

コンピュータグラフィクスによる質感表現技術

研究代表者 土橋 宜典（北海道大学大学院情報科学研究科・准教授）

研究分担者 岩崎 慶（和歌山大学大学院システム工学研究科・准教授）

岡部 誠（静岡大学大学院総合科学技術研究科・准教授）

井尻 敬（芝浦工業大学工学部情報工学科・准教授）

藤堂 英樹（中央学院大学現代教養学部・助教）

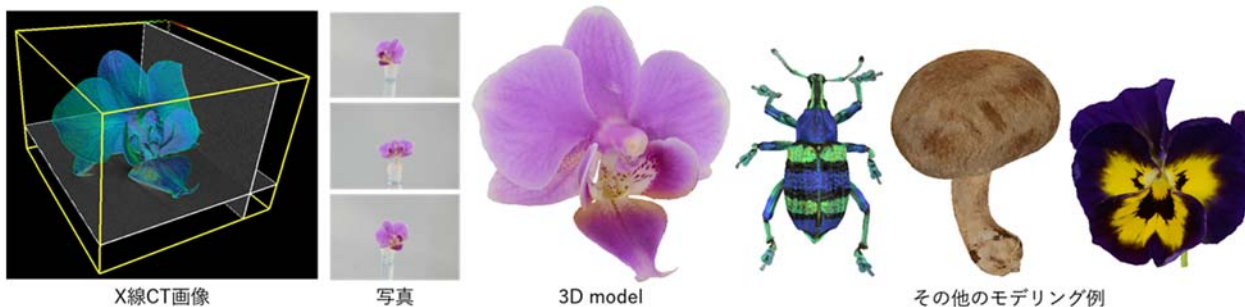


図1：X線 CT 画像と写真に基づく実オブジェクトのデジタルモデル化

○研究の背景と目的

CG を用いて非常にリアルな画像を生成することが可能となってきました。CG を使ったリアルな質感の表現は人の認知メカニズムの解明から映画やゲームなどのエンターテインメントまで広く利用されています。本チームでは、その構造が複雑な物体を主な対象として、CG による質感表現とその応用に関する研究を進めています。

CG によって質感を再現するには、対象物の構造をできるだけ正確にモデリングする必要があります。煙や炎のような複雑な動きを伴う物体の場合は、その動きまで含めたモデリングが求められます。そして、モデリングされた対象物にレンダリングと呼ばれる輝度計算処理を施すことで画像データが生成され、視覚的な質感が表現されます。

質感表現の応用では、必ずしも物理的に正確な質感が求められるとも限りません。絵画やアニメでは、抽象化された質感表現が用いられます。こういった応用では、物理的な正確性とは異なる新しい計算方法が必要です。また、質感表現の逆問題も重要な課題です。これは目的とする質感が与えられた場合に、その質感を実現する構造を計算する問題です。

本稿では、このような CG を用いた質感表現にかかわる本チームのこれまでの成果を報告します。

○X線 CT と写真による実物体のデジタル化

食べ物や植物、昆虫などの複雑なオブジェクトを対象として、X 線 CT と写真の両方を用いてテクスチャ付き 3 次元デジタルモデルを構築するシステムの開発を行いました【学会発表 1】。計測対象物を X 線 CT 撮影し、得られた 3 次元画像を領域分割することで形状を取得します。しかし、この処理で得られるのは形状のみで色情報が含まれていません。そこで、市販のデジタルカメラにより対象物を様々な方向から撮影した写真を取得します。そして、写真と 3 次元形状との位置合わせを最適化問題として定式化し、この位置合わせ結果よりテクスチャを復元します。その結果、色のついた非常に精巧なデジタルモデルを構築できます（図 1）。

○効率的な輝度計算法の開発

質感を正確に再現するには、仮想環境内での光の振る舞いを正確にシミュレーションした上で対象物の輝度計算を行う必要があります。しかし、一般に、そのような計算には膨大なコストがかかります。そこで、その高速化を行う手法の開発に取り組んでい



