

三次元メッシュモデルの特徴を残したフィルタリング

田中 稔彦[†] 大淵 竜太郎[‡]

山梨大学大学院工学研究科[†] 山梨大学工学部コンピュータ・メディア工学科[‡]

1 はじめに

近年、インターネット上のコンテンツや 3D ゲーム等で、三次元モデルを利用する機会が増している。またコンシューマ用 PC の高性能化により、一般のユーザが三次元モデルを作成、編集する機会が増えるかもしれない。このようなことから、三次元モデルの作成、編集機能の需要が高まると予想される。

現在、二次元画像を作成、編集する機能は広く使用されている。画像を編集する手法の一つに、画像をフィルタリングし、多種の効果を得る手法が存在する。この手法は、画像のぼかし、ノイズ低減等に使用され、市販の二次元画像処理ソフトなどでも使用されている。

三次元メッシュモデルを作成する手法の一つに、実在の物体をレンジスキャナ等でスキャンし、実在の物体上に点群を作成してから、接続性を作成する方法が存在する。しかし、この手法で作成したメッシュモデルには、実際の物体には存在しない凹凸（ノイズ）が存在したり、一部分に目立つ凹凸が存在したりすることが多い。これは、物体をスキャンしたときに、得た点群の座標に誤差が存在する可能性があるためである。そのため、この凹凸をノイズとし、ノイズ低減手法の必要性が生まれてきている。

ノイズ低減に使用される過去のフィルタ手法は、メッシュ全体に対して同じ性能のフィルタを適用するものが一般的である。これらの手法を適用した場合、メッシュ上のノイズを取り除くが、メッシュの特徴的な部分（メッシュの角ばった部分等）が丸まってしまう欠点が存在した。三次元メッシュに対し、適応的なフィルタを適用する手法は、Ohtake らの手法[1]が存在するが、メッシュの特徴部分とそれ以外の部分で

フィルタを切り替えるような手法は筆者の知る限り提案されていない。

本論文では、三次元ポリゴンメッシュに対し、メッシュの特徴的な部分を残しつつ、ノイズ低減等の効果を得ることのできるフィルタを提案する。その方法として、メッシュの特徴的な部分、滑らかな部分、ノイズの部分に分け、それぞれに異なるフィルタを適用することによって、メッシュの特徴を残しつつノイズを取り除くことを提案する。

1.1 既存の手法

三次元メッシュモデルに対する既存のフィルタ手法を紹介する。Taubin らの平滑化手法[2]は、三次元メッシュ上のある頂点について、ある頂点とその頂点に接続する頂点のベクトルを平均することによって頂点の変化量を求めた。

二次元画像に使用されているフィルタを三次元メッシュモデルに適用する手法も存在する。Yagou らは、三次元メッシュモデルに対して、Mean フィルタと Median フィルタを適用する手法を提案した[3]。この手法は、三次元メッシュの面同士の角度から頂点の移動量を決定した。

Ohtake らは、三次元メッシュモデルに対して適応的な Gaussian フィルタを適用する手法を提案した[1]。この手法は、三次元メッシュモデルに Gaussian フィルタを適用し、強く反応したフィルタを適用した。また、この他にも多種のフィルタが提案されているが、詳細は Taubin のチュートリアル[4]を参照とする。

2 本手法によるフィルタ

本手法のフィルタは、メッシュ面の分類、フィルタリングの 2 工程に分かれる。

2.1 面の統計的な分類

本手法では、面の統計的な分類を行う。まず、三次元メッシュの面ごとに、その面に隣接する面から滑らかさを判定する。滑らかさの判断方法として、メッシュ面の法線と、その面に隣接する面の法線がなす角度を計算し、角度のヒス

A feature-preserving filter for 3D meshes

[†]Toshihiko Tanaka, [‡]Ryutarou Ohbuchi

[†]Graduate School of Engineering, University of Yamanashi

[‡]Department of Computer Science and Media Engineering, University of Yamanashi

トグラムを作成し，その標準偏差 $SDev$ を(1)式より求める．

$$(x_1, \dots, x_j) = \{\angle \mathbf{n}(S_i) \mathbf{n}(F_1), \dots, \angle \mathbf{n}(S_i) \mathbf{n}(F_j)\}$$

$$SDev(S_i) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (x_j - \bar{x})^2} \quad (1)$$

