

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：14701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700093

研究課題名(和文)あらゆる反射特性に対応した環境照明下の動的シーンのリアルタイムレンダリング

研究課題名(英文)Real-time Rendering of Dynamic Scenes with All-frequency Lighting and BRDF

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) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、環境照明下における動的なシーンをリアルタイムにレンダリングする手法を提案する。環境照明により照らされる物体表面の輝度を計算するには、照明、可視関数、BRDFの積を積分計算する必要があるが、この計算は非常に高負荷な処理となる。本研究では、照明とBRDFを球面ガウシアンで表現し、可視関数をSSDF(Spherical Signed Distance Function)で表現する。SSDFの計算は負荷の高い処理であるため、事前計算を必要としており、動的なシーンへの適用ができなかった。本研究では、物体を球の集合で近似することにより、高速にSSDFを計算する手法を提案する。

研究成果の概要(英文)：We propose a real-time rendering method for dynamic scenes under all-frequency environmental lighting. To render the object surfaces illuminated by distant environmental lighting, our method represents the environmental lighting and the BRDFs with spherical Gaussians and represents the visibility functions with spherical signed distance functions (SSDFs). Although these representations enable us to render scenes under all-frequency lighting in real-time, the previous method is limited to static scenes since the computational costs of SSDFs are quite high. To address this problem, we propose an efficient calculation method of SSDFs by approximating the object geometries with a set of spheres. Moreover, to accelerate the SSDF calculation, our method employs the hierarchical representation of spheres. This makes it possible to render fully dynamic scenes where the viewpoints, lighting, and BRDFs can be changed at run-time and objects can move, rotate and be deformed in real-time.

研究分野：グラフィクス

キーワード：レンダリング イメージベースライティング BRDF 球面ガウス関数

1. 研究開始当初の背景

コンピュータグラフィックスの分野において、高精細でフォトリアルな画像を高速にレンダリングする研究は、重要な研究課題の一つとして、現在まで多くの研究がなされてきた。近年、照明情報として実際の画像（環境マップ）を利用し、現実の複雑な環境照明下で現実感のあるシーンをレンダリングする Image-based Lighting 手法の研究が盛んに行われている。環境マップで表現された照明を考慮したレンダリングでは、全方位からの入射光を考慮する必要があるため、計算量が非常に多く、高速にレンダリングすることは困難であった。

Sloan らは、物体表面での光の遮蔽や反射といった伝達関数を前計算しておく Pre-computed Radiance Transfer (PRT) を提案し、環境照明下のシーンのリアルタイムレンダリングを可能にした。この手法を拡張する手法が多く提案されている。しかし、それらの手法は、動的なシーンや変形物体、全周波照明環境、あるいは、鋭い鏡面反射特性を扱うことができない。そのため、複雑な全周波照明環境において、鋭い鏡面反射を含む反射特性 (BRDF) を再現可能な、動的なシーンのリアルタイムレンダリングの実現は、未だに困難である。

2. 研究の目的

本研究では、全周波照明環境下で動的なシーンをリアルタイムにレンダリングする手法を提案する。直接光のレンダリングは、物体表面の各計算点において余弦項、環境照明、可視関数、そして、BRDF の積を積分する。本研究では、環境照明、BRDF、そして、余弦項を、球面放射基底関数 (Spherical Radial Basis Function, SRBF) の一種である球面ガウシアン (Spherical Gaussian, SG) で表現し、可視関数は符号付き球面距離関数 (Spherical Signed Distance Function, SSDF) で表現する。これにより、高負荷な

積分処理を軽減することができ、全周波照明環境下のシーンをリアルタイムにレンダリングすることが可能になるが、従来手法では、可視関数である SSDF の計算コストが非常に高価であったため、静的なシーンに限定されていた。

