



SIGGRAPH ASIA2011

技術的ハイライト

論文セッションの充実

今年ですでに4回目を迎えるSIGGRAPH ASIAが、12月12日から15日までの4日間に渡って香港で開催された。香港という場所柄、今回はエンタテインメント的な局面にもさまざまな工夫が凝らされていたようだが、やはり技術的な目玉といえばSIGGRAPH ASIAが産声をあげた当時から予想を大きく上

回るレベルを誇ってきた論文セッション。今年も夏のSIGGRAPHにひけをとらない良質な論文の数々が発表され、その充実ぶりには目を見張るものがあった。幾分縮小気味のコース・セッションの中で一際盛況を博したのが「SIGGRAPH向け論文の書き方」と題したものであったということからも、SIGGRAPH2011

の技術的ハイライトはまさに論文セッションであったといえそうだ。ここでは、今回の論文セッションのチェア(Chair)を務めたコーネル大学のKavita Bala氏とのインタビューを通して、SIGGRAPH ASIA2011の論文セッションの特徴を振り返ってみたい。

倉地 紀子

SIGGRAPH ASIAの存在意義を問う声はよく聞かれるが、その発足当初から論文セッションの質の高さには定評がある。SIGGRAPH論文といえば、やはりコンピューター・グラフィックスの研究分野では最高のポジションに位置しているだけに、年に2回の発表の場が与えられるということは、この分野の研究者一同にとってはまさに朗報であったのだ。

とはいえ、SIGGRAPH ASIAの論文が、夏のSIGGRAPHの論文の2番煎じになってしまっただけではいけない。それゆえに、論文を選ぶ視点にも、SIGGRAPH ASIAならではの工夫が凝らされてきた。SIGGRAPH論文の王道はやはり新たなCG理論の提示だといえ、近年になって実用的という局面が重視されるようになってからも、夏のSIGGRAPHにおいてはその本質は継承されてきた。これに対してSIGGRAPH ASIAで注目を浴びてきた論文の数々には、非常に斬新なアイデアを導入して、既存のCG理論を新たな方向へ発展させてゆくための大きな潜在能力を提示したものが多

かった。夏のSIGGRAPHとは一味違った旨みをもつこれらの論文の内容は、ある意味でより一般の人々になじみやすいという利点もあり、SIGGRAPHとSIGGRAPH ASIAの両者の論文セッションがうまく噛み合うことによって、コンピューター・グラフィックスの分野の研究開発の歩みがより活性化されることが期待されているともいえそうだ。

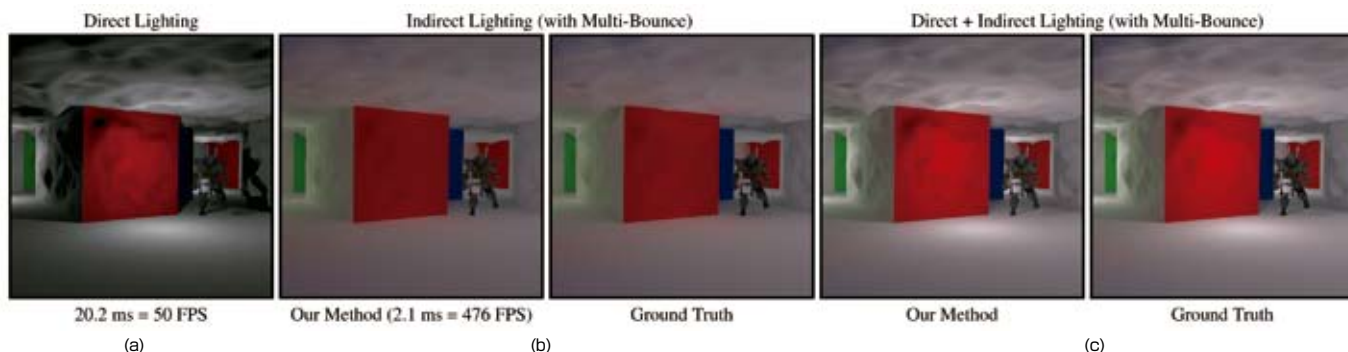
特にSIGGRAPH ASIA2011の論文セッションの特徴としてKavita Bala氏が強調するのは、モデリング、ダイナミクス、アニメーション、レンダリング、画像処理といった各ジャンルのセッションがおしなべて夏のSIGGRAPHにひけをとらぬレベルに達したことで、これはSIGGRAPH ASIAの論文セッションというものが目指していた第一目標を達成したことの相当するのだと思う。また同氏は「確かにこの10年の間にCG技術の実用化は急速に広まったといえるが、それは主に映画やゲームなどといったエンタテインメントのジャンルに集中していた。次の10年は、エンタテインメントだけではなく、それ以