S_i : メッシュのある面, F_j : S_i に隣接している面
 x : 面 S_i と隣接する面 F_j の法線がなす角度

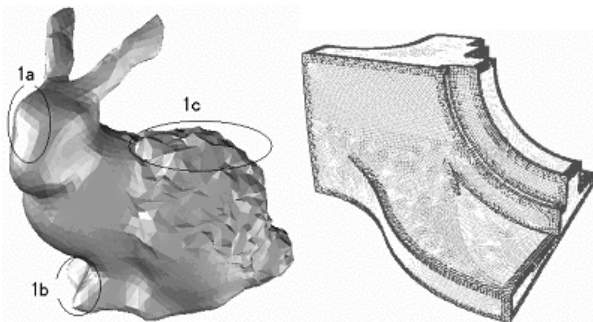
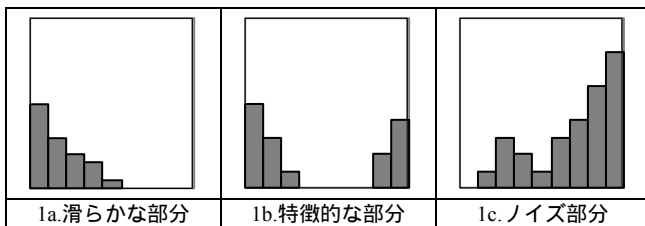


図 1. モデル

図 2. 角度の偏差



グラフ 1. 図 1 モデルのある面のヒストグラム

グラフ 1 は，図 1 のモデルのある面の法線と，その面に隣接している面の法線がなす角度のヒストグラムである．ヒストグラムの横軸は法線同士のなす角度の大きさ（原点が 0，1 区間は 10 度）であり，縦軸はその角度の区間に含まれる要素数である．ヒストグラムから，滑らかな部分は面同士のなす角度が小さい要素が多く存在する．特徴的な部分は角度が小さい要素，大きい要素がともに存在する．ノイズの部分は角度が小さい要素がほとんど存在しない．また，図 2 のモデルで色の濃い部分は，法線がなす角度の偏差が大きい．角度の標準偏差が大きい部分は，特徴的な部分かノイズ部分である．これにより，ヒストグラムによる面の統計的な分類を行うことが可能であるといえる．

また，ある面と，その面に隣接している面の位相距離を 2 以上にすると，ヒストグラムの特徴が顕著になる．図 3 は，ある面から位相距離 2 の範囲にある面（内側）と位相距離 5 の範囲にある面（外側）を囲んだものである．また，位相距離 2 で偏差が大きい部分と，位相距離 5 で偏差が大きい部分を図示したものを図 4a，4b に示す．面の位相距離 2 では，偏差が大きい部分は少ない

が，位相距離 5 ではかなりの部分の偏差が大きくなっている．これは，位相距離が大きくなるほど，面の角度変化に敏感になっていることを示している．また，標準偏差の閾値を変えることで，細かいノイズを捕らえることもできる．しかし，閾値を小さくすると，ノイズではない部分もノイズとして捉えてしまう場合もある．実験から，本論文では標準偏差の閾値を 20 度から 30 度とする．

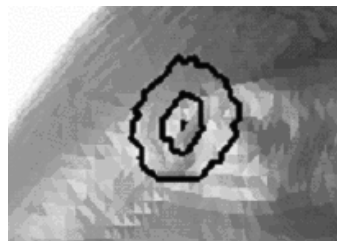


図 3, ある面と，位相距離 2, 5 にある面

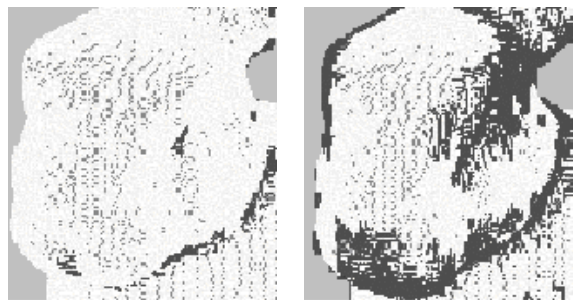


図 4a. 位相距離 2

図 4b. 位相距離 5

この結果を利用し，メッシュの面を，周りにノイズが存在する面，周りが滑らかな面，ノイズはないが角度に急激な変化が存在する部分の分類を行う．

2.2 統計的な分類を用いたフィルタ

2.1 節で面を分類した結果をもとに，本論文では二種類のフィルタを提案する．

一つ目は，分類した面ごとに重みを決定する．本論文では，特徴的な部分はフィルタの影響を受けないよう重みの値を小さくし，ノイズ部分は影響を大きくするよう，重みの値を大きくする．あるメッシュの面を S としたとき，

