

3角パッチ表現による3次元物体のコントラスト情報量に基づく 視点および光源位置の選択

加藤 達郎[†] 猪飼 武夫[†] 渡辺 浩司^{††} 青木 茂樹^{†††} 宮本 貴朗^{†††}
福永 邦雄[†]

[†] 大阪府立大学大学院工学研究科

^{††} 福山大学人間文化学部

^{†††} 大阪府立大学総合教育研究機構

E-mail: [†]katou@com.cs.osakafu-u.ac.jp, ^{††}aoki@las.osakafu-u.ac.jp

あらまし 本論文ではまず対象物体の全体的特徴を良く捉える視点選択について述べている。Fechner 則に基づいて Fechner 型情報量を定義し、3次元物体の3角パッチ表現における稜線の長さや鋭さを計量するエッジ型形状情報量と視点からその形状情報量を総和する視点情報量を導入し、その極大値によって代表的視点を与える。本研究では単一光源の照明に対する視点からの可視稜線の両面の明暗差としてコントラスト情報量を定義する。次に視点からのコントラスト情報量を集約する光源視点情報量において、明暗差の中間階調に対応するコントラスト情報量を選択的に総和することによって、照明による対象物体の凹凸形状を適切に捉える視点を得られる。光源視点情報量の極大値がそのような特徴をとらえる視点と光源位置の候補を与える。最後に実験結果と検討を述べている。

キーワード 光源視点選択, Fechner 型情報量, 形状情報量, コントラスト情報量, 3角パッチ表現

Selection of Viewpoint and Light Source Position Based on Contrast Information Quantities for 3D Objects with Triangular Patch Expressions

Tatsuro KATO[†], Takeo IKAI[†], Koji WATANABE^{††}, Shigeki AOKI^{†††}, Takao MIYAMOTO^{†††},
and Kunio FUKUNAGA[†]

[†] Graduate School of Osaka Prefecture University

^{††} Fukuyama University

^{†††} Faculty of Liberal Arts and Sciences, Osaka Prefecture University

E-mail: [†]katou@com.cs.osakafu-u.ac.jp, ^{††}aoki@las.osakafu-u.ac.jp

Abstract This paper first describes viewpoint selection that grasps total features of an object. We define Fechner type information quantity based on Fechner's law, and introduce edge type shape information quantity measuring length and sharpness of an edge line in triangular patch expression of a 3D object and viewpoint information quantity summing up information quantities of visible edge lines from a viewpoint, whose local maximums provide representative viewpoints. For lighting of single light source, we define in this study contrast information quantity as difference of shade of visible both faces of edge line from a viewpoint. We next introduce light source viewpoint information quantity summing up selectively contrast information quantities corresponding to medium tone of difference of shade, and then obtain a viewpoint that grasps adequately convex or concave shape of an object by means of lighting. Local maximums of light source viewpoint information quantity provide candidates of viewpoints that grasp such features of a 3D object. Finally experimental results and estimation are presented.

Key words Light source viewpoint selection, Fechner information quantity, Shape information quantity, contrast information quantity, triangular patch expression.