図2：精密な誤差評価に基づく高速輝度計算法

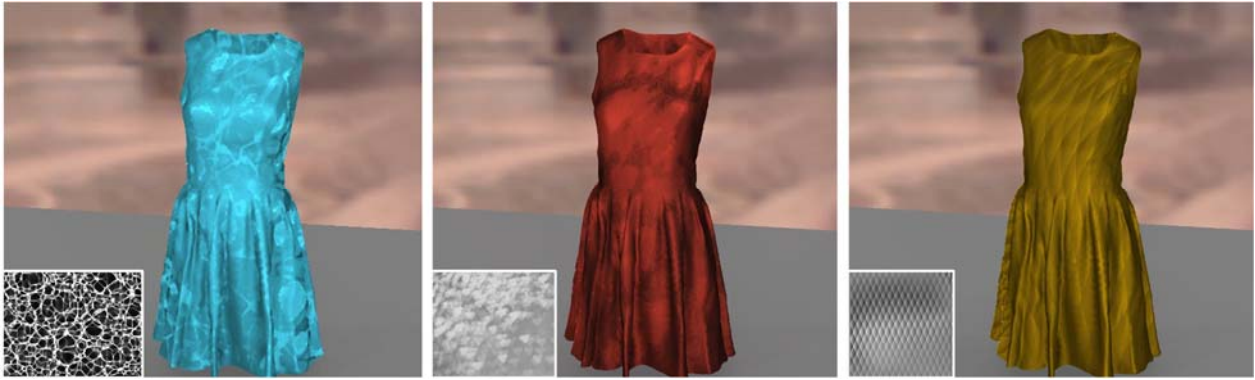


図3：織パターンの逆算によりデザインしたドレス

ます。現在までに、光の相互反射と散乱現象の効率的な計算に成功しています。

光の相互反射の計算に関しては、計算誤差を厳密に評価しながら、光源をグループ化することで、目的の計算誤差を満たしつつ、必要最低限の計算コストで輝度計算を行う方法【論文1】やGPUと呼ばれる並列計算に特化した演算チップをフル活用し、計算誤差を評価しながらアダプティブに輝度計算を行う方法を開発しました【学会発表2】。また、光の散乱現象の計算に関しては、散乱方程式の解析解に基づく高速レンダリング法【論文2】や重要度サンプリングと呼ばれる方法を用いて効率的に多重散乱光を計算する方法を開発しました【学会発表3】。これらの手法により、従来法より数倍から数十倍の高速化を達成しました。図2に計算例を示しています。

○質感表現の逆問題

目的の質感を再現するように対象物体の構造を逆算する方法の開発に取り組んでいます。二つの研究を行いました。

一つ目は、布に関する研究で、ユーザによって与えられる目標画像が反射光として表示されるよう布の織パターンを逆算する方法を開発しました【論文3】。与えられた目標画像の各輝度レベルと織パターンを対応させるマッピング関数を求めることでこれを実現します。この問題をグラフの最短経路問題として表現し、ダイナミックプログラミングを用いて効率的に算出する方法を開発しました。図3にその一例を示しています。左下の画像に示す模様が現れるようドレスの織りパターンを逆算しています。

もう一つは目的の画像が反射光として表示される特殊な反射板の設計法を開発しました【学会発表4】。目的の画像は複数枚指定することができ、観察方向によって表示される画像が切り替わります。これは反射板の表面に微細なストライプ状の壁を構築することで実現しています。反射率を最大化する壁を求める最適化問題を解いています。実際にUVプリンタを用いて制作し、有効性を確認しました。

○手描きイラストからの形状推定

手描きイラストでは、簡略化あるいはデフォルメされた陰影表現が行われます。本研究では、そのよ



図4：イラストのリライティング

うなイラスト画から形状を推定する問題に取り組みました【論文4】。この問題は非常に複雑で、物理モデルを当てはめるだけでは適切な形状推定が行えません。また、ただ一つだけ解が存在するとも限りません。そこで、イラストの輪郭線から推定される粗い初期形状から徐々に最適な形状へと更新していく手法を開発しました。この方法によって、入力されるイラストの陰影が再現される3D形状の算出が可能になりました。そして、推定した形状を用いて光源方向を変更した画像の自動生成処理（リライティング処理）を実現しました。イラストを描く作業は手間がかかるため計算機によって自動的に陰影を変更できれば作業時間の短縮につながります。図4はこの方法を用いた例を示しています。

○流体の質感表現

CGによる表現が難しい対象の一つが流体です。流体の質感を表現するにはその複雑な動きを再現しなくてはなりません。また、エンターテインメント応用では、単に再現すればよいだけでなく、流体らしい質感を保ちながら目的の映像効果を表現することが求められます。この課題に対し、数値シミュレーションと画像合成という二つのアプローチによる研究を進めています。

