

Catmull-Clark 細分割曲面を利用した自動車ボディの主成分分析

日大生産工 (院) ○竹内 太一 日大生産工 吉田 典正

1. はじめに

近年、車の形状の情報は3次元 CAD データとして扱われることが一般的となった。しかし、初心者のデザイナーにとって新たな形状を思いつくことは困難であり、なんらかの指針があることが好ましい。そこで、本研究では車のボディの頂点座標に対して主成分分析を行い、スポーツカーらしさやコンパクトカーらしさなどといった成分を自動車ボディ形状から抽出することを試みる。これにより、各時代の自動車ボディ形状の傾向、自動車メーカーごとの傾向など様々な性質が抽出されることが期待される。

3次元のポリゴンメッシュに対して主成分分析を行った研究として[1][2]があるが、本研究では Catmull-Clark 細分割曲面の頂点に対して主成分分析を行う。これによって、より少ないデータでの主成分分析が可能となる。

2. 主成分分析

主成分分析[3]は、多数の多次元データを解析することにより意味のある量を引き出す計算手法である。この「意味のある量」をそのデータの特徴と捉え、ベクトルとして扱う。そして、ベクトルを各データの平均値に付加することにより、特徴を表現する。

3. 基本車体形状

主成分分析では、分析の対象となる個体の頂点数と次元が同じでなければならない。そ

こで、車のボディを表現しやすいフォーマットポリゴンモデルを作成した。セダンやコンパクトカーなど異なった形状の車種であっても、頂点を車体形状に対応させることによって多くの車種を表現可能である。

また、モデルは3DCGモデリングソフト Metasequoia 使用し、実在する車体をモデルとしている。出力ファイルは obj 形式。フォーマットポリゴンを図1に示す。

フォーマットの総頂点数 364 点、ボディ頂点数 236 点、タイヤ総頂点数 128 点、総面数 354 面、ボディ面数 234 面、タイヤ総面数 120 面。

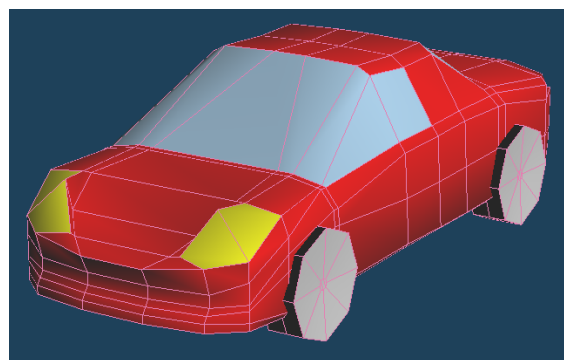


図 1 フォーマットポリゴンモデル

4. Catmull-Clark 細分割曲面

自動車ボディ形状には、曲線曲面が多用されている。しかし、主成分分析では $n \times n$ ($n = \text{頂点数} \times \text{次元}$) の行列計算を必要とするため、多くの頂点数を扱うこと計算量が膨大になってしまう。そこで Catmull-Clark 細

分割曲面の制御点に対する主成分分析を行うことにより、行列をより小さなものとすることが可能になる。

Catmull-Clark 細分割曲面はメッシュを滑らかに細分化するアルゴリズムである。この手法を用いることにより細分割した滑らかな車らしい曲面を生成することができる。

Catmull-Clark 細分割では、少ないポリゴン数の粗いメッシュからよりポリゴン数が多く滑らかなメッシュを作り出すことが可能である。そのため、大量のデータを扱うことなく高解像度のモデルを扱う事が可能である。図2に、立方体を細分割した様子を示す。