この問題を解決するため、本研究は、球集合で物体を近似することによる、SSDF の効率的な計算手法を提案する。本研究で提案する手法は GPU 上で実装され、回転、移動による剛体物のアニメーションや、キャラクターのスキndeフォメーション等の変形物体を含む、完全に動的なシーンをリアルタイムにレンダリングすることができる。また、視点、照明、BRDF をリアルタイムに変更可能である。提案手法の特徴としては以下の点が挙げられる。

- 物体を球で近似することにより、SSDF をリアルタイムに計算。
- 視点・照明・物体の位置・物体の形状・BRDF をリアルタイムに変更可能。
- 複雑な環境照明および鋭い鏡面反射材質に対応することにより、高精細な画像の生成が可能。

3. 研究の方法

本論文では、視点・物体の位置や形状・照明・BRDF をレンダリング時に変更可能な動的シーンのリアルタイムレンダリング手法を提案する。提案法では、直接光についてのみ対象とする。説明簡略化のため、入射光として環境照明を考慮するが、点光源や平行光線への適用も可能である。提案法では、BRDF を拡散反射成分と鏡面反射成分に分けて輝度計算を行う。拡散反射成分の計算では、照明を少数の球面ガウシアンで近似する。鏡面反射成分の計算では、異なる鋭さの球面ガウシアンについて畳み込み演算した prefiltered environment maps を利用する。拡散反射成分および鏡面反射成分のどちらの計算においても、球面ガウシアンと可視関数の積の積分が必要となる。Wang らはこの計算に SSDF を利用していたが、SSDF を事前に計算していたため動的シーンへの対応はできなかった。提案法では、物体を球の集合で近似することによってレンダリング時に SSDF を高速に計算する。また、一つの計算点につき、物体を近

似するすべての球に対して SSDF を計算，探索する必要があるため，計算コストが高い．そこで，球集合を利用し階層構造である BVH (Bounding Volume Hierarchy) を構築し SSDF の計算を高速化する．これらの計算は全て GPU 上で行われ，頂点単位で各球面ガウシアン の SSDF の値を計算し，ピクセル単位で SSDF の値を補間して輝度を計算する．

4. 研究成果

図 1 から図 4 に本研究による結果例を示す．計算環境はいずれも CPU が Core i7 3.33GHz，GPU は GeForce GTX480 を搭載した PC である．

図 1，図 2，図 3 は剛体物の移動アニメーションシーンに提案法を適用した結果画像である．モデルは図 1 と図 2 は Stanford Bunny を，図 3 はチェスモデルを使用した．

図 1，2 の Stanford Bunny のシーンは，全体の頂点数が 14,468 頂点であり，近似に用いた球の数は 512，環境照明を近似する球面ガウシアン の数は 10 である．また，更新速度はいずれも平均 42fps である．図 1，は物体表面全体に鋭い鏡面反射 BRDF を設定し描画した結果である．BRDF は Ward モデルを用いた．環境照明からの光が，床面やウサギの表面において，鏡のように反射していることが確認できる．なお，図 52 は環境照明の光源として用いた環境マップを回転することにより，環境光の入射方向を動的に変えてレンダリングしている．なお，このような照明の回転や変更もリアルタイムで実行可能である．

図 2 は，図 1 と同様のシーンを用い，物体表面の BRDF として Ward モデルを赤の領域に，Blinn-Phong モデルを緑の領域で用いた．なお，それ以外の部分の BRDF を拡散反射として描画した．提案法では，このようなピクセル単位で異なる BRDF を適用することも可能である．BRDF を近似する球面ガウシアン の数はどちらも 1 である．

図 3 のチェスモデルのシーンは，全体の頂点数が 62,400 頂点であり，近似に用いた球の数は 430，環境照明を近似する球面ガウシアン の数は 10 である．また，更新速度はいずれも平均 34fps である．チェスの駒や盤面等，物体表面全体に鋭い鏡面反射 BRDF を設定し描画した．BRDF は Ward モデルを用いた．BRDF を近似する球面ガウシアン の数は 1 である．また，盤面にはチェッカー模様のテクスチャを張り付けてある．