Kavita Bala (Associate Professor : Cornell University)
<http://www.cs.cornell.edu/~kb/SA11/SA2011PapersChairPreview.mov>

外のより幅広い領域に、CG技術がより親しみ深いものとして浸透してゆく時期に相当するのだろう」とも語っており、一般の人々にとってよりなじみやすいという特徴をもったSIGGRAPH ASIAの論文セッションというものが、その動きをうまく先導していつてくれることを願っているようでもあった。

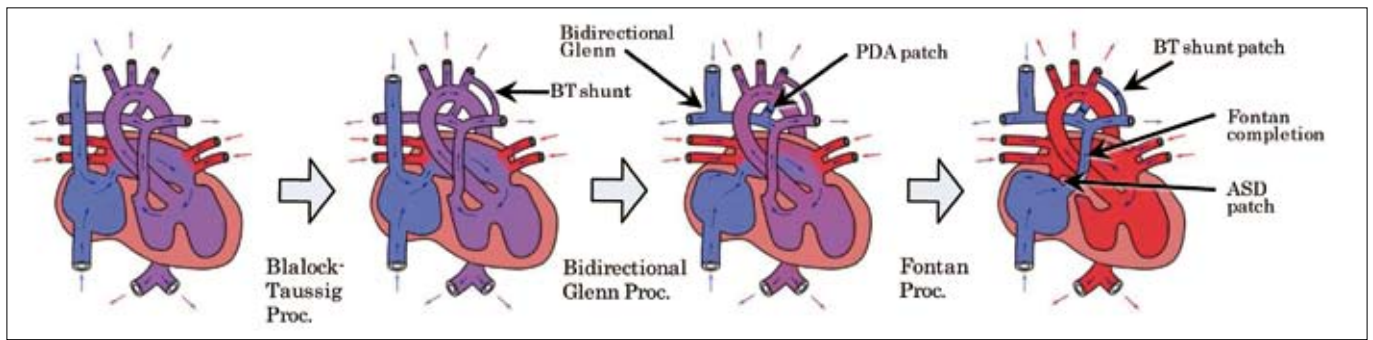
総合的にみると、SIGGRAPH ASIA2011の論文セッションは、夏に開催されたSIGGRAPH2011の論文セッションと極めてよく似た傾向をもっていたといえる。物体同士の“接触や干渉”(“Contact,



*セッション Light Transport
 © 20011 The Authors. © 20011 ACM, Inc.
 “Modular Radiance Transfer” (Disney Interactive Studios)
 直接光の効果の計算と比較して間接光の効果の計算は非常に負荷が重い、シーンのリアリズムを高めるためには欠かせない存在となってきている。この手法では、直接光の効果の間接光の効果に変換する関数を複数の基底関数の

線形結合に分解することによって、直接光の効果をもとにして間接光の効果を実タイムに算出することを可能にしている。
 あくまで近似的アプローチなので間接光の効果に依存する影のディテールなどは正確さに欠けるが(画像(b)左がこの手法で算出された結果、画像(b)右がシミュレーションの手法によって算出された正確な結果)、直接光の影響だけを考慮して算出された画像(画像(a))と合成すると、ビジュア

