



「アジアの CG 技術開発」

倉地 紀子

「CG 技術といえばアメリカ」という考え方がこの 10 年来常識とさえされてきたがこの 2,3 年、アジアにおける CG 技術開発が活気をおびてきている。

今回は、日本の隣国、中国を本拠地とするマイクロソフト・アジアから発表され、世界的にも高い評価を受けた技術を紹介する。

マイクロソフト・アジア

アジアの CG 技術開発の中でも、今年の SIGGRAPH2005 で、テクスチャやリアルタイム・レンダリングの分野で 5 つに論文を同時に発表した Microsoft Research Asia(MSRA) の活動には、目を見張るものがある。

MSRA は、1998 年に中国の北京に設立された研究開発部門で、インタラクティブなコンピュータ技術の開発を目的とする 9 つのグループから構成されている。SIGGRAPH で数々の論文を発表しているのは、その中の Internet Graphics Group というグループだ。“Internet Graphics”というだけあって、GPU を意識したリアルタイム・レンダリングに焦点があてられており、特にテクスチャを用いてリアリズムを追求している点が大きな特徴となっている。そして、これから一連の研究への橋がけとなったのが、2001 年に発表された BTF レンダリングの論文だった (*1)。

BTF という概念

BTF (Bi-directional Texture Function) という概念そのものは、90 年代後半にコンピュータ・サイエンス (コロンビア大学) で考案されたもので、物体表面が持つ反射特性をテクスチャによ

って定義したものを指しており、実質的には、物体表面上の少領域をライトと視点の方向を変えて撮影した 1 セットの画像の集合となっている。BTF レンダリングでは、これらの複数の小さなテクスチャを、物体表面の各部分がもつ幾何学的な特徴に合わせてフィルタリングし、物体表面全体に展開する。

物体の反射特性を復元するために、物体表面上の少領域をライトと視点の方向を変えて撮影するということは、BTF 以前にも頻繁に行われていた。ただし、この場合には、小領域内の各サンプル点で計測された反射特性を平均化したものをその領域の反射特性としており、撮影画像から小領域全体に渡る反射特性の変化を捉えるということは考えられていなかった。このため、物体表面の材質が作り出す微妙な陰影を表現することができず、たとえば衣服などをレンダリングした場合に、どうしてもフラットな印象を与えてしまう。

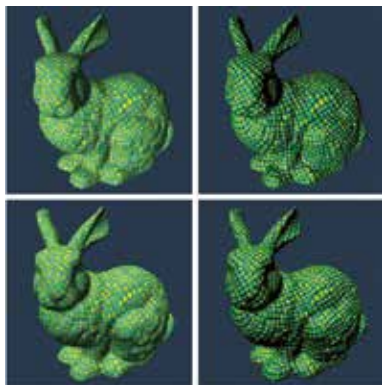
これに対して、BTF レンダリングでは、最終的な画像の各ピクセルには、撮影画像のいずれかのピクセル (もしくはそれらを補間したもの) があてがわれる。そもそも撮影された画像は領域内の反射特性の変化も正確に掴んでいるため、これによって、レンダリングされた画像でも、その各部分では位置の変化による反射特性の変化が正確に反映されていることになる。もっとも、BTF が考案された段階では、このデータをうまく利用することによって、位置の変化による反射特性の変化を表すことができるという点には気付かれておらず、MSRA が発表した BTF レンダリングの論文は、BTF が持つ

