

GPUを用いた油絵具のリアルタイムレンダリングに関する研究

山田 英樹[†] 斎藤 豪[†] 中嶋 正之^{†‡}[†] 東京工業大学 大学院情報理工学研究科[‡] 国立情報学研究所

1 はじめに

本研究では、NPRにおける一分野である画材のモデル化の中でも特に、油絵の発色のモデル化に関する研究を行う。

油絵の発色は非常に複雑である。その色調や光沢は用いる顔料や顔料を溶かす媒材の種類や比率によって大きく異なる。2色性反射モデルによれば、物体表面の反射は物体内部に取り込まれ、反射を繰り返して拡散光となって外に出る拡散反射成分と、鏡のように物体表面のみで入射光を反射する鏡面反射成分の和からなる。

提案手法では、拡散反射成分については薄膜内での光の挙動を散乱係数・吸収係数によってモデル化したKubelka-Munkモデルを用いて計算する。これにより、RGBなどの従来の3次元色空間上での色計算では困難であった、絵の具の厚みによる色変化、混合や塗り重ねによる混色の再現が可能となった。

また、鏡面反射成分についてはBRDF計測装置[1]を用いて計測した油絵具のBRDFデータを適用する。これにより、3DCGにおいてよく用いられるPhongなどの簡易的なシェーディング手法では不十分であった油絵表面のつや、質感、凹凸感などを再現する事ができた。

2 Kubelka-Munk モデル

Kubelka-Munkモデルとは絵の具層内の光に対する特性を吸収係数 K と散乱係数 S によって表すモデルである。 K, S は高濃度である場合を除いて絵の具の濃度に対して比例関係にある。従って、 K, S によって絵の具を表すことで混合と濃度に関する色計算を容易に行うことができる。しかし、散乱係数 S と吸収係数 K を実際の絵の具から直接測定する事は困難であるので計算によって導出するのが一般的である。実測値から計算に基づいて導出する方法[2]や、ユーザの入力から導出する方法[3]などが考案されている。我々は

現在、それぞれの手法を併用している。

Kubelka-Munkモデルを用いる場合、可視光帯域の標本数は発色の鮮やかさと重要な関わりがある。帯域を均等にサンプリングした場合、18個の標本数が計算負荷と色誤差の両面から考えて適当[2]との報告があるが、GPUを計算に用いる場合、テクスチャメモリの制限から、標本数を4の倍数とするのが望ましい。今回、現在のハードウェアの性能と、色計算部分以外でのGPUリソースの事を考え、標本数を8個とした。少ないサンプル点で色計算を行う場合、均等間隔のサンプリングでは不十分であるため、錐体の感度特性を利用して不均一なサンプリング点の決定を行った。

3 油絵のBRDF

前項の色には、油絵の特徴的な点である光沢感を出す鏡面反射の成分は含まれていない。光沢は、一般に物体表面の法線に対する光の入射方向角と視線の観察方向角によって光の放射量が異なることで生じる。油絵の表面も、角度によって放射量の変化が大きいため光沢が感じられる。

3DCGにおいて一般的に用いられるシェーディングモデルとして、Phongモデルなどの少数のパラメータで表現されるパラメトリック反射関数モデルがある。このようなモデルは、実装が簡単で計算コストが低いなどのメリットがあるが、現実中存在する多くの物体の質感の再現には不十分であることが知られている。

そこで、我々はパラメトリック反射関数による近似を用いることなく、BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function)を計測するという手法をとる。

図に示すBRDF計測装置を用いて、油絵のBRDFをスペクトル計測する。計測に用いたサンプルは、カドミウムレッドの絵の具を表面の凹凸が無視できるほど平らに塗布したものである。

こうして計測したBRDFは、もちろん拡散反射の成分も含むため、そのまま適用することはできない。そこで、偏光を用いて拡散反射成分と鏡面反射成分を分離する手法[4]を用いる事とした。この手法では、直線偏光させた光は鏡面反射した場合その偏光が残り、拡散反射した場合偏光が打ち消される事を利用している。光源とレンズに直線偏光板を装着し、偏光板を回転させて5回ほど計測することにより、拡散反射成分と鏡

Realtime Rendering of Oil Painting using GPU

Hideki YAMADA[†],Suguru SAITO[†], and Masayuki NAKAJIMA^{†‡}[†]Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology[‡]National Institute of Informatics[†]hideki@img.cs.titech.ac.jp