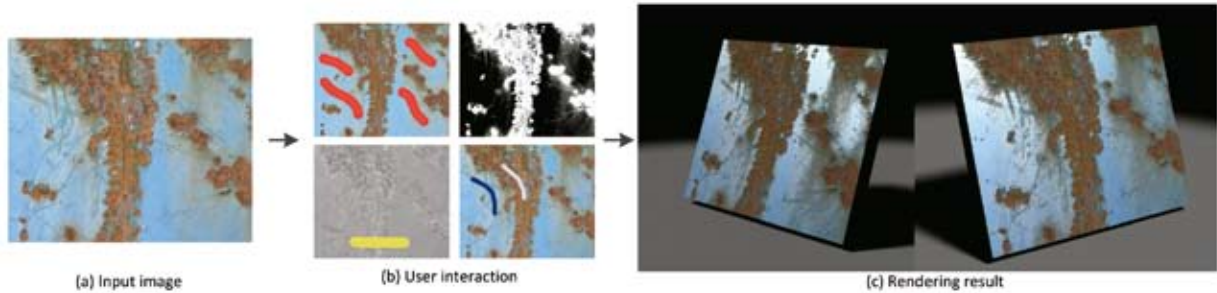
ル的にはほぼ正確な結果が得られる(画像(c)の左は画像(b)の左と画像(a)を合成したものの、画像(c)の右は画像(b)の左と画像(a)を合成したもの)
 手法の原点はPeter-Pike Sloan(当時マイクロソフト・リサーチ所属)によって2002年に発表されたPRT(Pre-computed Radiance Transfer)にあり、現在彼が率いるDisney Interactive Studiosのチームによって考案された新手法だ。



*セッション NPR © 20011 ACM, Inc. "Sketch-based Dynamic Illustration of Fluid Systems" (JST ERATO, The University of Tokyo)
このシステムでは、ユーザーが2.5次元のイラストで与えた指示をもとにして、システム・エンジンが3Dの流体

シミュレーションを実行して、その結果をほぼリアルタイムにイラストでフィードバックする。シミュレーション実行時にユーザーがインタラクティブに指示をアップデートすることも可能だ。画像は心臓病（三尖弁閉鎖）の手術の各ステップを医師がイラストで指示し、それによって実際に

血液の流れがどのように変化するかをシミュレートされてイラストによってフィードバックされた様子を示している。医学の分野のみならずより一般的なエンジニアリングの分野での活用も期待されている。



*セッション Material Editing © 20011 ACM, Inc. "AppGen: Interactive Material Modeling from a Single Image" (Tsinghua University, Microsoft Research Asia)
このツールでは、(a)のようにユーザーが準備した平坦な入力テクスチャ（色や柄だけを指定したテクスチャ）に対して、

(b)のようにユーザーが筆状のストロークを用いて物体表面上の法線方向の変化やハイライトの位置などの情報を与えると、物体表面全体に渡るリフレクタンス関数が自動的に復元され、物体表面を照らすライトの方向や物体表面を捉える視点方向の違いに正確に対応した物体表面の見え方をつくりだすことができる。(c)は異なった2つの視点方向から

レンダリングした結果を示している。これまでユーザーが自らの意志でコントロールできるのは(a)の入力テクスチャだけであったのだが、このツールを用いるとユーザーが物理的側面をもった情報を直感的に操作して、もう一歩進んだリアリズムのコントロールをおこなうことが可能となる。

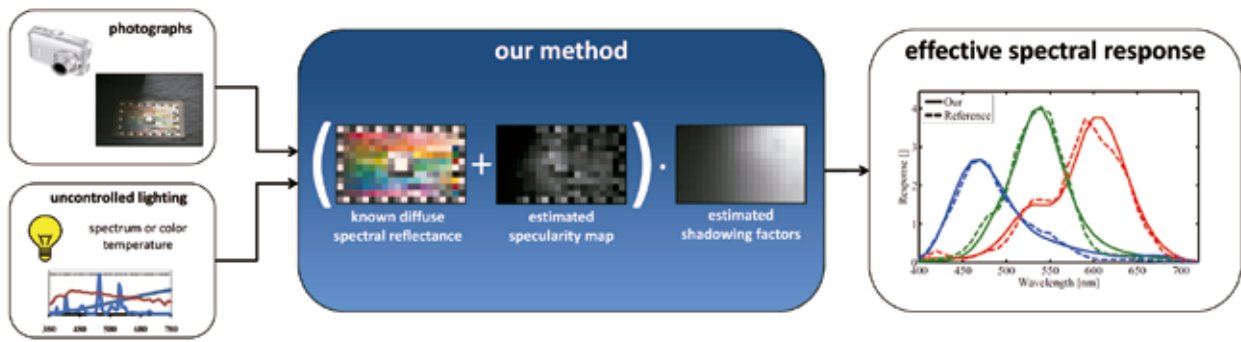
Collision and Congestion” および “立体3D” (“Stereo and Light Field”) のセッションなどはその代表例といえそうだ。人間の表現に着目した手法が重要視されている点も同様な傾向といえ、”アニメーション” (“Animation”) や “ビデオ&キャプチャー” (“Video and Capture”) などのセッションに登場する論文の大部分が、人間の身体や顔の動き扱った手法となっていた。逆にSIGGRAPH2011の論文セッションとは少し異なった傾向が見られたのがレンダリング関連のセッションで、たとえば物理的に正確なフォトリアルスティック・レンダリングに関していえば、SIGGRAPH2011ではどちらかというポリューメトリックな質感表現に焦点が当てられていたのに対して、SIGGRAPH ASIA2011では（レンダリングの対象がサーフェスであるかポリュームであるかに関わらず）より一般的な光の伝達 (“Light Transport”) をより効率的に扱うための選れたアイデアが光る手法の数々が目を引いた。映画のような高解像度映像からモバイルデバイス上の低解像度映像まで幅広い領域の映像をカバーすることが意識されるようになった点も大きな特徴といえる。ひさびさに”ノンフォトリアルスティック・レンダリング”に焦点を当てたセッション (“NPR”) も登場しており、日本からも流体の表現を扱った手法が発表された。CGを用いた流体の