細分割されていない基本図形の頂点を計算に使用し、描画は細分割された滑らかな曲面を使用する。

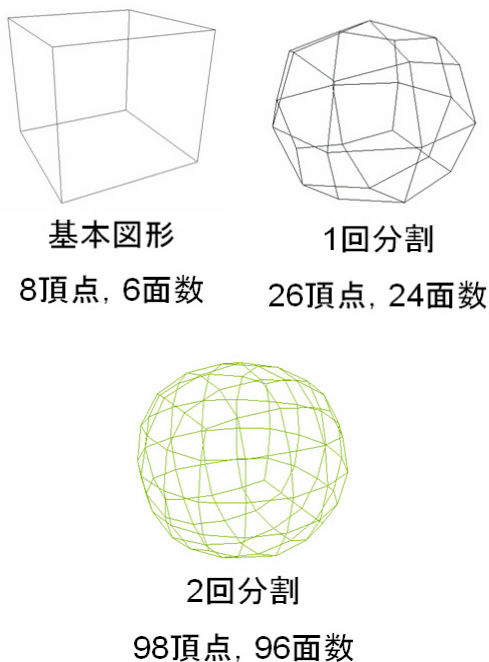


図2 Catmull-Clark 細分割

5. 車体形状に対する主成分分析

本研究では、すべての車の細分割曲面の頂点数が236になるように作成する。左右の対称性を考慮し、半分の頂点のみを対象とする。従って、 $n = 118$ 個の頂点を処理の対象とする。

ある車体形状 i ($0 \leq i < B$, B は用意した車体の種類の数) のすべての頂点を

$$\mathbf{x}_i = [x_0, y_0, z_0, \dots, x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1}]$$

で表す。 \mathbf{x}_i は、354次元のベクトルである。

すべての車体形状の集団は $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_0, \dots, \mathbf{x}_{B-1}]$

で表すことができる。この \mathbf{X} に対し主成分分析を行う。

すべての車の平均ベクトル $\bar{\mathbf{x}}$ を

$$\bar{\mathbf{x}} = \left(\sum_{i=0}^{B-1} \mathbf{x}_i \right) / B$$

としたとき、分散共分散行列 \mathbf{V} (354×354 行列) は、

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} (\mathbf{x}_0 - \bar{\mathbf{x}})(\mathbf{x}_0 - \bar{\mathbf{x}}) / B & \dots & (\mathbf{x}_0 - \bar{\mathbf{x}})(\mathbf{x}_{B-1} - \bar{\mathbf{x}}) / B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mathbf{x}_{B-1} - \bar{\mathbf{x}})(\mathbf{x}_0 - \bar{\mathbf{x}}) / B & \dots & (\mathbf{x}_{B-1} - \bar{\mathbf{x}})(\mathbf{x}_{B-1} - \bar{\mathbf{x}}) / B \end{bmatrix} \text{ とな$$

る。行列 \mathbf{V} に対して、固有値解析を行う。固有値解析は GNU GSL を利用した。固有ベクトル

を $\mathbf{U}_j = [x_0, y_0, z_0, \dots, x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1}]$

($0 \leq j < 354$) としたとき、この主成分分析に基づく、任意の車の形状は、任意のスケール

値 α_k ($0 \leq k < 354$) を用いて

$$\mathbf{x}' = \bar{\mathbf{x}} + \sum_{k \in \{0, 353\}} \alpha_k ((\mathbf{x}_k - \bar{\mathbf{x}}) \cdot \mathbf{U}_k) \mathbf{U}_k$$

で表すことができる。

元の車 \mathbf{x} は

$$\mathbf{x} = \bar{\mathbf{x}} + \sum_{k \in \{0, 353\}} ((\mathbf{x}_k - \bar{\mathbf{x}}) \cdot \mathbf{U}_k) \mathbf{U}_k$$

となる。

6. システムの概要

本システムでは、車体形状をスポーツタイプ3種、コンパクトタイプ1種の計4種で車体形状の合成を行う。図3において、(a)はスポーツタイプ1、(b)はスポーツタイプ2、(c)

