状を限定された角度（真上、側面 1 方向、斜め 1 方向）から撮影した写真である。しかし、一般にパネルがドレープ性を評価する場合、種々の角度よりドレープ像を注視した後、評価を行っている。この様なパネルのドレープ性評価動作に基づけば、限定された角度より撮影した 3 次元ドレープ像ではなく、任意の角度より撮影した 3 次元ドレープ像が多数必要となってくる。それゆえ、種々の角度より 3 次元ドレープ像を撮影するにはカメラを使用することが考えられるが、その撮影準備および角度の設定が煩雑である。

そこで、本研究では織物の 2 次元ドレープ像についてコンピュータ画像処理および 3 次元 CG（コンピュータグラフィックス）処理を行うことによって、任意の角度より眺めたパネルの 3 次元ドレープ復元像を予測表示する手法を提案した。そして、こ

の手法を用いてパネルの視点の変化に対応した 3 次元ドレープ復元像と、実測 3 次元ドレープ像との比較検討を行った。

2. 実験方法

試作したシステムは、CCD カメラ、画像処理装置 (PIAS II, (株)ピアス製)、反射型照明装置、試料台、フレームバッファ (CGC-4 K, テゴ電子(株)製)、16ビットパーソナルコンピュータ、モニタ 2 台 (画像処理プログラム表示用モニタ、処理画像表示用 RGB モニタ)、インクジェットプリンタ (IO-720, シャープ(株)製) より構成され、そのシステム構成図を図 1 に示す。

図 1 に示されるように、直径 20 cm の円形織物試料を直径 5 cm の円形の把持台に同心状に載せ、そ

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system.

1; CCD camera, 2; Sample, 3; Sample setting unit, 4; Image analyzer, 5; Video input, 6; Digital image memory, 7; Video output unit, 8; Personal computer, 9; Key board, 10; Monitor for image processing program's indication, 11; Color monitor for processed image indication, 12; Frame-buffer, 13; Printer for measured value, 14; Ink-jet color printer for image indication, 15; Lighting unit.

の2次元ドレープ像を真上より CCD カメラを用いて撮影する。CCD カメラより入力した2次元ドレープアナログ画像は画像処理装置内でデジタル画像情報に A/D 変換される。

そして、 A/D 変換された画像情報は各画素位置 (X, Y) ごとに輝度情報 (輝度レベルは64階調に分割) が計測され、その計測値がデジタル画像メモリに入力される。さらに画像メモリに記憶されたドレープ画像情報は、コンピュータによって画像演算処理 (2次元ドレープ画像に含まれる雑音を除去する平滑化処理) および疑似カラーによる2次元ドレープ像の図形表現ならびに2次元ドレープ像の各部分における面積、距離および周囲長の計測値が処理画像表示用カラーモニタおよび画像処理プログラム表示用モニタ上に表示される。

CCD カメラの撮像素子はインタライン方式 CCD 固体撮像素子、画像メモリの仕様は画素数 $510 (H) \times 492 (V)$ 画素、画像取り込み時間 $1/30$ 秒、記憶画面数 2 画面、CCD カメラ本体と円形把持台間との距離は 600 mm である。反射型照明装置は、150 W レフランプの散光が試料に対して均一に照射されるように配置した。また試料に対して外乱光が影響しないように CCD カメラ、照明装置および試料台はキャビネットの中に納めた。

次に、3次元コンピュータグラフィックス手法を用いて、平滑化、疑似カラー化の画像処理をした2次元ドレープ像からパネルの視点の変化に対応した3次元ドレープ像の復元予測を行った。

即ち、2次元ドレープ画像上の各画素位置 (X, Y) における輝度値 (L) から3次元ドレープ像の凹凸のデータ ($Z = k \times L$, k は高さ補正係数, $k = 1 \sim 5$) を計算し、2次元ドレープ画像に関する3次元凹凸データ (X, Y, Z) を作成する。

この3次元凹凸データを基にして、スムーズシェーディング法による3次元 CG 計算処理を行って、2次元ドレープ像は小さい面 (ポリゴン) の集合体である3次元ドレープ像として表現される。

スムーズシェーディング法とは物体をポリゴンと呼ばれる小さい面の集合体として表現し、各々の面の法線ベクトルから面の輝度を計算し物体に陰影をつける方法である。通常のシェーディング法では、ポリゴンとポリゴンとの間に輝度差が生じるため物体がゴツゴツした感じになってしまう。しかし、スムーズシェーディング法ではポリゴン内の輝度を変化させて、隣接するポリゴン間の輝度をスムーズに

連結することによって滑らかな画像を得ることができる^{12,13)}。

なお、この隣接するポリゴン間の輝度をスムーズに連結する技法としては輝度の円滑化法を用いた。この方法はポリゴン頂点の輝度をその頂点を共有するポリゴンの法線ベクトルより求め、ポリゴン上の任意の一点における輝度値を頂点の輝度値から補間して求めるものである。