1. はじめに

3次元物体に対し照明光の照射方向と視点を様々に変えることによって、3次元物体の異なった特徴的情報を捉えることが可能である。それゆえ目的とする3次元物体の全体的特徴を捉える良い視点と照明光の方向すなわち光源位置を選択することは重要であり、こうした光源視点選択には、物体認識、CG、データ可視化など様々な分野での応用がある。パターン認識たとえば文字パターン認識などでは、パターンに対する正面からの視点が仮定されているように、種々の物体認識ではその認識技術にとって必要とする識別特徴を良く捉えるための照明と特定の視点が前提とされている。このような視点は識別的視点と言える。これに対しカメラ位置を選択する場合のように、例えば馬を馬らしく写せる視点は鑑賞的視点と呼べる。心理学においても対象物体に対する標準的視点[1],[2]の存在が知られており、それらには馬の顔が見えるような斜め前方からの視点すなわち鑑賞的視点が多くある。視点選択については種々の研究[3]-[7]があるが、そのなかに良い視点か否かを判定するための情報尺度としてエントロピーをもちいるアプローチがある[4],[6],[7]。これらはシャノン情報量をベースとしている。しかし視点選択において視知覚としてより自然なアプローチとして、刺激に対する感覚反応の対数特性を表す心理物理学におけるFechner則[8]に着目し、新しい情報尺度としてFechner型情報量を導入することができる。このFechner型情報量に基づき、3次元物体の3角パッチ表現(3角形メッシュ表現)を複雑な多面体とみなし、稜線を対象にしたエッジ型の形状情報量が定義される。形状情報量は、視点(すなわち眼)が3角パッチの面の面積や稜線の長さ等に等しい光刺激を受け取るという仮定のもとで、Fechner型情報量として表現されている。つぎに視点からの可視稜線の形状情報量の総和を行う視点情報量を導入する。この視点情報量の極大値がユーザの視点選択のための代表的視点を提供する[9],[10]。以上のような対象物体の形状特徴の情報量表現につづき、本研究では照明に対する情報量的アプローチをおこない単一光源に対して、Fechner型情報量にもとづく視点と光源位置選択のためのアルゴリズムを導いている。このように照明設計に関して情報尺度を導入している研究として、エッジ検出や輝度の分散などのパラメータを定義しその重み付最適化を行う研究[11]、エントロピーをベースとする光源位置の自動決定法の提案[12]、同じくエントロピーを用いるが背景情報を用いより計算量の少ない手法[13]などがある。本研究では3次元物体の3角パッチ表現において、視点からその両面が可視である稜線を対象として、

光源位置からの照射光に対するその両面の拡散反射による明暗差をコントラスト情報量として表す。Fechner則より両面からの光刺激による感覚量はlog変換を受けると仮定すると、その感覚量の差としてのコントラスト情報量は、可視両面の光学系でよく用いられるコントラスト比のlog変換となる。視点からのコントラスト情報量の総和を光源視点情報量と呼び、その極大値をあたえる光源位置と視点を選択する。この光源視点情報量においては、明暗差が非常に大きいあるいは小さい場合を除く制約条件を付加し、明暗差の中間階調に対応するコントラスト情報量を選択的に総和する。こうして照明による対象物体の凹凸形状を適切に捉える視点が得られると考えられる。

以下、2.では稜線の両面が可視の場合のエッジ型形状情報量と視点情報量について述べている。3.ではコントラスト情報量の導出過程を述べ、視覚心理学で用いられるMichelsonコントラストと稜線両面の可視面積比によって制約されたコントラスト情報量を選択的に総和する光源視点情報量を定義する。4.では実験結果を示しその評価を行っている。

2. 形状情報量

多面体などのような3次元物体においては、形状として面や稜線に着目でき、それらによるサーフェイスモデルやワイヤフレームモデルによる3次元表現がある。3次元物体の3角形パッチ表現は複雑な多面体である。この3次元表現において対象物体に対する視点を定めるため、3角形の稜線を対象にしたエッジ型(フレーム型[9])形状情報量とそれに基づく視点情報量について以下に述べる。

2.1 Fechner型情報量

3次元物体の表面形状に対し、局所的な面積や凹凸などの曲率的量に着目して表面の特徴を計量化する形状情報量を導入する場合、確率的性質をもたない面積や曲率的量を直接的かつ非確率的に扱うには、Shannon型情報量は適さない。そこで物体表面から面積に比例した光量を眼が受け取ると仮定して、感覚器官の特性である刺激に対する感覚反応の対数特性をあらわすFechnerの法則に着目する。刺激量を Q 、感覚量を R とすると、この法則は

$$R = c \log \frac{Q}{Q_0} \quad (1)$$

と表される。 c は定数、 Q_0 は刺激量の下限(刺激閾)である。この関係式に基づき、Fechner型情報量 I を次のように定義する。

$$I = \log_2 \left(\frac{q}{\lambda} + 1 \right) \quad (2)$$

ここで $q(\geq 0)$ は一般に物体表面の刺激量としての物理的あるいは数値的量をあらわし、 $\lambda(> 0)$ は q の効果を調整する設計パラメータである。 q/λ に 1 を加算して情報量 I を非負値としている。対象物体の 3 角パッチ表現においては q として 3 角パッチの面積を用いている。すなわち視点(眼)は面積などに比例した光量を受け取ると仮定している。