このような特徴を初めて明らかにしたもののとなっている。

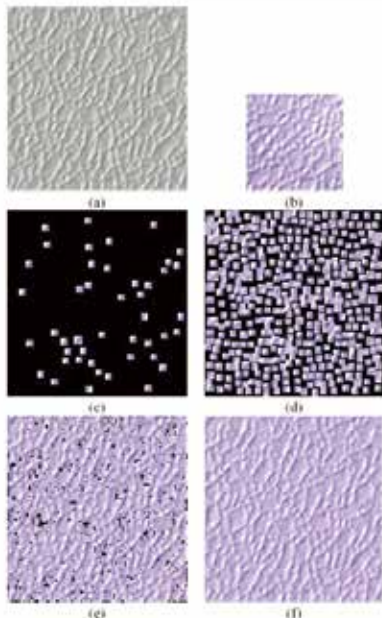
BTF の進化

MSRA は、その後 BTF レンダリングを進化させた論文を次々に発表している。上記の論文では、BTF レンダリングを適用できる幾何学的な形状にかなり制限があったが、その翌年には、この方法を任意の形状の物体にも対応できるように改善した手法を発表した (*2)。そして、昨年は、BTF レンダリングをサブサーフェース・スキャンタリング (SSS) の表現に応用した、Shell Texture Function(STF) という手法 (*3) を発表して話題となった。点光源を用いたジェンセンの SSS モデルでは、物体内部での散乱の特徴は一定で、位置の変化によって変化することはないとされている。そこで、上記の手法では、ジェンセン・モデルを適用する領域の上部を、厚みを持った BTF データで覆い (STF)、STF に BTF レンダリングに準じたレンダリング方法を適用する。これによって、物体表面のディテールや物体表層部での散乱の特徴が、位置の変化によってどのように変化するかまで考慮して、SSS の計算を行うことが可能となる。

一般的にトランスルーセントな質感が非常に顕著な場合には、位置の変化による散乱の特徴を考慮せずともかなり正確な結果を得ることができるが、SSS は極端にトランスルーセントな物体ではなくても起こり得る現象だ。そして、その場合には、位置の変化による散乱の特徴の変化が結果に影響を及ぼすことがわかっている。そこで、今年は、このような物



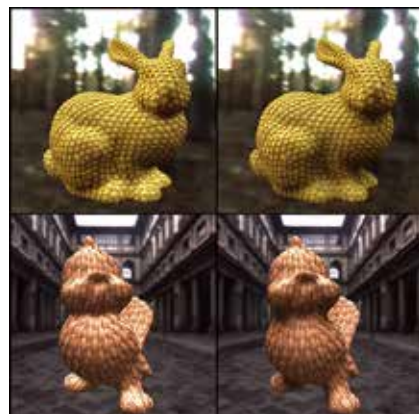
“Synthesis of Bidirectional Texture Functions on Arbitrary Surfaces” 画像1の論文では物体表面の幾何学的な形状が平面に近いものに限られていたが、翌年発表されたこの論文では、任意の幾何学的な形状にBTFを対応させることが可能となった。上段はBTFレンダリング、下段は通常のテクスチャ・マッピングでレンダリングしたもの。



“Synthesizing Bidirectional Texture Function for Real-World Surface” BTFレンダリングの概念を最初に導入した論文。BTFレンダリングでは、ライト方向と視点方向を変化させて捉えたテクスチャ(画像右上)のいずれかのピクセルの色を、物体表面の幾何学的な形状を考慮して、物体表面上の各点に割り当てていく。

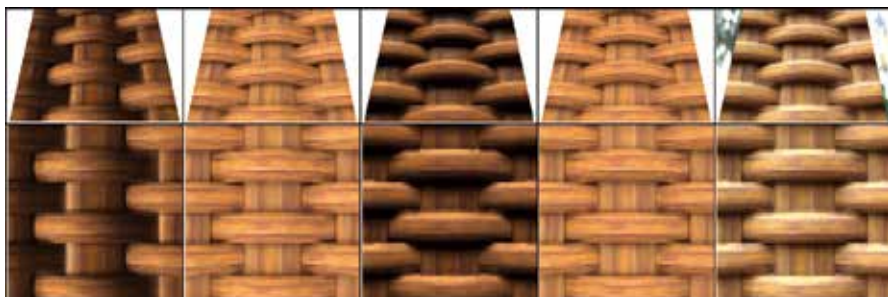


“Bi-Scale Radiance Transfer” この論文の手法では、BTFとPRTを融合させている。BTFはローカルな光の挙動だけを捉え(左) PRTはグローバルな光の挙動だけを捉える(中央) Bi-Scaleの手法によって、両者を融合されることにより、ローカルな光の挙動もグローバルな光の挙動も、効率的に捉えることができる(右)