表現という、映画VFXなどに登場するフォトリアルな水・煙・炎といった表現が真先に頭に浮かぶが、この手法はNPRならではの利点を生かして3Dの流体の動きをわかりやすくイラスト化するもので、主に医学の分野などでの活用が期待されている。

Bala氏がいうところの次の10年のCG技術が目指すべき方向性（＝エンタテインメント以外のより幅広い領域にCG技術をより親しみ深いものとして浸透させてゆくこと）を思わせる手法が発表された論文セッションの一つとして、マテリアル・エディティング (“Material Editing”) というセッションが挙げられる。実質的にはこのセッションで発表されたのは、物体の材質に依存する質感を、ユーザーが直感的にインタラクティブにつくりだすことを可能にするツールの数々だった。CGレンダリングでは、材質が変わることによって質感がどう変わるかということは、あらかじめ個々の材質が特定の方向から飛来して材質の表面に当たった光のうちどれほどを特定の方向に向かって跳ね返すかということを示す関数（リフレクタンス関数）を準備することによって決定される。しかし、この関数の物理パラメーターをユーザーが思うようにコントロールすることは極めて難しい。とはいえ、テクスチャ・マッピングなどを用いてつくりだすことできる質感のリアリズムには限界がある。マテリアル・エディテ

ィングのセッションで発表されたツールの数々は、リフレクタンス関数に相当するものをユーザーがあたかもテクスチャをエディットするような感覚でコントロールすることを可能にしている。このようなコンセプトの技法は、過去のSIGGRAPHでも発表されてきた経緯はあるが、これだけ一同に集められたケースは珍しく、なおかつ今回は決してCGのプロとはいえないより一般的な人々をターゲットにした実用性に重きがおかれているところが大きな特徴となっていた。映画やゲームなどのプロジェクトでは、アーティストをサポートするための技術者の存在が、リアルな映像をつくりだすための鍵となっていた。だが、今回発表されるようなツールの存在は、そのような技術者の支えなくとも一歩敷居の高いリアリズムをユーザーが楽しんでつくりだすこと可能する潜在性を秘めているといえ、さまざまな産業の分野へのこれまでよりも一歩進んだCGの導入に一役買うことができそうだ。

そして、今回の論文セッションの中でも一際独創性の高い手法が集まっていると感じられたのが “Cameras and Appearance” と題したセッションだった。セッションに登場する4つの論文のうちの3つはいずれも「カメラで撮影した画像を活用して物体の見え方をつくりだしてゆく」というイメージベースドのアプローチを効率化するための手法、最



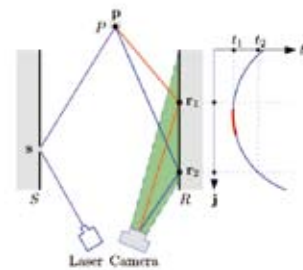
*セッション Cameras and Appearance

(1) "Practical Spectral Characterization of Trichromatic Cameras" (Bonn University, GfaR mbH) © 2011 ACM, Inc.