2.2 エッジ型形状情報量および視点情報量

多面体の稜線に対して形状情報量を定義するためには、その鋭さを評価しなければならない。そこで稜線部分の鋭さを表す曲率的量を導入する。図 1 は稜線の一点で稜線に垂直な平面で切ったときの図である。稜線で交わる二つの平面 A, B の単位法線ベクトル N_A と N_B のなす角の $1/2$ を拡張曲率と呼び Ψ で表す。 N_A と N_B の和を正規化した稜線上に起点をおくベクトルを拡張法線ベクトルと呼ぶ。この稜線の拡張法線ベクトル \hat{N} と N_A あるいは N_B の内積 $\cos \Psi$ と稜線の長さ L を用いて形状情報量を定義する。それをエッジ型形状情報量 ω と呼び、

$$\omega = \log_2 \left(\frac{L}{\lambda \cos \Psi} + 1 \right) \quad (3)$$

と表される。

視点が対象物体から受け取る形状情報量の総和を視点情報量という。エッジ型視点情報量を導く場合、稜線の近傍に稜線を構成する 2 つの面が見える両面可視の視点と、稜線の近傍で片面しか見えない視点が存在する。前者の場合、両面可視よりそれらの面の境界が稜線であると知覚でき、その鋭さ(拡張曲率)が観察される。こうして稜線を構成する二つの面が見えていることを要請するという観点からの視点情報量が導かれる。

無限遠視点を仮定し、任意の視点 z からの対象物体の可視稜線の集合を $U(z)$ とし、稜線 $u \in U(z)$ の長さを $L(u)$ 、拡張曲率を $\Psi(u)$ とすると、稜線 u の真上(拡張法線方向)の視点 z が u から受け取るエッジ型情報量 $\omega(u)$ は式 (3) より

$$\omega(u) = \log_2 \left(\frac{L(u)}{\lambda \cos \Psi(u)} + 1 \right) \quad (4)$$

と表される。次に拡張法線ベクトルと視方向ベクトルの内積を $\cos \theta(u, z)$ とする。 $\cos \theta(u, z)$ に対し次式を導入する。

$$\begin{aligned} [\cos \theta(u, z)] &= \cos \theta(u, z) \quad \text{if } \cos \theta(u, z) > 0 \\ [\cos \theta(u, z)] &= 0 \quad \text{if } \cos \theta(u, z) \leq 0 \end{aligned}$$

さらに可視稜線の両面可視である面のそれぞれの法線と視方向ベクトルの内積を、 $\cos \xi(u, z)$ および $\cos \xi'(u, z)$ とし、次のステップ関数 $g(x)$ を導入する。

$$g(x) = 1 \quad \text{if } x > 0$$

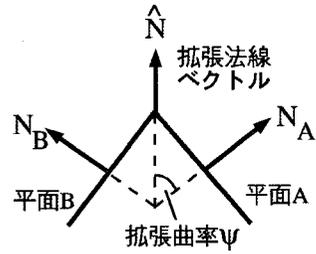


図 1 拡張法線ベクトル

$$g(x) = 0 \quad \text{if } x \leq 0$$

したがって稜線 u の $g(\cos \xi(u, z)) = 1$ となる面が視点 z から可視となる。視点 z がそのすべての両面可視の稜線から受け取る形状情報量の総和をエッジ型視点情報量 $\Omega(z)$ と呼び次のように定義する。

$$\Omega(z) = \sum_{u \in U(z)} g(\cos \xi(u, z)) g(\cos \xi'(u, z)) [\cos \theta(u, z)] \omega(u) \quad (5)$$