ここで、3次元ドレープ像を任意の色で陰影付け (シェーディング) するために、次のようなシェーディング関数 I を用いた。

3次元ドレープ像を構成する各ポリゴン表面上での入射光に対する反射は拡散反射と仮定した。即ち、入射した光が物体表面近くの小さな粒子により屈折、乱反射を繰り返した後表面から出ていくと仮定し、表面に入射する単位面積当たりの光の強さに比例して、どの方向にも一様な強さで反射光が出るとした。

いま、照明光の強さを I_p 、照明光と物体表面の法線とのなす角度を θ とすると、拡散反射光の強度 I_d は Lambert の余弦則^{12,13)}より次のようになる。

$$I_d = I_p \cdot kd \cdot \cos \theta \quad (1)$$

ただし、 kd は拡散反射係数である。 ($kd = 0 \sim 1$)

また実際には照明光以外にも周囲に光が多少あるため、周囲光の強度を I_a とすると、3次元ドレープ像のシェーディング関数 I は周囲光および拡散反射による強度の和となり、

$$I = I_a + I_p \cdot kd \cdot \cos \theta \quad (2)$$

となる。

なお、本研究では照明光の個数は1個、その位置 (X, Y, Z) は (0.8, 1.0, -0.5) とした。また3次元ドレープ像を周囲と区別・明瞭化するために、周囲光の強度 $I_a = 0$ として処理を行ったので、照明光の当たらない部分は黒色となる。

以上の手法を用いることによって、パネルが Z 軸に対して任意の角度から眺めた3次元ドレープ像を任意の色 ($R = 0 \sim 255$, $G = 0 \sim 255$, $B = 0 \sim 255$, 1,677 万色) で陰影付けを施したグラフィックス表現が可能となる。

実験に使用したパイル織物の織物密度は、たて糸 20 s, よこ糸 20 s, パイル糸 $40/2$ s, たて密度 31 本/cm, よこ密度 19 本/cm, パイル倍率 2.8 倍であり、2次元ドレープ像のノード数は4個である。

3. 実験結果および考察

図2(a)は、レフランプの散光を試料に照射し、CCDカメラで撮像して得られた2次元ドレープ像を画像処理装置内でそのアナログ入力画像をデジタル画像にA/D変換したものである。

このA/D変換されたデジタル画像について、各画素単位位置ごとに64階調の輝度レベルが計測され、メモリー上にその位置情報(X, Y座標)および輝度情報(L)が記録される。そして、この輝度の違いを視覚的に明瞭化するために図2(a)について32階調の疑似カラー表現処理を行い、その結果を図2(b)に示した。

なお、疑似カラー表現処理はシュードカラー法¹⁴⁾を用いて行った。疑似カラーは、輝度0～7が黒、輝度8～15が青(b), 輝度16～23が赤(r), 輝度24～31

がマゼンタ(m), 輝度32～39が緑(g), 輝度40～47がシアン(a), 輝度48～55が黄(y), 輝度56～63が白の8色であり、各色の濃度が4段階に分かれている。

しかし、このA/D変換された疑似カラー画像には画像計測の障害となる雑音が多く含まれているので、この雑音を除去する必要がある。そこで、スパイク状の雑音の除去に有効であるメディアンフィルター処理¹⁴⁾、さらにこの画像の細かな凹凸をなくして輝度領域の平滑化を行うために8近傍型平均化フィルター処理¹⁴⁾を行った。両平滑化処理ともフィルターの大きさは、たて3画素×よこ3画素である。その処理結果を図2(c)に示す。但し、図2(b), (c)はモニター上ではカラー画像である。

また図2(c)について、輝度等高線処理(等輝度の画素同士間を線分で連結することによって地図の等高線に似た形状となる処理)を行った結果を図2(d)

(a) the input drapery image observed by CCD camera

(b) the drapery image graded by the pseudo color method

(c) the drapery image processed by the smoothing treatment about Fig. (b)

(d) the drapery image processed by the gray level contour line processing about Fig. (c)

Fig. 2 Drapery image obtained by the image processing unit

に示す。

そして、図2(c)に示す2次元ドレープ像について、スムーズシェーディング法による3次元CG計算を行い、3次元ドレープ像の予測・表示を行った。図3(b), (d)はZ軸に対して45°, 90°方向より眺めた3次元ドレープ像をグラフィック表示した結果を示す。図3(b), (d)において3次元ドレープ像の表示色は $R=210$, $G=100$, $B=0$ 、高さ補正係数 $k=5$ である。なお、図3において(a), (c)図はZ軸に対して45°, 90°方向より実際に測定した3次元ドレープ像である。