図 4 は，キャラクターアニメーションへ提案法を適用した例である．キャラクターオブジェクトは変形可能な物体であり，提案法は剛体だけでなく変形物体へも適用可能である．なお，提案法は複雑な物体上にも適用可能である．シーンの全頂点数は 21,918 で 球の数は 105，環境照明を近似する球面ガウシアン の数は

10 である．レンダリング速度は平均 120fps であり，リアルタイムレンダリングが実現できている．

物体を球の集合で近似することにより，遮蔽情報である SSDF を高速に計算する手法を提案した．さらに，階層構造である BVH を用いることにより，SSDF 計算を高速化する手法を提案した．従来手法では数十分要していた SSDF の計算を，GPU を利用することによってリアルタイムに計算することが可能となった．提案法により，全周波環境照明下における動的なシーンをリアルタイムにレンダリングすることができた．動的なシーンにおいてもリアルタイムに視点，照明および BRDF が実行時に変更可能である．提案法は剛体物に限らず，変形物体にも適用可能である．また，鋭い鏡面反射や SVBRDF を表現することができる．

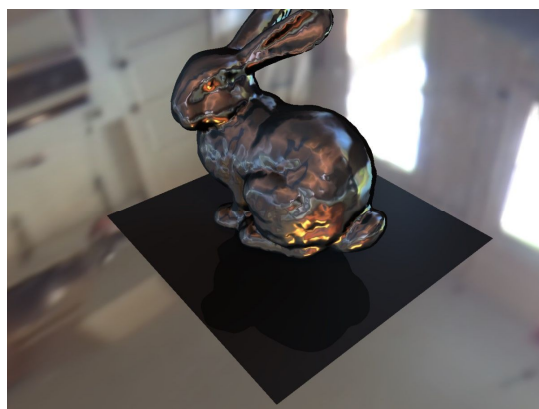


図 1 環境照明下の鋭い鏡面反射物体のレンダリング画像

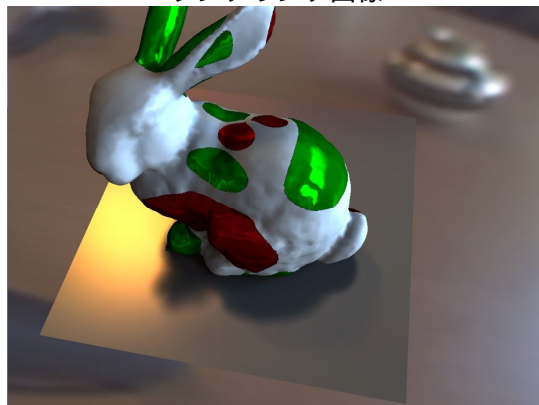


図 2 環境照明下における SVBRDF (Spatially Varying BRDF) のレンダリング画像



図3 様々な材質のチェスシーンのレンダリング画像



図4 変形する物体への適用例

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7件)

K. Iwasaki, K. Mizutani, Y. Dobashi, T. Nishita, Interactive Cloth Rendering of Microcylinder Appearance Model under Environment Lighting, Computer Graphics Forum (Eurographics 2014), Vol. 33, No. 2, pp.333-340, 2014. (査読有)

名畑豪祐, 岩崎慶, 土橋宜典, 西田友是, レイサンプリングによる効率的な分割統治法を用いたレイトレーシング, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 12, pp. 2559-2568, 2014. (査読有)

M. Shinya, Y. Dobashi, K. Iwasaki, M. Shiraishi, T. Nishita, A Simplified Plane-parallel Scattering Model for Rendering Densely Distributed

Objects such as Foliage, Journal of Information Processing, Vol. 21, No. 2, pp. 349-357, 2013. (査読有)

K. Iwasaki, Y. Dobashi, T. Nishita, Interactive Bi-scale Editing of Highly Glossy Materials, ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH ASIA 2012), Vol. 31, No. 6, 144:1-144:7, 2012. (査読有)