左列はBTFだけによるレンダリング結果。右列はBTFとPRTとを融合させたレンダリング結果。

体内でのSSSをより正確に表現するために、局所的には物体内部での位置の変化による散乱の特徴の変化まで考慮したSSSの計算を行い(A)、物体の幾何学的な構造を考慮して、スケールをかけながら(A)の結果を物体全体に展開し(B)、物体全体における位置の変化による散乱の微妙な変化まで考慮したSSSを可能にした(*4)。(A)の計算を行う領域は、ボリユーメトリックな散乱の構造を与えられたBTFに相当し、(B)計算はBTFレンダリングのコンセプトを受け継いでいる。

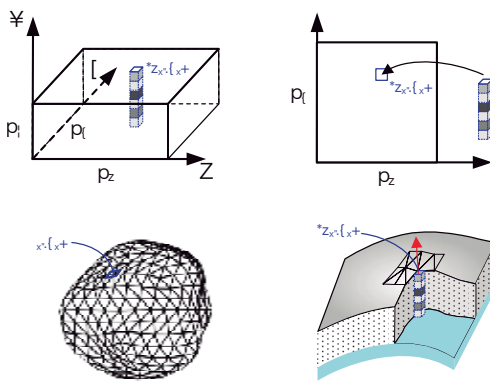


ローカルな光の挙動をテクスチャで表したものの。上段をクローズアップしたものが下段。左から順にライト方向が変化している。実質的には、このようなテクスチャの集合がBTFとなる。

PRT：米国マイクロソフトとの共同研究

BTFの進化のもう1つの方向性としては、2002年に登場したPRT(Pre-computed Radiance Transfer)と呼ばれるリアルタイム・レンダリングの手法との結びつきがある(*5)。PRTでは、リアルタイム・レンダリングに先立って、パーティクル・シミュレーションによるシャドウやインターリフレクションの計算を行う。その意味ではフォトン・マッピングなどと同様のコンセプトだともいえるが、光を球面調和関数で展開した状態でシミュレーションを行うことによって、シミュレーションの結果をベクトルや行列の形で蓄える。本質的には非線形な特徴を持つシャドウやインターリフレクションなどのエフェクトを、線形

“Shell Texture Function” BTFの概念をボリユーメトリックな構造に拡張し、サブサーフェース・スキュタリングの表現を可能にした。shell textureとはBTFを3Dに拡張してものといえ、図(a)のように2次元平面上での位置と深さの情報を与えられた四角柱となっている。shell textureの一番上の層はちょうどBTFに相当し、これを図(b)のようにBTFレンダリングの手法によって物体表面全体に展開ことによって、図(c)のように物体内部にshell textureがもつ情報を展開することができる。



shell texture functionを用いたレンダリング結果
右端にある小さな画像がshell texture functionの構造を表している。



な形のデータとして持たせることによって、線形計算を得意とする GPU レンダリングと結びつけることを可能とした。だが、この手法では、より正確にシャドウやインターリフレクションなどの効果を表現するためには、より多くのサンプル点をとってシミュレーションの計算を行う必要がある。

