

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03348

研究課題名（和文）パラメータ調整が不要な誤差推定付き高精細画像生成技術の開発

研究課題名（英文）Development of high fidelity, parameter tuning-free rendering method with error estimation

研究代表者

岩崎 慶（Iwasaki, Kei）

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：90379610

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：ものづくりに必要なデザインソフトウェアでは、高速かつ高精度なCG画像生成技術が要求される。高速な画像生成技術は提案されているが、ヒューリスティックな仮定に基づいていることが多く、所望の画質を得るためにはパラメータ調整が必要となり、ユーザにとって多大な負担となる。本研究は、真値との誤差を精度よく推定し、誤差を制御することで、パラメータ調整を不要とする効率的かつ実用的な画像生成法を提案した。画質に関する2つの直感的なパラメータを指定するだけで、1度のレンダリング（画像生成）で所望の画質を得ることが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、許容相対誤差と信頼水準という2つのパラメータを与えたら、真値との誤差を確率的に推定し、許容相対誤差以内となるようにクラスタを自動的に決定する点にある。モンテカルロ法と異なり、誤差を定量的に推定し制御することができるため、ユーザの負担が大幅に軽減され、デザイン編集や映像制作への福音となる。

研究成果の概要（英文）：Design softwares used for manufacturing require efficient and realistic CG rendering techniques. Although several methods have been proposed for this purpose, most of them rely on heuristic assumptions. This incurs users on tedious parameter tunings to obtain rendering results with desired accuracies. This research project aims to develop a rendering method that can estimate the error accurately and control the error, which can eliminate the tedious parameter tunings from the users. Our method only requires two intuitive parameters and can render the results with desired accuracy.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：レンダリング 誤差推定 表面下散乱

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

デザインソフトウェアでは、対象の外観を忠実に再現する効率的な画像生成法の開発が求められている。この目標達成に近い手法の一つに多光源レンダリング法がある。多光源レンダリング法は、多数の仮想的な点光源(Virtual Point Light, 以降 VPL と略す)を用いて、輝度を計算する点(以降、シェーディング点と呼ぶ)への照明を表現する手法である。多光源レンダリング法は、アルゴリズムがシンプルで用途が広いと、商業用デザインソフトウェア Autodesk 360 にも採用されている。

多光源レンダリング法では、高精細な画像を生成するために通常数十万から数百万の VPL を使用する。すべての VPL を用いてシェーディング点での反射光の輝度を計算することは計算コストが高いため、VPL をクラスタリングして高速化する手法が主流となっている^[3,4]。しかしながら、VPL をクラスタリングする手法では、クラスタリングによる誤差を制御できていないという問題点がある。クラスタリングによる誤差はアーティファクトやノイズとして画像に現れるため、誤差を制御できないと、所望の画質を得るためにはクラスタリングに関するパラメータ調整の試行錯誤が必要となり、ユーザに多大な負担がかかる。

この問題を解決するために、我々は多光源レンダリングのための誤差推定法を提案している(以降先行研究と呼ぶ)。先行研究は高精度に誤差を推定・制御できているが、物体表面における反射光のみを対象としており、煙や霧といった関与媒質中の散乱光や半透明材質内部での表面下散乱光、複雑な視覚効果に対して適用できるかは解明されていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、研究代表者の先行研究をさらに発展させ、関与媒質や半透明材質といった複雑な光学的効果(物体内部での光の散乱・減衰・透過)や、モーションブラー・被写界深度といった視覚効果に対して精度よく誤差を推定し、1度のレンダリングで所望の画質を得る効率的な手法を提案する。

人の肌や食物・飲物などに代表されるように、関与媒質や半透明材質は身の回りに溢れている。関与媒質や半透明材質の画像生成法は数多く提案されてきたが、真値との誤差を推定する手法は提案されていない。関与媒質や半透明材質をレンダリングする代表的な手法として、モンテカルロ法がある。モンテカルロ法は、サンプル数を増やすことでノイズの少ない画像を生成することができるが、所望の画質を得るためにどれだけサンプル数が必要かは解明されていない。そのため、漸近的にサンプル数を増やして画像生成を繰り返し、ノイズがあるかどうかユーザが見た目で判断する必要がある。

本研究の学術的独自性は、許容相対誤差と信頼水準という2つのパラメータを与えたら、真値との誤差を確率的に推定し、許容相対誤差以内となるようにクラスタを自動的に決定する点にある。モンテカルロ法と異なり、誤差を定量的に推定し制御することができるため、ユーザの負担が大幅に軽減され、デザイン編集や映像制作への福音となる。