$$\mathbf{m}(S) = \frac{\sum \mathbf{n}(F_i)}{\left\| \sum \mathbf{n}(F_i) \right\|} \quad (2)$$

$\mathbf{n}(F_i)$ は面 S に隣接している面の法線である．式(2)で求めた \mathbf{m} を式(3)に適用する．

$$P_{new} = P + \frac{1}{\sum w(S)A(S)} \sum w(S)A(S)\mathbf{v}(S) \quad (3)$$

$$\mathbf{v}(S) = \left[\overline{PC} \cdot \mathbf{m}(S) \right] \mathbf{m}(S)$$

式(3)は Yagou らの Mean フィルタに対して重みを加えたものである。

二つ目の手法として、分類した面ごとにフィルタを切り替える。たとえば強いノイズに対してはノイズに強いフィルタを適用し、特徴的な部分は影響が小さいフィルタを適用する、というように切り替える。本論文では、強いノイズ部分は Taubin のフィルタ、滑らかな部分は Mean フィルタ、特徴的な部分はフィルタをかけない、といった処理の実験を行う。

Taubin のフィルタは、三次元メッシュのある頂点を P 、頂点 P に隣接する i 番目の頂点を Q_i とし、新たな頂点の座標 P_{new} を式(4)で求める。

$$P_{new} = P + \lambda \mathbf{D}(P)$$

$$\mathbf{D}(P) = \frac{1}{n} \sum_{i \in N_i(P)} (Q_i - P) \quad (4)$$

このとき、 λ は一ステップあたりに動かす頂点の移動量を決める値であり、 n は頂点 P に接続する頂点の数である。

3 フィルタ適用結果

提案したフィルタを適用した結果を示す。図 3 は、ノイズの加わったモデル fandisk に対して、本手法のフィルタ、Taubin フィルタ、Mean フィルタ、Median フィルタを適用したモデルの見た目を比較した。本手法によるフィルタ(1)は、重みを部分ごとに変えたフィルタであり、フィルタ(2)は、部分によって適用するフィルタを変えたものである。それぞれ同じフィルタを 5 回適用した。また、統計的な分類を行った際の面同士の位相距離を 2 とし、ヒストグラムの標準偏差が 30 度以上の場合に偏差が大きいと判断した。

図 5 は、モデル fandisk に対してフィルタをかけた場合である。同じ回数フィルタをかけた場合、本手法のほうが角の部分を残しつつノイズを低減できていると思われる。ただ、メッシュの特徴的な部分とそうでない部分とのつながりに多少の違和感が見える。本手法同士では、見ただけでわずかに(2)のフィルタのほうが角のある部分を残すが、つながりが多少目立つ結果になっている。

また、図 6 では、モデル bunny にノイズを加えたモデルに対し、本手法のフィルタを適用した。本手法のフィルタ(1)、(2)は、ノイズをかけた部分とそうでない部分で多少異なる程度で、他はあまり変化しない。Taubin フィルタはノイズ部分がよく取れるが特徴的な部分が丸くなってしまふ。Mean フィルタも Taubin と同じような特徴

が出て、Median フィルタはノイズが少し残るような結果になる。

4 まとめと今後の課題

本論文は、メッシュの特徴部分を残しつつノイズを低減するフィルタを提案した。メッシュ面の統計的分類を行い、その分類ごとに重みやフィルタを切り替えることにより、特徴を残しつつノイズを取り除くフィルタを実装した。本手法のフィルタは、メッシュ面が急激に変化するモデルは、その特徴を残すようにしつつノイズを取り除くことができた。また本フィルタは、幾何形状のようなモデルに対してノイズが加わったときは、その特徴を残しつつフィルタをかけることができた。