この $\Omega(z)$ の極大値となる z が対象物体に対する代表的な視点を与える。ユーザはこれらの極大値視点より目的に応じて選択する。このエッジ型はワイヤフレームモデルの形状情報量である。

3. コントラスト情報量

照明として 1 個のモノクローム平行光の光源を仮定する。視点からその両面が可視である稜線を対象に、この照明のもとでの可視両面の明暗差を計量化するコントラスト情報量を導入する。コントラスト情報量は可視両面のコントラスト比の \log 変換となる。視点からのコントラスト情報量の総和としての光源視点情報量の極大値をあたえる光源と視点を選択する。この光源視点情報量においては、明暗差が非常に大きいあるいは小さい場合を除き、明暗差の中間階調に対応するコントラスト情報量を選択的に総和する。こうして照明による対象物体の凹凸を適切に捉える視点が得られると考えられる。

3.1 コントラスト比

光源位置 y の平行光の強さを I とする。視点 z からの可視稜線の集合 $U(z)$ において、稜線 $u \in U(z)$ の可視両面の法線ベクトルと光源方向ベクトルの内積を $\cos \eta(u, y)$ および $\cos \eta'(u, y)$ とする。可視両面は同じ反射率とし k と表すと、両面の拡散反射による輝度は $kI \cos \eta(u, y)$ および $kI \cos \eta'(u, y)$ である。これら両面からの光刺激による感覚量は Fechner 則より、 $\log_2 kI |\cos \eta(u, y)|$ および $\log_2 kI |\cos \eta'(u, y)|$ となる。この感覚量の差が脳内におい

て両面の明暗差を表すと仮定すると、稜線 u のコントラスト情報量 $\pi(u, y)$ として、

$$\pi(u, y) = |\log_2 kI[\cos \eta(u, y)] - \log_2 kI[\cos \eta'(u, y)]| \quad (6)$$

が定義できる。式 (6) からは以下のように、光学系において明暗差を表すためによく用いられるコントラスト比 $p(u, y)$ の \log 変換が導かれる。まず、 $p(u, y)$ を次のように計算する。

(i) $\cos \eta(u, y) > \cos \eta'(u, y) > 0$ のとき

$$p(u, y) = \frac{\cos \eta(u, y)}{\cos \eta'(u, y)} \quad (7)$$

とする。

(ii) $[\cos \eta'(u, y)] = 0$ のとき、 $\gamma > 0$ を導入して、

(iia) $\cos \eta(u, y) > \gamma$ ならば

$$p(u, y) = \frac{\cos \eta(u, y)}{\gamma} \quad (8)$$

(iib) $\cos \eta(u, y) < \gamma$ ならば

$$p(u, y) = 1 \quad (9)$$

とする。

以上よりコントラスト情報量式 (6) は次のようになる。

$$\pi(u, y) = \log_2 p(u, y) \quad (10)$$

ここで、 $\gamma = 1/1024$ とし $\pi(u, y) \leq 10$ に設定する。

3.2 Michelson コントラストと可視面積比

稜線の両面の明暗差が小さすぎて、稜線の知覚ができない場合や、逆に明暗差が大きすぎて周辺の識別に影響したりする場合がある。さらに両面の可視面積に極端な差がある場合は、明暗差の面積的バランスが悪くなる。こうしたケースを除き中間階調の明暗差に対応するコントラスト情報量を選択的に総和する制約付きの光源視点情報量を導くために、視覚心理学で用いられる Michelson コントラストと稜線両面の可視面積比を導入する。

(i) Michelson コントラスト $q(u, y)$ の定義

(ia) $\cos \eta(u, y) > \cos \eta'(u, y) > 0$ のとき、

$$q(u, y) = \frac{\cos \eta(u, y) - \cos \eta'(u, y)}{\cos \eta(u, y) + \cos \eta'(u, y)} \quad (11)$$