数値シミュレーションを利用した研究では、炎の動きをコントロールする手法を開発しました【論文5】。ユーザが指定した位置に炎が差し掛かるように仮想的な外力を発生させ、その大きさを自動調整します。この方法によって流体の質感を維持しながら目的の炎の表現を実現することを可能としました。図5はこの方法によってドラゴンの吐く炎を制御し、



図5：炎の動きのコントロール

より迫力のある映像を生成した例を示しています。

画像合成を用いた研究では、与えられた水の静止画像から動画像を生成する手法を開発しました【論文6】。あらかじめ水の流れを撮影した動画像を大量に準備しておき、与えられた静止画から適切な動画像を検索し、シームレスに合成することで実現しています。動画像検索に水の見たと動きの特徴量を用いることで、与えられた静止画の質感を保つように動画像の合成を行うことが可能です。実写だけでなく、絵画として描かれた水の静止画から自然な動画像を生成することにも成功しました。図6はその一例を示しています。

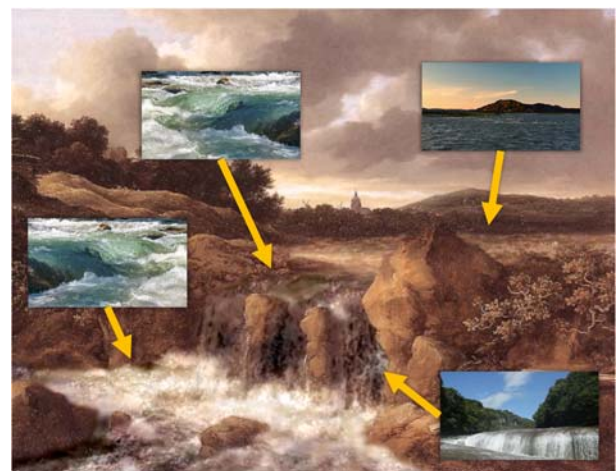


図6：水面画像の動画化

○関連する研究発表 論文

1. Kosuke Nabata, Kei Iwasaki, Yoshinori Dobashi, Tomoyuki Nishita, "An Error Estimation Framework for Many-Light Rendering" Computer Graphics Forum, Vol.35, No.7, pp.431-439, Oct 2016.
2. Mikio Shinya, Yoshinori Dobashi, Michio Shiraishi, Motonobu Kawashima, Tomoyuki Nishita, "Multiple Scattering Approximation in Heterogeneous Media by Narrow Beam Distributions," Computer Graphics Forum, Vol. 35, No. 7, pp. 373-382, Oct. 2016.
3. Yoshinori Dobashi, Kei Iwasaki, Makoto Okabe, Takashi Ijiri, Hideki Todo, "Inverse Appearance Modeling of Interwoven Cloth," The Visual Computer (in press).
4. Hideki Todo, Yasushi Yamaguchi, "Estimating Reflectance and Shape of Objects from a Single Cartoon-shaded Image," Computational Visual Media, Vol. 3, Issue 1, pp. 21-31, 2017.
5. Syuhei Sato, Keisuke Mizutani, Yoshinori Dobashi, Tomoyuki Nishita, Tsuyoshi Yamamoto, "Feedback Control of Fire Simulation based on Computational Fluid Dynamics," Computer Animation and Virtual Worlds, Vol.28 Issue.3-4

e1766, 2017.

6. Makoto Okabe, Yoshinori Dobashi, Ken Anjyo, "Animating Pictures of Water Scenes Using Video Retrieval," The Visual Computer (in press).

学会発表など

1. 井尻敬, 藤堂英樹, 小檜山賢二, 平林晃, 土橋宜典, X線CTと写真を用いたテクスチャ付き三次元モデルの生成法, Visual Computing / グラフィクスとCAD 合同シンポジウム 2017. VC 賞.
2. Namu Podee, Kei Iwasaki, Yoshinori Dobashi, Tsuyoshi Yamamoto, "Efficient Adaptive GPU Path Tracing," Proc of IEVC 2017, 2017.
3. Ryosuke Enotani, Shinya Tasuaki, Kei Iwasaki, Yoshinori Dobashi, Tomoyuki Nishita, "Importance Caching for Homogeneous Participating Media," Proc of IEVC 2017, 2017. *Best Paper Award*.
4. Kaisei Sakurai, Yoshinori Dobashi, Tomoyuki Nishita, "A Method for Fabricating Reflectors Presenting Multiple Colored Images by Raised Linear Stripes," Proc of IEVC2017, 2017. *Excellent Paper Award*.