

3DCG 手法を用いた 2 次元画像中のテクスチャ特徴の 視距離依存性評価

尾崎敬二†

国際基督教大学 アーツ・サイエンス学科†

1. はじめに

ディスプレイ上でジャカード絹織物の織り上がりをシミュレーションする際の織物表面のテクスチャ特徴を表現する手法を検討してきた。高解像度スキャナーにより織物表面をデジタル化した画像を適切に縮小することで、実際の織り上がった織物に近いテクスチャ特徴をディスプレイ上に示すことができる。812 種類の基本単位となる織り色組織の微小スキャナー画像をパレットのようにテーブルとして作成し、カラー原画像の画素の色に近い画像を対応させて配置し、タイル合成画像を生成した。しかし、タイル合成した画像を縮小する場合に生じるエイリアシング (モアレ干渉模様) の抑制は、通常の 2 次元の画像縮小の方法では困難であった。視距離に依存するテクスチャの見えを反映させる画像表示の工夫が要求される。このためには 3DCG でアンチエイリアシングとして組み込まれている Mipmap 手法が有効であることから、立方体の一面に 2D 画像をテクスチャマッピングして、透視図法による投影画像を表示する方法を用いることで、モアレ抑制が十分行われるタイル合成画像の縮小表示を実現できた。テクスチャ特徴の視距離変化による見えの違いを検討し、この手法の有効性を示した報告である。

2. テクスチャ特徴を示すタイル画像生成

812 種類の色再現を可能とする織り色組織の基本単位のサイズは、幅 0.56mm、高さ 1.68mm であって、よこ 4 本ずつの糸で構成される。ディスプレイ上の表示で、1 画素に糸 1 本を対応させることで、ディスプレイ表面からの視距離 50cm で、テクスチャ特徴を十分識別できると見積った。テクスチャ特徴が見えるには 4[cycles] の空間周波数で良いとみなし、織り色組織基本単位のスキャナ画像の横幅は 4x4 の 16 画素とし、たて糸とよこ糸の太さの比が 1:3 であるので、縦方向はその 3 倍の 48 画素となる微小画像を切り出した。切り

出す際には、微小画像の平均化した色情報が、測色計による測定値に最も近い範囲を選択し、織り色組織テーブルのレコードとした。テクスチャ特徴が見えるためのスキャナー解像度の設定には、式(1)を用いた。織物表面の織り組織を観察する視距離を $L=30[\text{cm}]$ 程度、人間の目の限界空間周波数 $f=40[\text{cycles/deg}]$ としたときの画像解像度 $r[\text{dpi}]$ は、約 390[dpi] であるので、サンプリング定理から、この 2 倍の 800[dpi] で織物表面をスキャンし、デジタル画像化した。

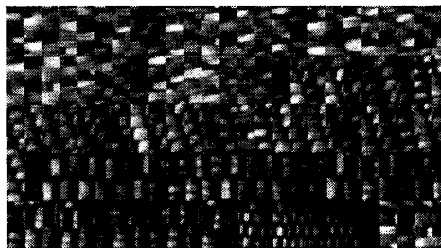


図 1 織り色組織の高解像度スキャナー画像から作成した織り色選択用のパレット
 $f = rL / 2910 \cdots (1)$

図 1 にこうして作成した基本単位となる織り色組織の微小画像を集めたテーブルの一部を示す。織り組織の違いによるテクスチャ特徴が見える。原カラー画像の 1 画素ごとに、織り色組織の基本単位のスキャナ画像をタイル状に配置して生成した合成画像の大きさは、原カラー画像の水平方向に 16 倍、垂直方向に 48 倍のサイズとなる。ただし、タイル状に配置する前に原カラー画像の垂直方向を 1/3 に圧縮した原カラー画像にしておく必要がある。ディスプレイの解像度が 100dpi でスキャナー画像の解像度が 800dpi の場合に、ディスプレイ上に原寸で表示するにはタイル合成画像を 1/8 に縮小すれば良い。

3. 3DCG テクスチャマッピング

3D 透視図法を用いて対象となる立方体の一面を 2D 平面に投影する概要を図 2 に示す。クリップ前面が投影面で、その面に垂直な手前方向が +z 軸の向きとする。視点の z 座標を Z_v 、立方体が置かれている z 座標を Z_o 、視点とクリップ前面の距離を n 、視点とクリップ後面の距離を f 、深度(奥

Estimation of viewing distance dependence of textural features in two dimensional images by adopting 3DCG method.