図3(b), (d)に示されるように、中心部分から周辺部分へ向かうにつれてドレープ像の傾斜が急激に大きくなる傾向がみられる。この傾向はドレープ像凸部の最先端部分において特に顕著にみられる。この原因は、図2(d)に示されるようにドレープ像凸部・凹部周辺(疑似カラー表現でマゼンタ、赤色および

青色領域)の輝度等高線幅が実際のドレープ像より密になっているので、地図の等高線と同じ原理でその傾斜が急になると考えられる。

それゆえ、高さのデータ(Z)を決定する際、その高さ補正係数 k ($=ky=ka=kg=km=kr=kb$)を全輝度一定にするのではなく、凸部、凹部周辺を表現するマゼンタ、赤色および青色輝度領域の高さ補正係数 km , kr および kb については他の輝度領域より小さい係数を与える必要がある。

そこで、等高線幅が疎である領域(疑似カラー表現で黄色、シアンおよび緑色領域)、密である領域(マゼンタ、赤色および青色)において、輝度(変数 Y)と画素位置(変数 X)との対応関係を検討するために、両変量について回帰分析を行った。そして、等高線幅の疎領域及び密領域において両変量間の相関が高い($r=0.93$)ことを確認するとともに、各々の領域における回帰式の傾きを求めた。

(a)

(b)

(c)

(d)

Fig. 3 Comparison between measured drape images and predicted images. Figs. (a) and (c) show the measured images and Figs. (b) and (d) show the predicted images. Figs. (a) and (b) show the images seen from the oblique angle (45°) to the Z axis and Figs. (c) and (d) show the images seen from the 90° angle.

その結果、密領域の傾きは疎領域の傾きの約5.3倍であった。即ち、輝度が1階調増加すると疎領域では1画素分、密領域では5画素分高さが増加していた。よって、疎領域では $ky=ka=kg=5$ 、密領域では $km=kr=kb=1$ と設定した。

これらの補正値を用いて、図2(c)について3次元CG処理を再度行った結果を図4に示す。

図4に示されるように、予測3次元ドレープ像は実測3次元ドレープ像と比較的良好一致がみられた。これらの予測3次元ドレープ像を用いて、パネルがドレープ性評価を行った結果については次報で報告する。

(a)

(b)

Fig. 4 The drape images predicted by using the revised values k_m , k_r and k_b . Fig. (a) shows the image seen at the oblique angle (45°) and Fig. (b) shows the image seen from the 90° angle.

4. 結 言

コンピュータ画像処理および3次元CG手法を用いて、簡易に織物の3次元ドレープ像を予測できるシステムの試作を行った。そして、この試作システムを用いて、パネルが任意の視点から眺めた3次元ドレープ像を予測し、実測3次元ドレープ像との比較検討を行った。その結果、次のようなことが明らかになった。

画像処理した2次元ドレープ像についてスムーズシェーディング法を用いて3次元CG計算した場合、3次元ドレープ像の凸部・凹部周辺においてドレープ傾斜角度が急激に大きくなる傾向がみられた。そこで、2次元ドレープ像の輝度値よりドレープ高さを計算する場合、全輝度に対して同一高さ補正係数を用いるのではなく周辺部の高さ補正係数を中心部の係数より小さく設定した。そして、これらの高さ補正係数を用いて、Z軸に対して 45° 、 90° 方向より眺めた3次元ドレープ像を予測した結果、予測3次元ドレープ像と実測3次元ドレープ像間には比較的良好一致がみられた。

なお、本研究の一部は第39回日本繊維機械学会年次大会で発表を行った。

文 献

- 1) C. C. Chu, M. M. Platt and W. J. Hamburger; Text. Res. J., 30, 30, 66 (1960)
- 2) J. W. S. Hearle, P. Grosberg and S. Backer; Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics, 1, Wiley-Interscience (1969)
- 3) 須田, 大平; 織消誌, 13, 475 (1972)
- 4) 須田, 大平; 織消誌, 14, 122 (1973)
- 5) 須田, 大平; 織消誌, 16, 128, 299 (1975)
- 6) 棚辺, 赤松, 丹羽, 古里; 織消誌, 16, 116 (1975)
- 7) 須田, 守屋, 郡, 大平; 織消誌, 19, 154 (1978)
- 8) 須田, 大平; 織消誌, 14, 122 (1973)
- 9) 岩崎, 田中; 織消誌, 26, P 739 (1973)
- 10) 北田, 山名, 青木; 織消誌, 3, 144 (1962)
- 11) 内山, 浅井, 重野; 織消誌, 15, 170 (1974)
- 12) 守川; PC-9801, 3次元グラフィックス入門, アスキー出版局 (1986)
- 13) 伊藤, 伊東; 3Dスーパーグラフィックス, 秀和システムトレーディング(株) (1985)
- 14) 手塚, 北橋, 小川; “デジタル画像処理工学”, 日刊工業新聞 (1985)