3. 研究の方法

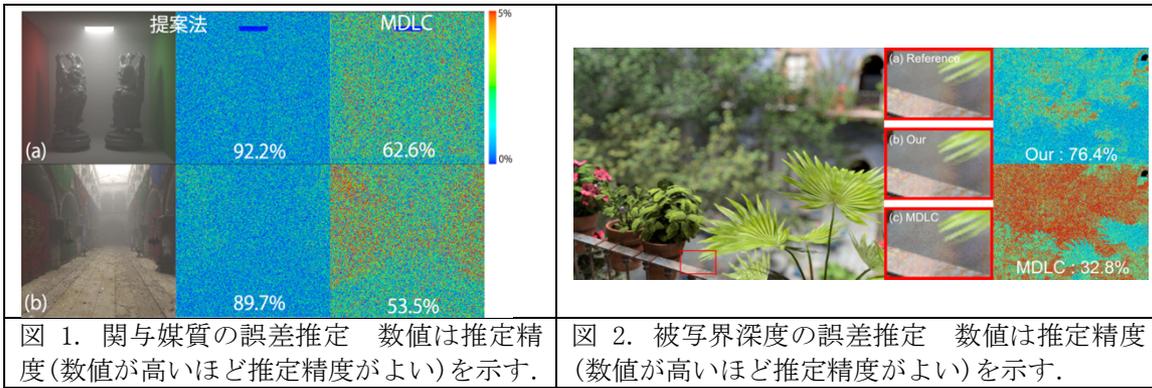
関与媒質、半透明材質、様々な視覚効果(アンチエイリアシング・被写界深度・モーションブラー)の3項目について誤差推定法を提案し、パラメータ調整不要な画像生成技術の包括的フレームワークを確立する。

4. 研究成果

(1) 関与媒質や視覚効果を考慮した誤差推定法

提案法は、VPL と、輝度を計算するシェーディング点をクラスタリングし、ピクセル値を推定する。VPL とシェーディング点のクラスタをそれぞれ VPL クラスタ、シェーディング点クラスタと呼称する。VPL クラスタとシェーディング点クラスタは、2分木で表現する。2分木の葉ノードが各 VPL(シェーディング点)に対応し、内部ノードが VPL(シェーディング点)のクラスタに対応する。VPL クラスタ CL とシェーディング点クラスタ CG を組(CL, CG)とする。

提案法では、各ピクセルについて、それぞれの2分木のクラスタからサンプリングによってピクセル値と誤差を推定する。推定誤差がピクセルの推定値と許容誤差の積よりも大きい場合、クラスタを分割するという処理を繰り返す。図1,2に、それぞれ関与媒質と被写界深度の誤差推定の例を示す。



(2) 半透明材質レンダリングのための誤差推定法

半透明材質のレンダリングでは、透過率で重み付けされた放射照度と BSSRDF の積を表面上で積分する必要がある。従来法では、この空間積分は、表面上に離散点の密な分布を作成するか、BSSRDF に基づく重点的サンプリングによって計算されていた。これらのアプローチは両方とも、サンプル数を指定する必要がある、レンダリングの品質と計算時間の両方に影響する。サンプル数が不十分な場合、レンダリングされた画像にノイズやアーティファクトが発生し、サンプル数が多すぎると、膨大なレンダリング時間を要する。我々は、多光源レンダリングにおける半透明材質の誤差推定法を提案した。我々が提案する適応サンプリングは、各ピクセル値の推定相対誤差が、ユーザが指定する閾値よりも小さくなるように、サンプル数を自動的に決定できる。図 3 に提案法による結果を示す。

		MDLC	EELC		Our method	Reference
			equal-time	equal-quality		
Two Buddhas						
	estimation accuracy :	34.0%	62.2%	90.5%	94.8%	
	RMSE :	0.0227	0.0120	0.00736	0.00564	x1.2
	render time :	9158s (1.1x)	1229s (7.9x)	<u>9658s (1.0x)</u>	1229s (7.9x)	
Head						
	estimation accuracy :	71.5%	73.2%	92.5%	94.9%	
	RMSE :	0.0173	0.0145	0.0120	0.00585	x2
	render time :	2203s (1.0x)	180s (12.4x)	<u>2225s (1.0x)</u>	180s (12.4x)	x2

