

三角パッチ表現向き形状情報量による3次元物体の視点選択

ViewPoint Selecting of 3D Objects via Quantities of Shape Information for Triangle Patches Expressions

大場 聡司[†]
Satoshi Oba

猪飼 武夫[†]
Takeo Ikai

山下 拓哉[‡]
Takuya Yamshita

福永 邦雄[†]
Kunio Fukunaga

1. まえがき

3次元物体を観測する際、観測する視点が増える事で視点で得られる3次元物体の特徴も変化する事から、物体形状を把握する上で物体の特徴を的確に把握できる視点の選択が非常に重要となってくる。視点選択に関する研究としては2次元画像における物体像の可視面の数と可視面の面積比に着目し、Shannon エントロピーに基づき物体像エントロピーを定義した研究 [1] がある。他方、3次元曲面物体のボクセル表現において法線ベクトルの分布を用いて形状把握の度合を示す形状情報量を導入した研究 [2] がある。

本研究では三角パッチ表現された3次元物体に対し、2次元画像では失われる3次元物体の曲率情報に注目する。多面体に拡張曲率を導入し、人間の刺激に対する感覚特性を示したウェーバーフェヒナーの法則に基づいた曲率情報を表す形状情報量を定義している。三角パッチ表現において、平面部分に着目して情報量を定義する平面型と、稜線部分に情報量が存在する拡張曲率に基づくフレーム型の2種類の形状情報量を定義する。次に視点からの可視平面や可視稜線による視点情報量を導入し、その極大値を与える視点が3次元形状をよりよく把握できる視点であるとする視点選択の手法を提案する。

2. 拡張曲率と Weber-Fechner 型情報量

多面体の平面部分の曲率は0であるが、稜線部分には通常の意味での曲率は存在しない。そこで稜線を形成する二つの平面の法線ベクトルのなす角度の半分を拡張曲率 (ψ とする) と呼び ψ の関数である $\cos \psi$ を用いて稜線の鋭さを表す形状情報量を定義する。一般に情報量としては事象の生起確率に基づく Shannon の情報量が用いられるが、本研究で対象とする物体表面の曲率は確率のような数学的性質を持たない。そこで人間の感覚器官の特性を表す刺激と感覚との関係を示した Weber-Fechner の法則に基づく情報量を導入する。

$$R = k \log S/S_0 \quad (k : const) \quad (1)$$

R は感覚量、 S_0 は刺激閾、 S は原刺激強度である。式 (1) を用いて Weber-Fechner 型情報量 I を次のように定義する。

$$I = \log_2 q/q_0 \quad (q \geq q_0 > 0) \quad (2)$$

q は数値的、 q_0 は q の下限値とする。

3. 三角パッチ表現に対する形状情報量

3次元モデルの表現方法は多数存在するが、本研究では滑らかな表面を持つ物体を複雑な多面体として表現で

[†]大阪府立大学大学院 工学研究科, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

[‡]パナソニック MSE 株式会社, Panasonic Mobile and System Engineering Co., Ltd.

きる三角パッチ表現に着目する。三角パッチ表現では物体表面は平面と稜線によって構成されており、これらに着目した形状情報量の定義を考える。

3.1 平面型形状情報量

まず三角パッチ表現 (多面体) の平面部分に着目する情報量を定義する。平面部分の (拡張) 曲率 ψ は 0 となる事から平面部分の情報量が最大となるように平面型情報量として拡張曲率に反比例するような評価基準を考える。すなわち拡張曲率が大きくなる稜線部分の情報量は小さくなる。この評価基準に基づき三角パッチの単位面積 τ 当たりの単位情報量 I_1 を式 (2) において $q = \cos \psi + 1$, $q_0 = 1$ として次式で定義する。

$$I_1 = \log_2 (\cos \psi + 1) \quad (3)$$

式 (3) は平面では拡張曲率 $\psi = 0$ より $I_1 = 1$ となり、平面型形状情報量 I_P は平面の面積 S_P に比例し、次式で表現される。