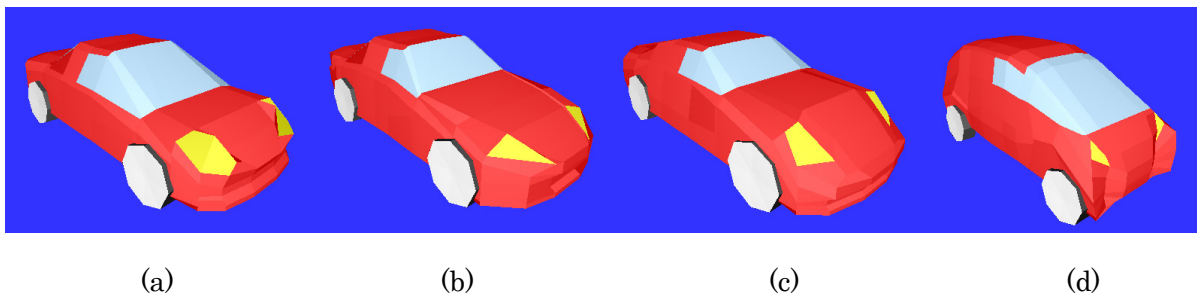


図 3 車体形状 4 種

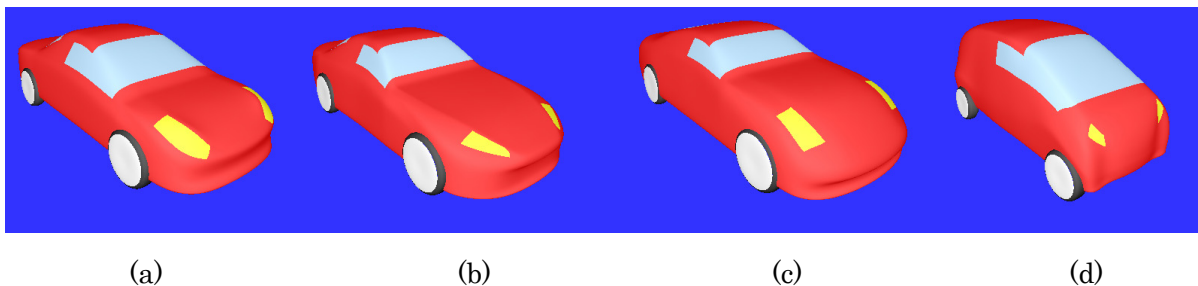


図 4 図 3 の車体形状を 3 回細分割

はスポーツタイプ 3, (d) はコンパクトタイプである。図 4(a)-(d) は、図 3(a)-(d) をそれぞれ 3 回細分割したものである。

4 種の平均形状 (図 5) に任意の種類の特徴を付加することにより、形状を変化させる。使用する固有ベクトルは任意に範囲を指定できるようになっている。

また、車体形状の状態に関係なくポリゴンを n 回細分割化することが可能である。

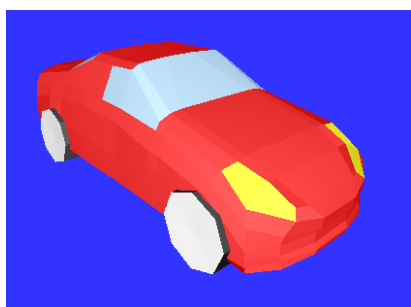


図 5 平均形状

7. 実行結果

プログラムは WindowsXP 上で Visual C++ 及び OpenGL を用いて作成した。

平均形状にスポーツタイプ 1 の第 1～第 5 主成分をそれぞれ付加した結果を図 6(a)～

(e) に、第 1～第 5 主成分までを付加した結果を図 6(f) に、図 6(f) を 3 回細分割した結果を図 6(g) に示す。

次に、平均形状にスポーツタイプ 3 の第 1～第 5 主成分をそれぞれ付加した結果を図 7(a)～(e) に、第 1～第 5 主成分までを付加した結果を図 7(f) に、図 7(f) を 3 回細分割した結果を図 7(g) に示す。

8. まとめと今後の展望

Catmull-Clark 細分割曲面の制御点に対し主成分分析を行い、少ないデータ量で固有値・固有ベクトルを算出した。その固有ベクトルを車体形状に付加することで形状を変化させた。

