

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月4日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22650041

研究課題名（和文） 視点にもとづく絵画の確率モデルとコンピュータグラフィックスへの応用

研究課題名（英文） Probabilistic model for non-photorealistic image based on view point and its application to computer graphics

研究代表者

岡田 真人 (OKADA MASATO)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：90233345

研究成果の概要（和文）：

画像は、三次元世界を視点ベクトルから決まる二次元平面に射影することで生成される。これを透視投影という。それに対して非透視投影では、三次元世界を視覚物体毎に異なった視点から観測し、一枚の絵を生成する。我々は、視点の選択と統合に関して確率を用いてモデル化することで、非透視投影画像を自動生成する理論的枠組みを提案する。そこから導出された理論を用いて、非透視投影の画風を模擬するCGのアルゴリズムを提案した。

研究成果の概要（英文）：

The natural scene is result of projection of the 3-dimensional world to 2-dimensional plane. This projection is defined by a view point vector. It is called as perspective projection. On the other hand, in the non-perspective projection, visual objects in the scene are drawn from their own vista point. In this project, we formulated the selection and integration perspective based on the probabilistic framework. We proposed the CG algorithm to automatically generate a non-perspective projection.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	0	1,900,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	300,000	3,200,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：確率モデル、絵画、視点、CG

1. 研究開始当初の背景

物理的な光学過程を利用する写真や、光線の動きを計算機上で模擬するレイ・トレーシングを用いたコンピュータ・グラフィックス(CG)は、絵画の写実主義に対応する。そこではヒトの眼や写真のレンズに対応する単一の視点からの投影で画像が生成される。これは透視投影と呼ばれる。

当然ながら、写実主義者であっても人が描

く絵画は厳密な透視投影図ではない。これを積極的に使い、新たな芸術表現に高めたのが印象派である。印象派の一人である Paul Cezanne の絵では、視覚物体ごとに異なった視点を選択されている。心理学では、これを一般視点(generic view)という。さらに二つの絵を比較すると、異なる視点が同一シーンから生成されているように、複数の視点を統合する機構が脳内に存在することが示唆され

る。

2. 研究の目的

本研究では、視点の選択と統合という二つの観点で、どの程度まで印象派の絵画が説明可能かを構成論的に議論する。計算機の中に三次元モデルを構築し、一般視点を実現するアルゴリズムから、複数の視覚物体に対応する視点を計算する。これら複数の視点を視覚物体間の近傍関係にもとづき、滑らかに統合する機構を組み込む。具体的には、印象派の一人である Paul Cezanne の画風を模倣する CG のアルゴリズムを提案する。さらに、この CG アルゴリズムを、ベイズ統計にもとづく確率モデルで定式化し、視点にもとづく絵画の確率モデルを提案する。

ひとたび対象が確率モデル化されれば、これまで確率モデルが用いられてきた既存分野の手法を容易に絵画の科学に導入することが可能となり、個別科学ではない絵画の科学が創成できる。さらに、本応募課題は脳科学・心理学、可視化・CG、画像処理・CVなどを融合して達成できる研究であり、教育を含めた、これらの分野を融合した新分野創成など波及効果は絶大である。

3. 研究の方法

三次元視覚世界は、一般に下図のように花瓶、壺、コーヒーカップ、さらにそれらが置かれている机など複数の視覚物体から構成されている。図1は透視投影の例である。



図1：透視投影の例

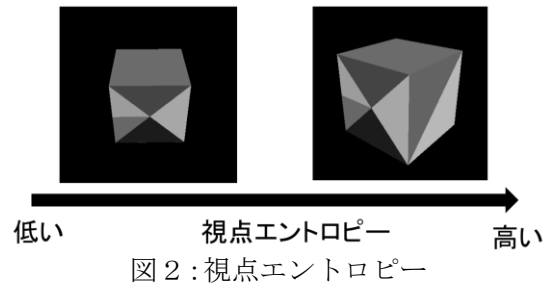
非透視投影を行うには、個々の視覚物体ごとに視点を計算する前に、視覚物体の切り出しを行う必要がある。本研究では、視点の選択と統合を主目的とするため、視覚物体の切り出しはすでに終わっていると仮定する。視覚物体は、三次元CGで用いられるポリゴンで表現する。