(ib) $[\cos \eta'(u, y)] = 0$ のとき、

$$q(u, y) = 0 \quad (12)$$

(ii) 可視面積比 $t(u, z)$ の定義

稜線 u の両面の面積を $S(u)$ および $S'(u)$ とする。

(iia) $g(\cos \xi(u, z))g(\cos \xi'(u, z)) = 1$ かつ $S(u) \cos \xi(u, z) : S'(u) \cos \xi'(u, z) > 0$ のとき、

$$t(u, z) = \frac{S'(u) \cos \xi'(u, z)}{S(u) \cos \xi(u, z)} \quad (13)$$

(iib) $g(\cos \xi(u, z))g(\cos \xi'(u, z)) = 0$ のとき、

$$t(u, z) = 0 \quad (14)$$

とする。

3.3 制約条件と光源視点情報量

Michelson コントラスト $q(u, y)$ に対し、その中間階調の上限 δ_{max} と下限 δ_{min} を設定する。 δ_{min} 以下は人間の眼にとって十分な稜線の知覚が困難な明暗差、ロボットの眼にとってはエッジオペレータによりロバストなエッジ検出が困難となるような明暗差として設定する。 δ_{max} 以上は大き過ぎる明暗差として除く範囲である。Michelson コントラストが中間階調にあっても明暗差の面積的バランスから、両面の可視面積比に ϵ 以下となる差がある場合は除かれる。

(i) Michelson コントラスト制約

$q(u, y) \leq \delta_{min}$ または $\delta_{max} \leq q(u, y)$ のとき

$$p(u, y) = 1 \quad (15)$$

とする。

(ii) 可視面積比

$\delta_{min} \leq q(u, y) \leq \delta_{max}$ かつ $t(u, z) \leq \epsilon$ のとき、

$$p(u, y) = 1 \quad (16)$$

とする。

以上の制約条件を満たすコントラスト情報量 $\pi(u, y)$ (= $\log_2 p(u, y)$) を総和する光源視点情報量 $\Gamma(y, z)$ は次のように定義される。

$$\Gamma(y, z) = \sum_{u \in U(z)} g(\cos \xi(u, z))g(\cos \xi'(u, z))[\cos \theta(u, z)]\pi(u, y) \quad (17)$$

光源視点情報量 $\Gamma(y, z)$ による視点と光源位置の選択にはつぎの2通りの選択方式がある。

(I) 視点をエッジ型視点情報量の極大値視点 z に定めた後、光源視点情報量 $\Gamma(y, z)$ による極大値光源位置 y を選択する。

(II) 光源視点情報量 $\Gamma(y, z)$ において、光源位置 y と視点 z に関して極大値となる (y, z) を選択する。

4. 実験と検討

3角パッチ表現された対象物体を原点においた図2のような半球上に視点と光源を配置する。視点と光源位置は、

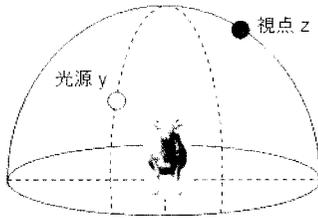


図2 視点半球

それぞれ方位角 ρ と仰角 ϕ によって半球上, $0 \leq \rho \leq 360$, および $0 \leq \phi \leq 90$ の範囲で, 9度間隔のそれぞれ 440 個配置した。視点と光源位置の選択方式 (I) では, 視点を固定し光源位置は注目点の 8 近傍のすべてより大きいとき極大値とした。選択方式 (II) では, 視点と光源の各 ρ と ϕ の 4 個のパラメータにたいし, 注目した視点と光源位置の 80 近傍との比較により極大値となる視点と光源位置を選択した。制約条件の δ_{min} , δ_{max} , ϵ は対象によって適切に選ぶ必要がある。6角錐台 (パッチ数 20) と牛 (パッチ数 1850) に対する実験を以下に示す。

4.1 6角錐台

(i) 選択方式 (I) の実験

6角錐台に対する視点情報量の極大値視点 (45,180) に対し, 制約条件は $\delta_{min} = 0.35$, $\delta_{max} = 0.85$ として図 3 に示す結果が得られた。光源視点情報量の極大値光源位置は (81,81) である。ただし光源と視点の位置は (仰角, 方位角) により表示し, 原点 (0,0) は 6角錐台の稜線の正面である。 Γ は光源視点情報量の値である。