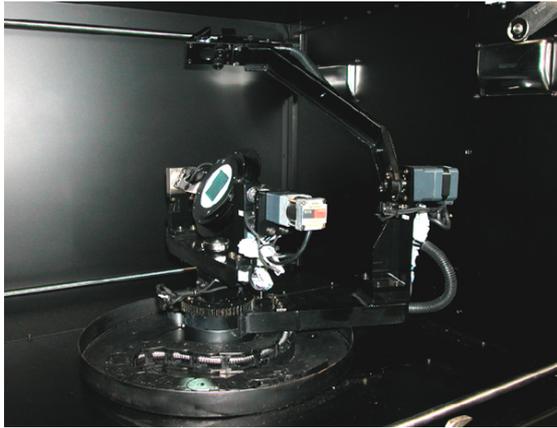


図 1: BRDF 計測装置 S-OGM3

面反射成分を分離することができる。

このようにして分離した鏡面反射成分の方をシェーディングに利用する。

4 評価

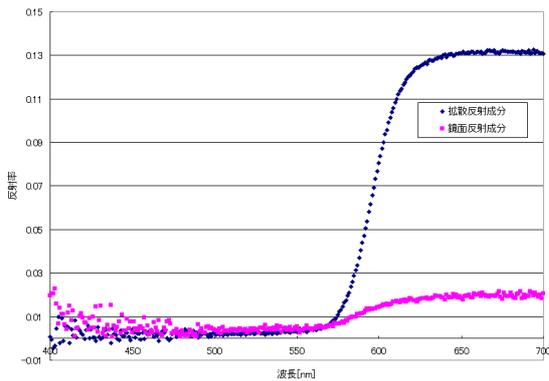


図 2: 鏡面反射・拡散反射分離結果 1

図 2,3 が、計測結果の鏡面反射成分のピークと一番弱い所の分離結果を標準白色版の反射率を 1 としてプロットしたものである。ピークにおける鏡面反射成分は、拡散反射成分と比べて非常に強く、一方でピークをはずれるとほとんど 0 に近い事がわかる。このようにして計測した鏡面反射成分を、GPU 上で Kubelka-Munk モデルによる結果に加算することで、リアルタイムで油絵の質感を得ることができる。

5 結論

拡散反射成分に Kubelka-Munk モデルを用い、鏡面反射成分は実測した BRDF データを使うことによってリアリスティックな油絵の質感を得ることができた。ま

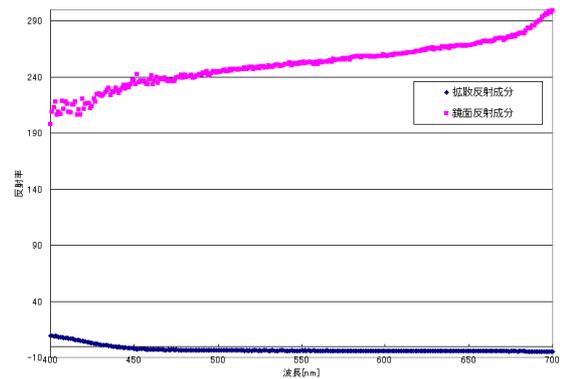


図 3: 鏡面反射・拡散反射分離結果 2

た、GPU で実装することによってリアルタイムのレンダリングを可能とし、インタラクティブなペインティングツールで利用することが可能となった。

謝辞

本研究は、JST CREST(メディア芸術の創造の高度化を支える先進的科学技术の創出) 採択研究「デジタルメディアを基盤とした 21 世紀の芸術創造」の一部として行っており、厚く感謝致します。

参考文献

- [1] 竹村, 坂口, 三ツ井, 国松, 山内, 千原: “異方性反射特性の測定と可視化手法の提案”, 計測自動制御学会第 7 回パターン計測シンポジウム (2002).
- [2] 齋藤, 中嶋: “Kubelka-munk の理論を用いたデジタルペインティングのための絵の具モデル”, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), 第 J82-D-II 巻, pp. 399-406 (1999).
- [3] C. J. Curtis, S. E. Anderson, K. W. Fleischer and D. H. Salesin: “Computer-generated watercolor”, In SIGGRAPH 97 Conference Proceedings, pp. 421-430 (1997).
- [4] L. B. Wolff and T. E. Boult: “Constraining object features using a polarization reflectance model”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 13, pp. 635-657 (1991).