† International Christian University, Arts&Science

行き度) を d とするとき、式(2)の関係になる。

$$Z_e + Z_c = \frac{fn}{d(f-n) - f} \dots \dots (2)$$

人間の目の視覚空間周波数特性から、限界空間周波数を超えた位置の画像は、テクスチャ特徴は見えなくなり、単一の色の面として知覚される。この視距離に依存する見え方の変化を表示画像の

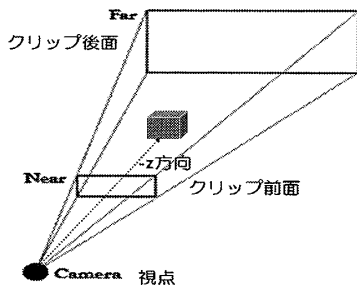


図2 透視図法における対象立方体, 深度 d , 手前距離 n , 奥距離 f の関係

解像度変化で表現する有効な手法として Mipmap が、グラフィックカードには組み込まれている。さまざまな解像度の画像を元画像から階層的に生成されるので、3DCG の奥行き感を効果的に表現できている。特に、遠くの物体と、近くの物体の表示解像度が調整されるので、エイリアシングを抑制することができる。この Mipmap によるアンチエイリアシングの活用により、モアレを抑制した 2D 画像の縮小を実現した。図3にモアレが効果的に抑制されている画像と、モアレが目立つ画像を対比して示す。図3では、タイル合成画像の一部を

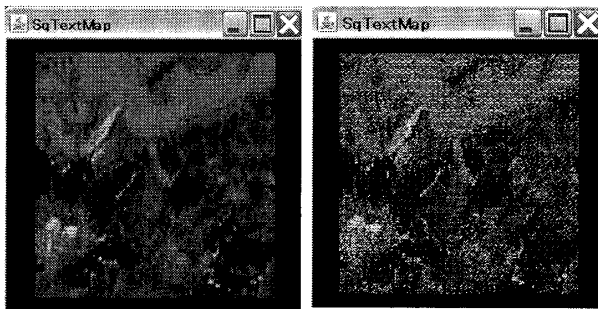


図3 左: エイリアシングが抑制されている縮小画像 右: エイリアシングが目立つ画像

ディスプレイ上で 1/10 としたものである。縮小倍率を 1/2 から 1/20 近くまで変化させ、ほとんど、モアレを生じることなくディスプレイ上で表示できた。この 2D 画像縮小の操作は、キーボード上のキー操作としているが、連続可変の縮小操作には、マウスのホイールや、他の手段の方がインターフェースとしては適していると思われる。

4. テクスチャ特徴の 2 次統計量による評価

画像のテクスチャ度を示す指標は、多くあるが、画像全体の領域にわたる特徴を把握するうえ

で、2 次統計量が有効といわれている。その中で、非類似度 (semi-variance) に着目し、テク

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1, N} (z_i - z_{i+h})^2 \dots \dots (3)$$

スチャ度を検討してみた。非類似度の定義式は式(3)に示す。 $\gamma(h)$ が非類似度、 N は 2 点を選ぶ組の数、 h は 2 点間の距離、 z はその位置における画素の明度とする。非類似度を縦軸に、水平軸に組とするデータ間の距離 h を取り、プロットしたバリオグラム属性の中で、レンジとシルが重要であり、レンジは対象物の粗さ、シルは画像全体のテクスチャ度と関連している。シルは、 h が大きくなってグラフが水平に達するときの非類似度 $\gamma(h)$ の値であり、レンジは $\gamma(h)$ が水平に達するときの h の値である。ジャカード織機による絹織物を織り上げる上で、人的、時間的、材料コストは非常に高いため、織り上がり状況をディスプレイ上に再現する「織り上がりシミュレーション」は不可欠である。織り上げた実物織物とテクスチャ特徴を示すタイル合成画像とのテクスチャ度の比較を定量的に行うために、非類似度プロットのバリオグラムの比較を行った。図4が、比較対象画像で、左が実物織物をスキャンした画像、右が、タイル合成画像である。そのバリオグラムの比較を図5に示す。シルの値の違いが良く現れている。

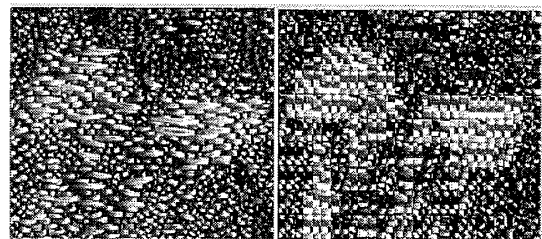


図4 実織物表面のスキャナー画像(左)と、タイル合成画像 (右)のテクスチャ特徴比較

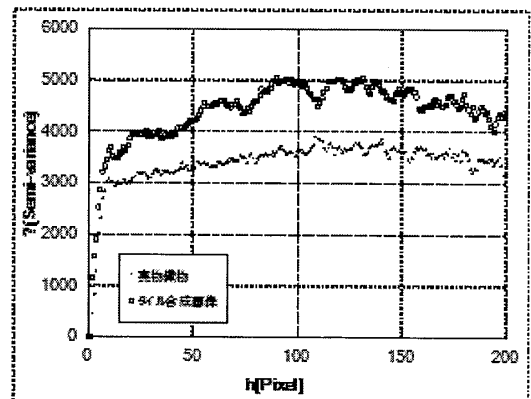


図5 実織物とタイル合成画像のバリオグラムによるテクスチャ特徴比較