$$I_P = N_P \cdot I_1 = N_P \quad N_P = S_P/\tau \quad (4)$$

以下、平面型では稜線部分の情報量は 0 とする。

3.2 フレーム型形状情報量

次に多面体のもう一つの構成要素である稜線部分に着目したフレーム型情報量を定義する。この場合、稜線部分が鋭いほど拡張曲率 ψ は大きくなることから $\cos \psi$ に反比例する評価基準が考えられる。そこでこの評価基準に基づき稜線の単位長さ ν 当たりの単位フレーム情報 I_2 を式 (2) において $q = 1/\cos \psi$, $q_0 = 1$ として次式で定義する。

$$I_2 = \log_2 (1/\cos \psi) \quad (5)$$

稜線の長さを L_e とするとフレーム型形状情報量 I_e は次式で表現される。

$$I_e = N_e \cdot I_2 \quad N_e = L_e/\nu \quad (6)$$

フレーム型形状情報量では拡張曲率が 0 の平面部分の情報量が最小となり、曲率の大きな稜線部分の情報量が最大となりその値は稜線の長さに比例する。この事からフレーム型形状情報量はワイヤフレームモデルに適した定義となっている。

4. 視点情報量

任意の視点で観測される可視面、可視稜線から視点が受け取る情報量を求め、これら情報量の総和を視点情報量と定義する。3次元物体を原点に配置した半球上に視点 z を配置する。

4.1 平面型視点情報量

注目する平面の法線ベクトルと視線ベクトルとのなす角度を θ とすると、視線ベクトルと法線ベクトルとが一致する $\theta = 0$ となる時可視面積は最大となり、 θ が大きくなるにつれて可視面積は小さくなる。他方、式 (4) より平面型形状情報量 I_P は $\tau = 1$ とした時に平面の面積と一致する。このことから視点で観測される情報量は可視面積 $I_P \cos \theta$ と等しいと考えられる。そこで任意の視点 \mathbf{z} で観測される可視三角形の集合 $T(\mathbf{z})$ を求め、個々の三角形の平面型形状情報量を $I_P(t), t \in T(\mathbf{z})$ とする。さらに三角形 t の法線ベクトルと視線ベクトルとのなす角度を $\theta(t, \mathbf{z})$ とすると、視点 \mathbf{z} で獲得する平面型視点情報量 $Info_P(\mathbf{z})$ は次式で表現される。

$$Info_P(\mathbf{z}) = \sum_{t \in T(\mathbf{z})} I_P(t) \cos \theta(t, \mathbf{z}) \quad (7)$$

4.2 フレーム型視点情報量

任意の視点 \mathbf{z} から観測される可視稜線の集合を $E(\mathbf{z})$ とし、 $I_e(\mathbf{z})$ を可視稜線さらに $f \in E(\mathbf{z})$ のフレーム型情報量とする。 f の拡張法線ベクトルと視線ベクトルとのなす角度を $\theta(f, \mathbf{z})$ とする。先に文献 [3] においてフレーム型視点情報量を次のように定義した。

$$Info_e(\mathbf{z}) = \sum_{f \in E(\mathbf{z})} K(f) \quad (8)$$

$$K(f) = \begin{cases} I_e(f) \cos \theta(f, \mathbf{z}) & \text{if } \theta(f, \mathbf{z}) < \pi/2 \\ I_e(f) \cos(\theta(f, \mathbf{z}) - \psi(f)) & \text{if } \theta(f, \mathbf{z}) \geq \pi/2 \end{cases}$$

しかし $K(f)$ の値は $\theta(f, \mathbf{z})$ が $\pi/2$ の前後で不連続となる問題点 ($\pi/2$ 問題) があるため、ここでは新たな定義を導くこととする。ただし一般的には可視稜線中には $\pi/2$ 問題を生じる稜線は少ないため式 (8) でも十分に実用可能である。