ここで解くべき課題は(1)視覚物体ごとに最適な視点を選択することと、(2)異なった視点をどのようにスムーズに統合するかである。(1)の視点の選択に関しては、Vázquezらによって提案された視点エントロピーをもちいた。(2)のスムーズな統合に関しては、マルコフランダムフィールド(MRF)モデルを

用いた。

4. 研究成果

可視の面が均等に見えているほど高い値



(1) 視点の選択

視点選択を行うアルゴリズムとして Vázquez らの視点エントロピーを計算する枠組みでは、図2のように視覚物体はポリゴンで表現されている。ある視点で視覚物体を射影したときの、その二次元画像上でポリゴンの面積を求める。つぎに、それを視覚物体の二次元画像上の総面積で規格化した値を求める。視点エントロピーは、これは確率のように取り扱い、Shannon エントロピーの式を用いて求められる。ポリゴン数が同じであれば、できるだけポリゴンが等しい面積で見えるような視点を選択したとき、視点エントロピーはもっとも大きくなる。また全てのポリゴンの面積が同じであれば、ポリゴンの数がおおいほど視点エントロピーは大きくなる。視点エントロピーを最大化する視点と一般視点の原理は定性的には一致する。

図1に示す透視投影の図を構成する果物や花瓶に関して、視点エントロピー最大化にもとづき計算した投影図の例を図3に示す。

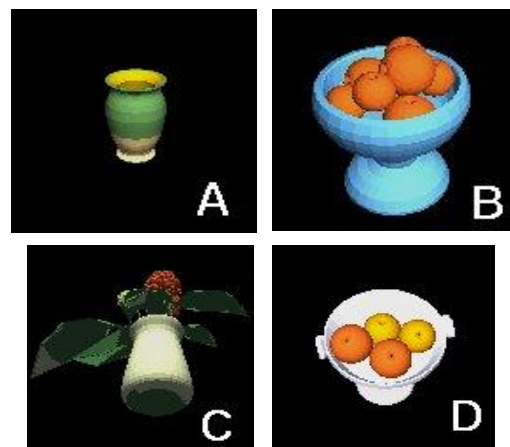


図3：視点エントロピー最大化に基づいた投影図の例

C 以外の視覚物体は透視投影の図に比べて、視覚物体の内容がよりよく描かれているのがわかる。一方Cに関しては、我々の実感とは離れた視点から描かれているが、これは用いたアルゴリズムの定式化によるもので、こ

れを改善するのは今後の課題である．図4は、単一視各々の視覚物体に関して、上記の視点エントロピー最大化にもとづき非透視投影を行った図である．透視投影図に比べて、皿の上の果物がよく見えるようになり、視覚物体の情報がより多く表現されていることがわかる．一方、となりあった視覚物体が大きく離れた視点を持つことにより、別の写真を貼り付けたような違和感とともに、画像全体



図4：視点選択のみに基づく図

の三次元構造が破壊されている．

(2) 視点のスムーズな統合：そこで選択された視点をできるだけ保ちながら、近くの物体の視点の差がそれほど大きくならないように視点を微調整して、三次元構想が破綻しないように視点をスムーズに接続することを考えた．視点のスムーズな接続は以下の手続きで行う．視点エントロピーを使って視覚物体ごとに視点を計算すると図5のような状況になる．机の上の三つのオブジェクトに対して三つのカメラであらわされる視点が存在する．視覚物体と視点の対応はハッチングの対応であらわしている．