PRT では、基本的には、遠方の環境全体からのディフューズ光によるライティングが前提とされており、このようなライティングが作り出す（シャドウやインターリフレクションなどの）エフェクトは、位置の変化によってそれほど大きな変化はみせない。したがって、ライティングの変化だけを考えるのであれば、それほど多くのサンプル点をとる必要はない。だが、物体表面の材質に凹凸がある場合などには、視点方向の変化によって物体表面の見え方は大きく変わってくる。そして、この変化を正確に掴むためには、かなり密にサンプル点を取ってシミュレーションの計算を行う必要があり、計算時間も増大する。そこで、PRT の計算を、グローバルなライティングの変化によるエフェクトの変化と、ローカルな位置の変化によるエフェクトの変化に分けて考え、前者は通常の PRT と同様の手法によって、後者は BTF を球面調和関数で展開した関数によってカバーする方法 (Bi-Scale PRT *6) が考案された。これによって、PRT のシミュレーションは非常に少ない数のサンプル点を用いて行うことができ、このような粗いシミュレーションでカバーできないローカルなエフェクトの変化は、BTF データから直接掴み取ることができる。

Bi-Scale PRT は、PRT を考案した Microsoft の Peter-Pike Sloan と MSRA とのコラボレーションによって産み出された手法で、両者の共同研究はその後も続いている。特に PRT を任意の反射特性や任意のライティングに対応させる上で、反射特性を決定する関数 BRDF

をどのような形で表すかということは大きな課題となっており、サーフェース・マテリアルの研究に秀でた MSRA がこの部分で果たしている役割は非常に大きいようだ。もっとも、PRT に分野における MSRA の研究は、サーフェース・マテリアルに留まらないものへと発展しており、今年発表された論文の 1 つ (*7) は、ダイナミック・シーン（時間によって物体の周りの環境が変わるようなシーン）への対応を大きく意識したものとなっている。基本的には時間軸に沿った各サンプル・ステータスにおいて、周りの環境の状態を前計算しておくのだが、ここではライティングの変化と、オクルージョン（光が物体に到達されるまでに他の物体によってどれだけ遮られるか）の変化に限定して計算を単純化している。アニメーションに対応した、リアルタイムなソフト・シャドウの算出を実装したものとなっている。

最新の研究成果

上記のような MSRA の研究を統合したともいえるのが、今年の SIGGRAPH で発表された、植物の葉を非常にリアルスティックにリアルタイム・レンダリングする手法 (*8) で、ここでは、サーフェース・マテリアル、SSS、PRT の 3 つの分野の研究を非常にうまく組み合わせている。

一方、フォトン・マッピングに似た考え方を風化のシミュレーションに拡張した手法も SIGGRAPH のペーパーセッションで注目を浴びていた。この方法では、フォトンと同様に物体表面に向かってパーティクルを飛ばし、一定のルールに従って、パーティクルの当たった部分のジオメトリーを変化させる。その結果、同じ場所に次にパーティクルが当たるときには、パーティクルと物体表面との干渉は、最初にパーティクルが当たった時とは違ったものとなる。このような計算を繰り返すことによって、物体表面は、一定のルールにある程度のランダムさを加えたしくみに従って、次第に侵食されていく (*9)。

フォトン・マッピングの考案者ジェンセンからも質問が出て、活気のあるセッションとなっていた。

また、複数のテクスチャとそれらを貼り付けるための 3D モデルの形状から、ちょうど展開図のようなシームレスなテクスチャを生成する手法 (*10) も、実用的な技法として、テクスチャリングの研究分野から高い評価を得ていた。

MSRA の研究開発では、実用的な視点を貫きながらも、理論や手法そのものには奥の深いものが多い。映像に対するセンスの良さも感じられる。また、1 つの理論が将来的にどのように発展していくであろうかを見越して開発が進められているようでもある。考案された 1 つの手法が鎖のように次へと繋がっていくのは、そのせいかもしれない。隣国中国における新しい技術開発の動きに、今後も注目していきたい。