さて稜線に接する拡張接平面を考えると、式 (8) では $I_e(f)$ を拡張接平面の面積とみなし、 $I_e(f) \cos \theta(f, \mathbf{z})$ を計算するため $\pi/2$ 問題が発生する。そこで拡張接平面から稜線を形成する平面への写像を導入して $\pi/2$ 問題を解消する。平面へ写像された情報量を $J(f)$ とする。 f で交わる平面の法線ベクトルと視線のなす角度を $\Phi(f, \mathbf{z})$ 、 $\Phi'(f, \mathbf{z})$ とし、視点 \mathbf{z} におけるフレーム型視点情報量を次式で定義する。

$$Info_e(\mathbf{z}) = \sum_{f \in E(\mathbf{z})} J(f)(\cos \Phi(f, \mathbf{z}) + \cos \Phi'(f, \mathbf{z})) \quad (9)$$

ただし $J(f) = I_e(f)/2 \cos \psi(f) \quad (10)$

とする。この場合、 $\theta(f, \mathbf{z}) = 0$ の時 $J(f)(\cos \Phi(f, \mathbf{z}) + \cos \Phi'(f, \mathbf{z})) = I_e(f)$ が成立し最大となる。

5. 実験

プリミティブな形状のモデルとして Arrow(三角形:24), Chair(三角形:68), そして複雑な形状のモデルとして Cat(三角形:692), Cow(三角形:5804) に対して実験を行なった。プリミティブなモデルに対する実験結果では、平面型視点情報量とフレーム型視点情報量は共に極値におい

て類似な視点を与え、可視三角形の数が極大および極小となる時、視点情報量もそれぞれ極大および極小となった。また複雑なモデルとして Cat, Cow に対して実験を行なった場合、三角形の密集度が高い顔や脚が最も多く観測される視点が極大として選択され、それらの要素の観測量が少ない視点が極小の候補として選択された。

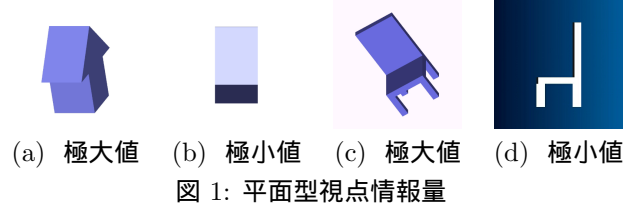


図 1: 平面型視点情報量

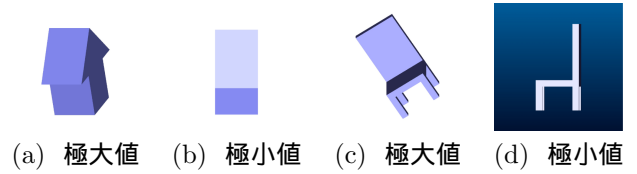
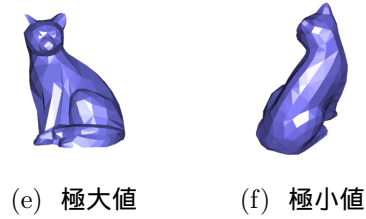
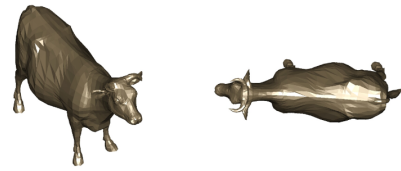


図 2: フレーム型視点情報量



(e) 極大値 (f) 極小値



(e) 極大値 (f) 極小値

図 2: フレーム型視点情報量

6. まとめ

本研究では、三角パッチ表現された物体の平面と稜線部分に着目した 2 種類の形状情報量を定義し、物体の形状特徴をよりよく把握できる視点の候補を決定する手法を提案した。実験により双方の情報量は多くの場合、類似の視点を与えるという結果を得た。しかし形状情報量 (4), (6) は 3 次元モデルの解像度に依存するという問題点が残されている。今後は形状だけではなく物体の色や輝度の情報量の導入などが考えられる。

参考文献

- [1] 佐藤, 加藤 “多面体像の情報量と視方向評価”, 信学論 (D-II), vol. J75-D-II, p.1346, (1992).
- [2] 山下, 青木, 大西, 福永, “形状情報量の分布に基づくシーン,” 信学技報, PRMU2003-190, p.25, (2004).
- [3] 大場, 猪飼, 山下, 福永 “3 次元物体の三角パッチ表現における形状情報量と視点決定” 電子情報通信学会, 総合大会 D-11-18, (2005) .