今後の展望として、結果をさらに解析すること、車体の種類を増やすこと、形状をよりリアルにみせるためにテクスチャマッピングを取り入れるなどが考えられる。

参考文献

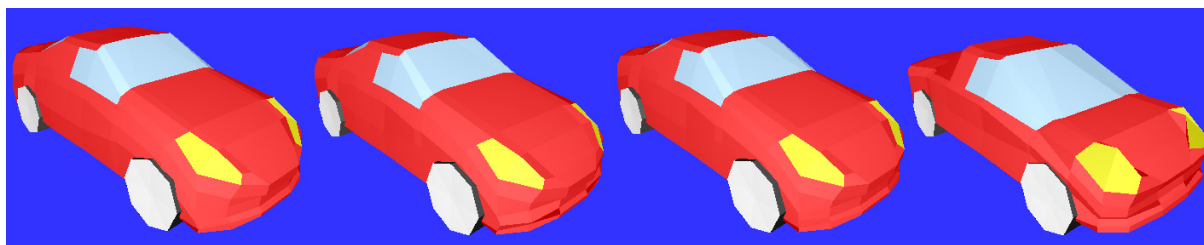
- [1] B Allen, B Curless, Z Popovic: The space of human body shapes: reconstruction of human body shapes: reconstruction

and parameterization from range scans,
SIGGRAPH, pp. 587-594, 2003.

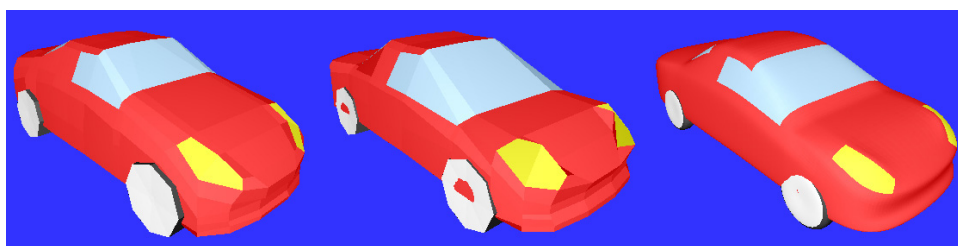
- [2] 関根佑介, 前島謙宣, 杉崎英嗣, 森嶋繁生: 車体形状の定量表現によるカーデザインツールの構築, Visual Computing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウ

ム, pp. 147-152, 2006.

- [3] 金谷健一, これなら分かる応用数学教室-最小二乗法からウェーブレットまで-, 共立出版, 2003.

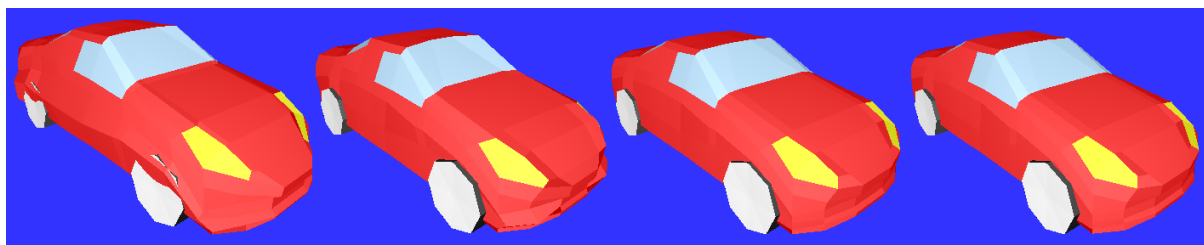


(a) 第 1 主成分 (b) 第 2 主成分 (c) 第 3 主成分 (d) 第 4 主成分



(e) 第 5 主成分 (f) 第 1 ~ 第 5 主成分まで (g) (f) を 3 回細分割

図 6 実行結果 1



(a) 第 1 主成分 (b) 第 2 主成分 (c) 第 3 主成分 (d) 第 4 主成分



(e) 第 5 主成分 (f) 第 1 ~ 第 5 主成分まで (g) (f) を 3 回細分割

図 7 実行結果 2