各視点は一般には互いに視点を連続的に補完するために、三次元内の全ての格子状の点に視点を定義する．オブジェクトが存在しない点での視点は、図6のようにオブジェクトの視点を、エネルギー関数 E の最小化のアルゴリズムを用いて、空間的に滑らかにつなぐ．エネルギー関数 $E = E_1 + \lambda E_2$ は、視点選択で求めた視点と接続した視点の差を小さくする項 E_1 と、となりあった視点の差が小さくなる E_2 項の和で定義されている．正則化パラメータ λ はこれら二つの量の重みを制御する．これは画像修復のベイズ推定でよく使われているスムージングの手法の拡張で

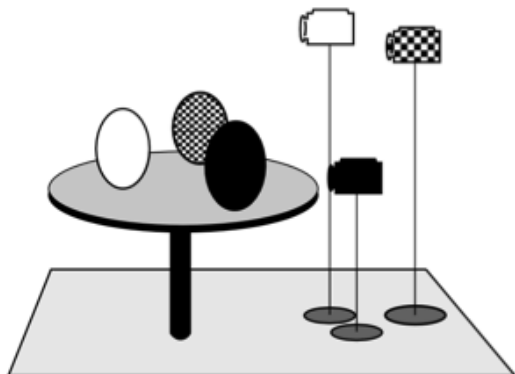


図5：視覚物体毎の視点の計算

複数の視点と見え

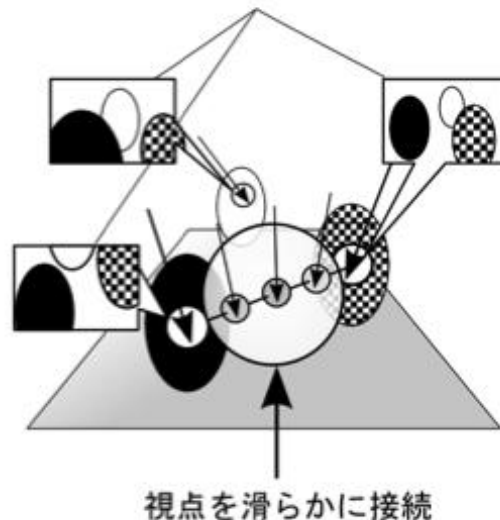


図6：視点の滑らかな補完

ある．

図7は、視点の選択と接続を行ったあとの視点から、非透視投影を行った図である．透視投影図に比べて、皿の上の果物がよく見えるようになっている事がわかる．また、となりあった視覚物体の視点の差は小さく、画像全体の三次元構造がたもたれているのがわかる．このバランスは正則化パラメータ λ で決まる．

この枠組みを使って、非透視投影をよく用いた Cezanne の画風を模擬する CG のアルゴリズムを提案した．ここで得られた研究成果を Lecture Notes in Computer Science で発表した．

(3) 次に、この視覚オブジェクトを視覚シーンから自動抽出するアルゴリズムの設計原理をもとめるために以下の二つの研究を行った．

① 視覚オブジェクトのセグメンテーションを行うマルコフランダムフィールド(MRF)モデル

視覚シーンからオブジェクトを自動選択するには、画像工学のしばしば研究されている



図7：視点の選択と接続を行った非透視投影の図

セグメンテーションを行う必要がある。そこで本研究課題が基本にしているMRFモデルの枠組みの中で、優れたセグメンテーション能力を持つ領域ベースMRFモデルを用いることにした。本研究は3次元のMRFモデルを用いるので、通常は2次元である領域ベースMRFモデルよりも計算量が著しく多くなる。その計算量低減のために変分ベイズ法にもとづくアルゴリズムを開発した。本手法は高く評価されて、日本物理学会が出版するJournal of Physical Society of JapanのPapers of Editor's choiceに選ばれた。