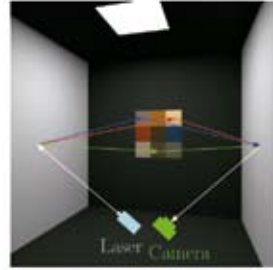
イメージベースドのアプローチでは、撮影画像のピクセル値と実際のシーンの色や明るさとの間の物理的な関係をあ

らかじめ知っておく必要がある。より正確には各波長の光と画素との関係 (effective spectral response) を知っておくことが望ましいのだが、この関係を知るためには特殊なライティングのもとで非常に煩雑な計測作業を繰り返さなくてはならなかった。今回発表される手法では、通常のライティングのもとでカラーチャートを撮影した画像

にシンプルな解析を施すことによって上記の関係をうまく復元することを可能にしている。本来特殊なラボラトリーのような施設が必要とされる作業工程を一般の人々にも開放したということの意義は大きいといえよう。



(a)



(b)



(c)



(d)

(2) "Single View Reflectance Capture using Multiplexed Scattering and Time-of-flight Imaging" (MIT Media Lab, Cornell University) © 2011 ACM, Inc.

この手法の旨みは、ToF(Time-of-Flight) カメラの導入によって、カメラの位置を固定したままでも、光の入射方向と反射方向をさまざまに変化させた場合の物体表面上の光の反射の特徴を一度に計測することを可能にした点にある。ToFカメラは光速に匹敵する速さで光をキャプチャーするので、図(a)のように「違った経路の長さの違う光」($s \rightarrow p \rightarrow r1$ と $s \rightarrow p \rightarrow r2$) を時間軸に沿って分離して ($t1$ と $t2$) 捉えることができる。ここではPにはリフレクタンス関数を復元す

る材質が貼り付けられており、「光が違った経路の長さの違い」=「光の反射方向の違い」となっている。したがって、本来であればカメラ位置を移動させて計測しなければならないところを、カメラ位置を固定したままでも光の反射方向のバリエーションを与えて測定することができるのだ。同様にライト方向を固定したままでも光の入射方向のバリエーションを与えて測定することができる。

図(b)のように、異なった材質の複数のパッチ(ここでは9枚のパッチ)を壁に貼り付けて、複数(ここでは9種類)の材質のリフレクタンス関数を同時に復元することもできる。図(c)は、9枚のうちの2枚のパッチをToFカメラでデータを示しており、2つのカーブのそれぞれが2枚の異なっ

た材質のパッチに対応している。図(d)は、2つのカーブのそれぞれを解析して2枚のパッチの材質(銅と石英)のリフレクタンス関数を復元し、これらのリフレクタンス関数を用いて球面をレンダリングした結果を示している。本手法を発表するMIT Media Labのカメラ・カルチャー・グループを率いるRamesh Raskar氏はつい最近「僕にとってcomputational photographyの時代は終わった、次はcomputational light transportに取り組んでいきたい」と語っていたが、この手法はまさにその実践にあたるものともいえそうだ。

後の一つはインタラクティブな髪の毛のレンダリングおよびエディティングの手法となっていた。

イメージベースドのアプローチを効率化するというコンセプトの技法はこれまでも数知れずSIGGRAPH論文として登場してきたが、今回のものはまさに「今」という時代のCG技術の動向を象徴するものといえそうな点が興味深い。たとえばイメージベースドのアプローチでは、通常のカメラで撮影した画像をそのまま用いることはできず、さまざまな変換や補正の処理が必要とされる。理論的なベースこそ確立しているものの、これらの処理そのものはこれまでケースバイケースでおこなわれてきた。本セッションの最初に登場したのは、この工程をより汎用性の高いより一般の人々にとってなじみやすいプロセスへと導いてゆくための手法。手法を発表したドイツのボン大学は、イメージベースドの考え方を導入した人間の表現(髪の毛、顔など)の研究でも定評があり、今回発表された手法は、このような研究の過程で問題視されてきた点を解消するための一つの手段であったともいえそうだ。