(ii) 選択方式 (II) の実験

制約条件 $\delta_{min} = 0.35$, $\delta_{max} = 0.85$, $\epsilon = 0.2$ における光源視点情報量の極大値の景観は図 4 となる。制約条件の効果を調べるために, 制約条件のうち δ_{min} と ϵ のみを, $\delta_{min} = 0$ および $\epsilon = 0.5$ に変更した場合を図 5 と図 6 に示す。 $\delta_{min} = 0$ では明暗差の小さい稜線が現れ, $\epsilon = 0.5$ では視点が高くなり, いずれも図 4 の景観とは変わる。 $\delta_{max} = 1$ や $\epsilon = 0$ の場合にも景観の変化が現れる。

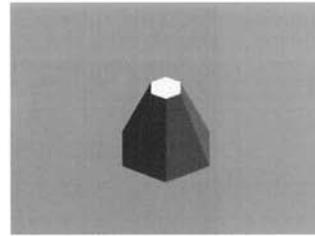
4.2 牛

(i) 選択方式 (I) の実験

牛に対する視点情報量の極大値視点 (9,90) に対し, 制約条件は $\delta_{min} = 0.25$, $\delta_{max} = 0.85$ として図 7 に示す結果が得られた。ただし原点 (0,0) は牛の顔の正面である。

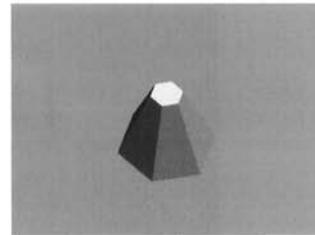
(ii) 選択方式 (II) の実験

制約条件 $\delta_{min} = 0.25$, $\delta_{max} = 0.85$, $\epsilon = 0.2$ における光源視点情報量の極大値の景観は図 8 となる。 ϵ のみ $\epsilon = 0.5$ とした場合は図 9 となり, 牛の向きが変わる。しかし δ_{min} , δ_{max} , ϵ のみをそれぞれ $\delta_{min} = 0$,



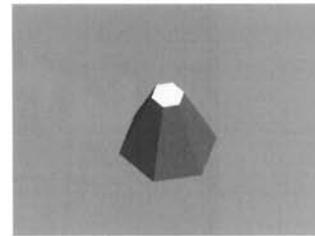
光源 (81 , 81) 視点 (45 , 180)
 $\Gamma = 7.558900$

図 3 選択方式 (I) 極大値画像 (6角錐台)



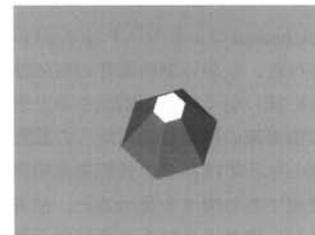
光源 (72 , 279) 視点 (54 , 342)
 $\Gamma = 10.640457$

図 4 選択方式 (II) 極大値画像 (6角錐台)



光源 (81 , 288) 視点 (54 , 342)
 $\Gamma = 11.422757$

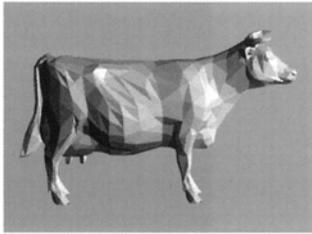
図 5 選択方式 (II) 極大値画像 ($\delta_{min} = 0$)



光源 (81 , 72) 視点 (72 , 45)
 $\Gamma = 7.449768$

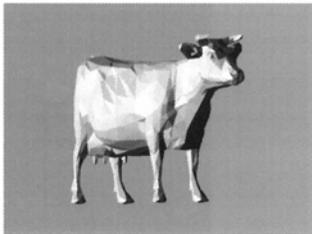
図 6 選択方式 (II) 極大値画像 ($\epsilon = 0.5$)