今後の課題として、まず、特徴的な部分に接している面と接していない面が隣接していたとき、本手法では面同士のつながりが目立ってしまう。この欠点を解消するためには、特徴的な部分に接している面と、その面に接している面の頂点同士の移動量をフィットさせることが必要である。これは、面の分類ごとに境界部分を判定し、境界部分すべてに適用する必要がある。

また、視覚的な判断でなく、何か定量的なメッシュの距離計算による判定も必要ではないかと考える。ただ、距離計算の結果と、人間の見た目による判断の差が存在するため、どのようにメッシュ同士の距離を計算するかを考慮する必要がある。

今後は、メッシュの特徴的な部分を細かく分割し、それぞれに対して異なるフィルタを適用させる処理を考えている。

参考文献

- [1] Y. Ohtake, A. Belyaev, H.-P. Seidel, Mesh Smoothing by Adaptive and Anisotropic Gaussian Filter Applied to Mesh Normals, Proc. *Vision, Modeling, and Visualization 2002*, pp. 203-210, Erlangen, November 2002.
- [2] G. Taubin, A Signal Processing Approach to Fair Surface Design, Proc. *SIGGRAPH 95*, pp. 351-358, August 1995.
- [3] H. Yagou, Y. Ohtake, A. Belyaev, Mesh Smoothing via Mean and Median Filtering Applied to Face Normals, Proc. *Geometric Modeling and Processing 2002*, pp. 124-131, Tokyo, July 2002.
- [4] G. Taubin, Leif Kobbelt, Geometric Signal Processing on Large Polygonal Meshes, *SIGGRAPH 2001*, Tutorial 17, 2001.

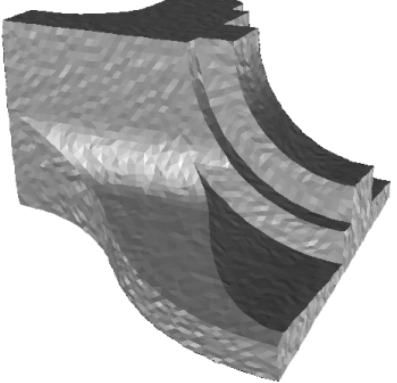
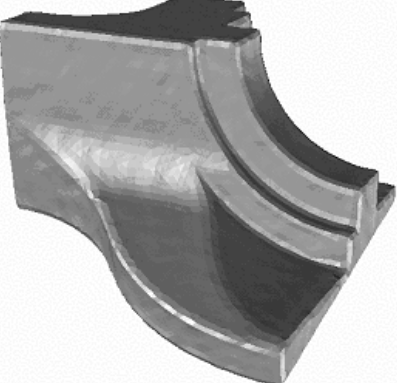
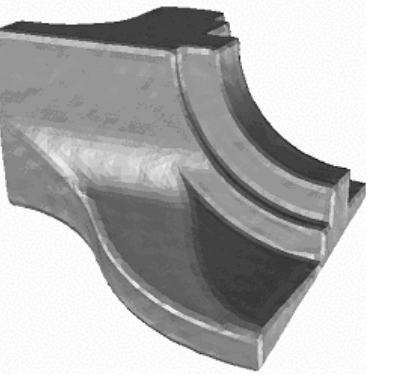
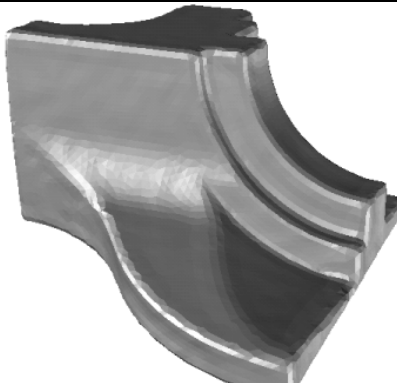
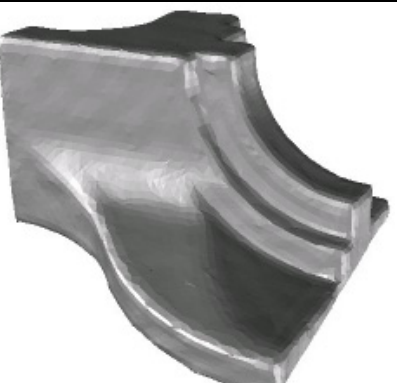
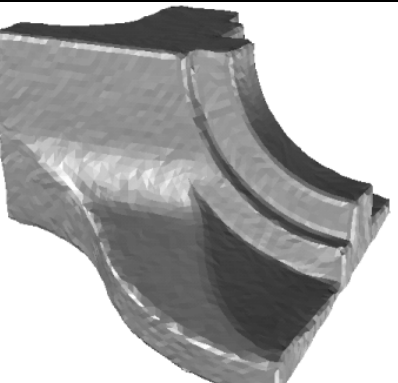
		