K. Iwasaki, W. Furuya, Y. Dobashi, T. Nishita, "Real-time Rendering of Dynamic Scenes under All-frequency Lighting using Integral Spherical Gaussian", Computer Graphics Forum (Eurographics 2012), Vol. 31, No. 2, pp. 727-734, 2012. (査読有)

古家 亙, 岩崎慶, 土橋 宜典, 西田 友是: 球近似と符号付き球面距離関数による動的シーンのリアルタイムレンダリング, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 7, 2012. (査読有)

[学会発表](計13件)

吉田弘志, 岩崎慶, 多光源レンダリング法のための効率的な重要度キャッシング法, 画像電子学会第271回研究会, 2015/2/28, 和歌山大学(和歌山県・和歌山市).

大津 久平, 楽 詠コウ, 侯 啓明, 岩崎慶, 土橋 宜典, 須田 礼二, 西田 友是, メトロポリス光輸送法における双方向変異法のための光路サンプリング戦略決定について, グラフィクスとCAD研究会, 2015-CG-158(2), pp. 1-7, 2015/2/27, 理化学研究所(埼玉県・和光市).

K. Mizutani, K. Iwasaki, Importance Sampling for Cloth Rendering under Environment Light, Symposium Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis (MEIS) 2014, pp.

81-88, 2014/11/13, Nishijin Plaza
Kyushu University (Fukuoka,
Fukuoka).

名畑豪祐, 岩崎慶, 土橋宜典, 西田友是,
多光源レンダリングのための効率的な可
視関数の確率的評価法, VC/GCAD 合同シ
ンポジウム 2014, 2014/6/30, 早稲田大
学国際会議場(東京都・新宿区).

岩崎慶, マイクロシリンダモデルを用い
た布の高速レンダリング, 第 155 回グラ
フィクスと CAD 研究会, 2014/6/28, NTT
横須賀研究開発センター(神奈川県・横
須賀市).

川口貴大, 岩崎慶, クラスタ主成分分析
による符号付き球面距離関数の圧縮, 情
報処理学会全国大会, 2ZC-5, 2014/3/11,
東京電機大学(東京都・足立区).

仲北和弘, 岩崎慶, 非等方性球面ガウス
関数を用いた環境マップの近似手法, 情
報処理学会全国大会, 2ZC-6, 2014/3/11,
東京電機大学(東京都・足立区).

H. Otsu, Y. Yue, Q. Hou, K. Iwasaki, Y.
Dobashi, T. Nishita, Replica Exchange
Light Transport on Relaxed
Distributions, SIGGRAPH 2013 Poster,
2013/7/21-25, Anaheim(USA).

K. Nabata, K. Iwasaki, Y. Dobashi, T.
Nishita, Efficient Divide-And-Conquer
Ray Tracing using Ray Sampling, High
Performance Graphics 2013, pp.
129-135, 2013/7/19-21, Anaheim(USA).

水谷一貴, 岩崎慶, 土橋宜典, 西田友是,
環境照明下の布の高速レンダリングと外
観編集, VC/GCAD 合同シンポジウム
2013/6/22, 青森市文化会館(青森県・青
森市).

北出晋一, 岩崎慶, 仮想照明を考慮した
MR シーンのレンダリング, 電子情報通
信学会, 2013/3/19-22, 岐阜大学(岐阜県・
岐阜市).

水谷一貴, 岩崎慶: 環境照明下における
布のレンダリング, 情報処理学会関西
支部 2012 G-18, 2012/9/21, 大阪大学
中之島センター(大阪府・大阪市).

岩崎慶, 土橋宜典, 西田友是: 球面ガ
ウス関数を用いた微細なスケールの
BRDF 編集, VC/GCAD 合同シンポジウ

ム 2012, 2012/6/24, 早稲田大学国際会
議場(東京都・新宿区).

〔図書〕(計 1 件)

コンピュータグラフィックス 改訂新
版(第 4 章の一部執筆), CG-ARTS 協
会, ISBN 978-4-903474-49-6, 2015.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~iwasaki/>

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

該当しない

(3) 連携研究者

該当しない