$\delta_{max} = 1$, $\epsilon = 0$ としたときは, 図 8 と変わらない。ただしいずれも図 8 の場合よりは光源視点情報量の値 Γ は増加している。すなわち制約の変更が現れている。このように制約条件が働いていることは可視面における



光源 (18 , 36) 視点 (9 , 90)
 $\Gamma = 69.729064$

図 7 選択方式 (I) 極大値画像 (牛)



光源 (9 , 90) 視点 (0 , 36)
 $\Gamma = 509.959540$

図 8 選択方式 (II) 極大値画像 (牛)



光源 (0 , 90) 視点 (0 , 27)
 $\Gamma = 314.844499$

図 9 選択方式 (II) 極大値画像 ($\epsilon = 0.5$)

Michelson コントラスト $q(u, y)$ の分布によっても確かめられた。しかし制約条件の有効性はパッチ数が大きくなるに従い弱くなる傾向があると思われる。照明のない視点情報量の極大値視点からの景観である図 7 と、単一光源のもとではあるが光源視点情報量の極大値視点からの景観である図 8 を比べると、前者は識別的視点であるのに対し後者はそれより良い牛の顔が見えるような鑑賞的視点となっている。

5. むすび

本論文では単一光源の照明による 3 次元物体表面の明暗差をコントラスト情報量として計量化することにより、物体表面の凹凸などの形状特徴を明暗差として捉える視点と光源位置を選択する手法を提案している。形状情報

量に基づくエッジ型視点情報量もコントラスト情報量による光源視点情報量も、その極大値において物体表面の凹凸情報の大きい視点を与える情報量である。実験によって、照明のない視点情報量の極大値の視点より、光源視点情報量の極大値視点の方が、良い鑑賞的視点を与える場合のあることが示された。しかしこの比較には多くの実験例により検証する必要がある。本研究では単一光源のみを取り扱ったが、今後はコントラスト情報量による取り扱いを少なくとも環境光を含む複数の光源に拡張する必要がある。

文 献

- [1] 石口彰, “視覚”, 新曜社, 2006.
- [2] S.E.Palmer, “Vision Science”, MIT Press, 1999.
- [3] T. Kamada and S. Kawai, “A simple method for computing general position in displaying three-dimensional objects”, Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol.41(1), pp. 43-56, 1988.
- [4] 佐藤幸男, 加藤哲孝, “多面体像の情報量と視方向評価”, 信学論 (D-II), vol.J75-D-II, no.8, pp.1346-1352, 1992.
- [5] D. Weinsall “On View Likelihood and Stability” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, NO. 2, 1997.
- [6] P.-P. Vázquez, M. Feixas, M. Sbert, and W. Heidrich “ViewPoint Selection using ViewPoint Entropy” VMV2001 pp.21-23, 2001.
- [7] 石川尋代, 佐藤幸男, “多面体認識における心理量と物体像エントロピーの関係について”, 信学論 (D-II), vol.J86-D-II, no.1, pp.111-118, Jan. 2003.
- [8] 中島義明, “実験心理学の基礎”, 誠信書房, 1992.
- [9] 大場聡司, 猪飼武夫, 山下拓也, 青木茂樹, 泉正夫, 福永邦雄, “3 次元物体の形状および視点情報量に基づく視点選択”, MIRU2006, IS2-51, pp.958-963, 2006.
- [10] S.Oba, T.Ikai, S.Aoki, T.Yamasita, M.Izumi and K. Fukunaga, “Viewpoint Selection Based on Fechner Type Information Quantities for 3D Objects”, WSCG2007, Short Communication Papers Proceedings, pp.141-148, 2007.
- [11] R.Shacked and D.Lischinski, “Automatic Lighting Design using a Perceptual Quality Metric”, EURO-GRAHICS, vol.20, no.3, pp.1-12, 2001.
- [12] S. Gumhold, “Maximum Entropy Light Source Placement”, IEEE Visualization 2002, pp.275-282, 2002.
- [13] P.-P. Vázquez and M. Sbert, “Perception-Based Illumination Information Measurement and Light Source Placement”, Lecture Note in Computer Science, no.2669, pp.306-316, 2003.