フィルタ対象モデル	本手法によるフィルタ(1)	本手法によるフィルタ(2)
		
Taubin フィルタ	Mean フィルタ	Median フィルタ

図 5 . モデル Fandisk に対してフィルタを適応した結果

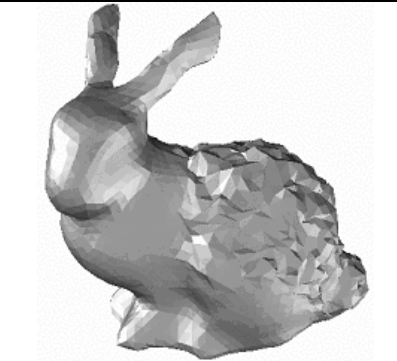
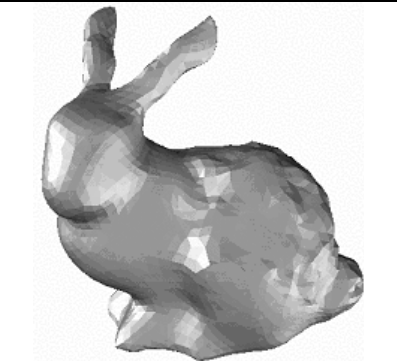
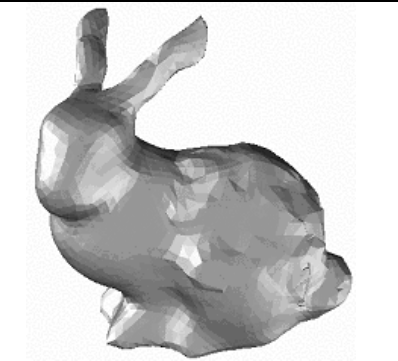
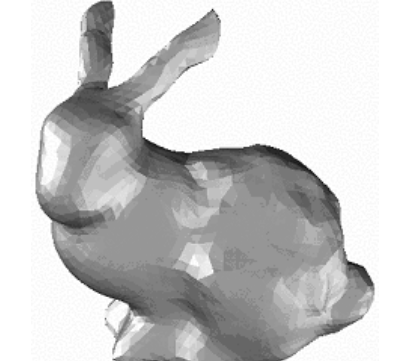
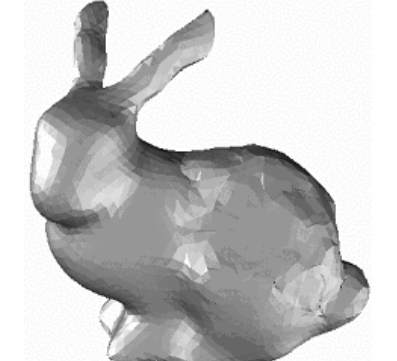
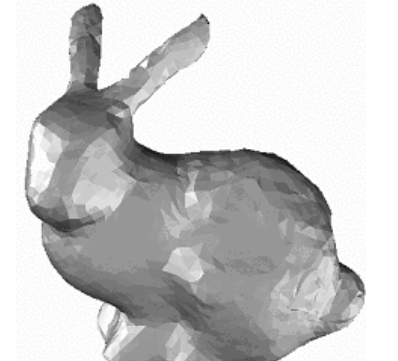
		
フィルタ対象モデル	本手法によるフィルタ(1)	本手法によるフィルタ(2)
		
Taubin フィルタ	Mean フィルタ	Median フィルタ

図 6 . モデル bunny に部分的にノイズを加えたモデルに対してフィルタを適応した結果