②視覚的顕在性の神経機構の解明

ヒトは視覚シーンからオブジェクトを選択する際に眼球運動を積極的に援用していると考えられている。そこでヒトの眼球運動の神経機構を探ることで、より人間らしいアルゴリズムが提案できると考えた。ヒトの脳には、視覚的に目立つオブジェクトの視野中の地図である顕在性マップが存在する。その顕在性マップ形成にとって重要な神経回路モデルである局在興奮ネットワークを研究した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① T. Kuwatani, K. Nagata, M. Okada and M. Toriumi, Precise estimation of pressure-temperature paths from zoned minerals using markov random field modeling: theory and synthetic inversion, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 査読有, vol.163, no.3, pp.547-562, 2012.
- ② K. Ota, T. Omori, S. Watanabe, H. Miyakawa, M.Okada and T. Aonishi, Measurement of infinitesimal phase response curves from noisy real neurons, *Physical Review E*, 査読有, vol.84, no.4, pp.041902-1—041902-7, 2011.
- ③ R. Hasegawa, M. Okada and S. Miyoshi, Image segmentation using region-based latent variables and belief propagation, *Journal of the Physical Society of Japan*, 査読有, vol. 80, no.9, pp.093802-1—093802-4, 2011.
- ④ H. Shouno, M. Yamasaki and M. Okada, A Bayesian hyper-parameter inference for Radon transformed image reconstruction, *International Journal of Biomedical Imaging*, 査読有, vol.2011, pp.870252-1—870252-10, 2011.
- ⑤ S. Miyoshi and M. Okada, Image restoration and segmentation using region-based latent variables: Bayesian inference based on variational method, *Journal of the Physical Society of Japan*, 査読有, vol.80, no. 1, pp.014802-1—014802-10, 2011.
- ⑥ S. Tajima, H.Takemura, I. Murakami and M. Okada, Neuronal population decoding explains the change in signal detection sensitivity caused by task-irrelevant perceptual bias, *Neural Computation*, 査読有, vol.22, no.10, pp.2586-2614, 2010.
- ⑦ K.Katahira, N. Matsumoto, Y.Sugase-Miyamoto, K. Okanoya and M. Okada, Doubly sparse factor models for unifying feature transformation and feature selection, *Journal of Physics: Conference Series*, 査読有, vol.233, pp.012021-1—012021-10, 2010.
- ⑧ H. Shouno and M. Okada, Bayesian image restoration for medical images using Radon transform, *Journal of the Physical Society of Japan*, 査読有, vol.79, no.7, pp.074004-1—074004-6, 2010.
- ⑨ N. Matsumoto, S. Akaho, Y. Sugase-Miyamoto and M. Okada, Visualization of multi-neuron activity by simultaneous optimization of clustering and dimension reduction, *Neural Networks*, 査読有, vol.23, no.6, pp. 743-751, 2010.
- ⑩ K. Mashio, K. Yoshida, S. Takahashi and M. Okada, Automatic blending of multiple perspective views for aesthetic composition, Lecture Notes in Computer Science, 査読有, vol.6133, pp.220-231, 2010.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 萬田暁, 大森敏明, 北園淳, 岡田真人, スパースな局在興奮を持つ神経回路モデル, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2012年1月27日, はこだて未来大学
- ② 五十嵐康彦, 岡田真人, メキシカンハット型フィードフォワードネットワークにおける高次相関, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2012年1月27日, はこだて未来大学

- ③ 山下樹, 片平健太郎, 五十嵐康彦, 岡ノ谷一夫, 岡田真人, リカレントネットワークによる複数のモダリティから成る感覚情報の統合 ～視聴覚に対する刺激の発生源特定問題～, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2012年1月26日, はこだて未来大学
- ④ 大野義典, 永田賢二, 庄野逸, 岡田真人, 非線形マルコフ確率場モデルにおけるハイパーパラメータ推定の決定論的アルゴリズム, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2011年11月24日, 東北大学
- ⑤ 庄野逸, 瀧山健, 岡田真人, 局所変分近似を用いた Poisson 過程観測下における画像修復, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2011年11月24日, 東北大学
- ⑥ 庄野逸, 岡田真人, 局所変分法を用いた Total Variation の近似とノイズ除去, 情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2011), 2011年11月10日, 奈良女子大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 真人 (OKADA MASATO)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号 : 90233345