- (*1) "Synthesizing Bidirectional Texture Function for Real-World Surface" (Xinguo Liu et al., Proceeding of Siggraph2001)
- (*2) "Synthesis of Bidirectional Texture Functions on Arbitrary Surfaces" (Xin Tong et al., Proceeding of Siggraph2002)
- (*3) "Shell Texture Function" (Yanyun Chen et al., Proceeding of Siggraph2004)
- (*5) "Precomputed radiance transfer for real-time rendering in dynamic, low-frequency lighting environments." (Peter-Pike Sloan et al., Proceeding of Siggraph2002)
- (*6) "Bi-Scale Radiance Transfer" (Peter-Pike Sloan et al., Proceeding of Siggraph2003)
- (*4) "Modeling and Rendering of Quasi-homogeneous Materials" (Xin Tong et al., Proceeding of Siggraph2005)
- (*7) "Precomputed Shadow Fields for Dynamic Scenes" (Kun Zhou et al., Proceeding of Siggraph2005)
- (*8) "Real-Time Rendering of Plant Leaves" (Lifeng Wang et al., Proceeding of Siggraph2005)
- (*9) "Visual Simulation of Weathering by Gamma-ton Tracing" (Yanyun Chen et al., Proceeding of Siggraph2005)
- (*10) "Texture Montage: Seamless Texturing of Arbitrary Surfaces From Multiple Images" (Kun Zhou et al., Proceeding of Siggraph2005)

Noriko Kurachi



"Real-Time Rendering of Plant Leaves" Siggraph2005の「植物」とテーマにした論文カテゴリーで話題となった論文。MSRAが得意とするテクスチャリング

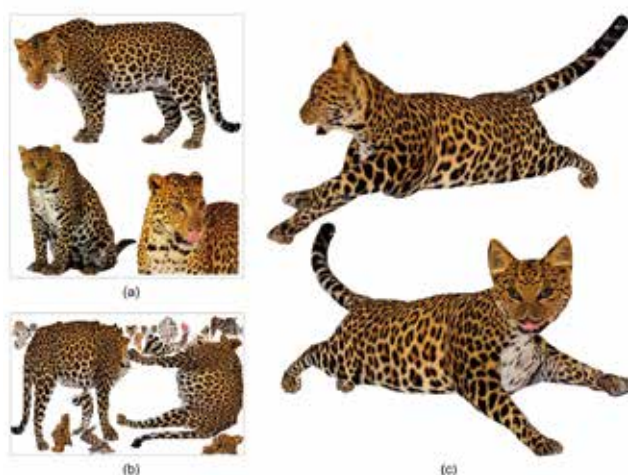
グの手法とPRTとを融合させて、植物の葉のフォトリアルな質感をインタラクティブに生成することを可能にした。布の質感表現などにも応用できそう。



"Visual Simulation of Weathering by Gamma-ton Tracing" Siggraph2005で話題となった、フォトン・マッピング法の考え方を風化のシミュレーションに適用した手法。画像はこの手法で生成した風化のテクスチャを示している。



"Precomputed Shadow Fields for Dynamic Scenes" Siggraph2005においてPRTの論文カテゴリーで発表された論文。PRTでは環境からの光の状態が変化する場合に、その影響をリアルタイムに算出することが難しい。この論文では、PRTの前計算を影だけに限定することによって（間接光の影響はここでは考えない）これを可能にした。ゲームなどの分野からはこの手法が示した方向性に大きな期待がかけられている。



"TextureMontage: Seamless Texturing of Arbitrary Surfaces From Multiple Images" Siggraph2005のテクスチャリングの分野で大きな評価を得た論文。任意のテクスチャと任意の物体表面の幾何形状に対して、このテクスチャが物体表面をうまく覆えるような、シームレスな（展開図状）のテクスチャを自動的に生成する。基本的な理論だけに汎用性が高く、様々な方面での応用が可能だと思われる。



"Modeling and Rendering of Quasi-homogeneous Materials" Siggraph2005では、shell-texture functionの考え方にフォトン・マッピング法の考え方を適用し、より複雑なサブサーフェース・スキャタリングをより正確に表現することを可能にした。

MSRA Internet Graphics group(Siggraph2005 論文執筆者)