図 3. 半透明材質の誤差推定。提案法(右から 2 番目)は推定精度が高く、誤差(RMSE)が少なく、レンダリング時間も短い。

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nabata Kosuke, Iwasaki Kei	4. 巻 -
2. 論文標題 Adaptive Irradiance Sampling for Many-Light Rendering of Subsurface Scattering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TVCG.2021.3066640	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Podee Nam, Max Nelson, Iwasaki Kei, Dobashi Yoshinori	4. 巻 7
2. 論文標題 Temporal and spatial anti-aliasing for rendering reflections on water waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computational Visual Media	6. 最初と最後の頁 201~215
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s41095-021-0204-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Nabata Kosuke, Iwasaki Kei, Dobashi Yoshinori	4. 巻 39
2. 論文標題 Two-stage Resampling for Bidirectional Path Tracing using Multiple Light Sub-paths	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computer Graphics Forum	6. 最初と最後の頁 219-230
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/cgf.14139	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nabata Kosuke, Iwasaki Kei, Dobashi Yoshinori	4. 巻 39
2. 論文標題 Resampling-aware Weighting Functions for Bidirectional Path Tracing Using Multiple Light Sub-Paths	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Graphics	6. 最初と最後の頁 1~11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3338994	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 名畑豪祐, 岩崎慶	4. 巻 60
2. 論文標題 多光源レンダリング法のための画像生成の効率を考慮した可視関数の確率的評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1238 - 1246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sakai Hirokazu, Nabata Kosuke, Yasuaki Shinya, Iwasaki Kei	4. 巻 5
2. 論文標題 A method for estimating the errors in many-light rendering with supersampling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computational Visual Media	6. 最初と最後の頁 151 ~ 160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41095-019-0137-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sakurai Kaisei, Dobashi Yoshinori, Iwasaki Kei, Nishita Tomoyuki	4. 巻 37
2. 論文標題 Fabricating reflectors for displaying multiple images	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Graphics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3197517.3201400	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuruga Junki, Iwasaki Kei	4. 巻 29
2. 論文標題 Sawtooth cycle revisited	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computer Animation and Virtual Worlds	6. 最初と最後の頁 e1836 ~ e1836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cav.1836	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 酒井広和, 名畑豪祐, 安明真哉, 岩崎慶
2. 発表標題 スーパーサンプリングを用いた多光源レンダリングのための誤差推定法
3. 学会等名 VC2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 元辻香苗, 名畑豪祐, 岩崎慶
2. 発表標題 微細構造における相互反射を考慮したバラのBRDF計算
3. 学会等名 画像関連連合会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Potee, N. Max, K. Iwasaki, Y. Dobashi
2. 発表標題 Temporal and spatial anti-aliasing for rendering reflection on a water surface
3. 学会等名 SIGGRAPH 2019 Poster (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Okuno, K. Iwasaki
2. 発表標題 Binary Space Partitioning Visibility Tree for Polygonal Light Rendering
3. 学会等名 SIGGRAPH ASIA 2019 Technical Briefs (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥野弘貴, 岩崎慶
2. 発表標題 パイナリ空間分割木を用いた多角形光源による影の計算
3. 学会等名 cgvi研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakai Hirokazu, Nabata Kosuke, Yasuaki Shinya, Iwasaki Kei
2. 発表標題 Error estimation for many-light rendering with supersampling
3. 学会等名 SIGGRAPH ASIA 2018 Technical Briefs (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩崎陸人, 名畑豪祐, 酒井広和, 岩崎慶
2. 発表標題 光沢反射を考慮した多光源レンダリングのための誤差推定法
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田実生, 岩崎慶
2. 発表標題 クラスタリングを用いたニューラルBTFの圧縮
3. 学会等名 情報処理学会関西支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芝池祐星, 岩崎 慶
2. 発表標題 髪のコ・毛皮のための効率的な重点的サンプリング
3. 学会等名 情報処理学会関西支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 引地 将大, 岩崎 慶
2. 発表標題 ガウス過程を用いたスペクトラルBRDFの予測
3. 学会等名 情報処理学会関西支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芝池祐星, 岩崎 慶
2. 発表標題 毛のレンダリングのための効率的な重点的サンプリング
3. 学会等名 VC2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Podede, N. Max, K. Iwasaki, Y. Dobashi
2. 発表標題 Micro-specular-highlight real-time rendering
3. 学会等名 cgvi研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今入一博, 岩崎慶
2. 発表標題 多重散乱を考慮したCook-TorranceBRDFの球面調和関数近似
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西和輝, 岩崎慶
2. 発表標題 スペクトルを考慮した計測BRDFの圧縮表現
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	土橋 宜典 (Dobashi Yoshinori) (00295841)	北海道大学・情報科学研究所・教授 (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------