同じセッションの中で、これに続く2つ

の技法は、いずれも前述した”リフレクタンス関数”に相当するものを実際に物体の表面を撮影した画像から復元するためのもので、MIT Media Labのカメラ・カルチャー・グループとコーネル大学から発表された。この手の技法もすでに1990年代半ばから数多く登場してきているのだが、今回のものはいずれも撮影をおこなうデバイスにcomputational photographyの考え方を取り入れた工夫が凝らされている点が大きな特徴となっている。リフレクタンス関数は光の入射方向と反射方向を引数とする関数となっているため、撮影画像からこれを復元するためには、物体表面を照らすライトの方向と物体表面を撮影するカメラの方向を密に変化させて膨大な数の画像を撮影する必要があった。しかし、上記のようにカメラに工夫を凝らすことによって、ライトとカメラの位置を固定して撮影した画像だけからリフレクタンス関数を復元することを可能にしたところが、今回の手法がもたらした大きな進歩といえる。またcomputational photographyの考え方がCGレンダリングの王道といえる領域にまで取り入れられるようになったことの意義も大きいといえよう。

MIT Media Labのカメラ・カルチャー・グループが発表した手法では、一兆分の一秒(picosecond)という短い時間間隔で光をキャプチャーするTime-of-Flight(ToF)カメラと呼ばれるものが導入されている点が大きな特徴で、これによって従来のカメラではあれば交わり合っただけで捉えられていた光の効果を、光が違った経路の長さに応じて非常に細かく分離して捉えることができるようになる。そして、このように分離された光の効果を比較することによって、従来のカメラでは捉えることのできなかった情報を復元することが可能となるのだ。実際のところ同グループは、シーン内でカメラの視線が直接到達できない部分のジオメトリーをToFカメラの導入によって復元する手法を、一昨年コンピュータービジョンの分野で発表して話題となった。今回の手法は、同様なコンセプトをCGレンダリングの中核を担う部分に応用した意欲的な手法といえ、上記のように光の経路の長さに応じて光の効果を分離することによって、ライトとカメラの位置を固定した状態でも、光の入射方向と反射方向の違いに対応した反射率の違いを計測することが可能となるのだ。SIGGRAPH2011でウエタ社から発

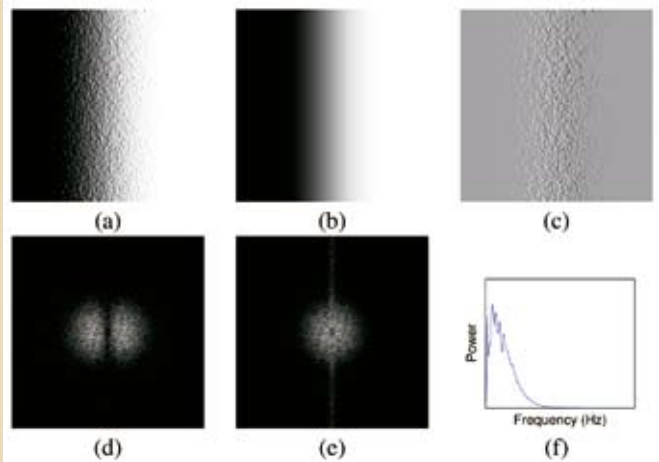
(3) "Estimating Dual-scale Properties of Glossy Surfaces from Step-edge Lighting" (Cornell University)

© 20011 ACM, Inc.

この手法では、一枚の撮影画像だけを用いて、物体表面の材質に依存する反射の特徴を、2つのスケールの「粗さ」（凹凸の分布）として復元する。一種目はリフレクタンス関数によって表されるマイクロスケールの凹凸、もう一種目はパンプマッピングによって表されるもう少し大きなスケール（メソ・スケール）の凹凸だ。計測では、LCDを用いて半分が黒・半分が白のエリアライトに相当するライティング（step-edge lighting）をつくりだし、このライティングのもとで反射の特徴を復元する物体表面を撮影する。もし物体表面に凹凸がまったくなければこの撮影画像は一本の境界線で黒・白に二分された画像となり、サーフェースにマイクロスケールの凹凸のみが存在した場合には境界線の周りに黒から白へのグラデーションがかかった画像となる。しかし、現実の世界の物体表面には、マイクロスケールの凹凸だけではなくメソ・スケールの凹凸も存在するので、図 (a) のように一方へのグラデーションだけではなくところどころでピクセルの黒から白への昇順が入れ替わったものとなる。そこで、まず図 (a) の画像の各行を左から右に向かってピクセル色の黒から白への昇順が一方になるように並べ換えて、図 (b) のように仮想的にマイクロスケールの凹凸のみが存在する物

体表面を撮影した画像を生成し、この画像を解析してマイクロスケールの凹凸を表わすリフレクタンス関数を復元する。次に図 (a) から図 (b) を差し引いて仮想的にメソ・スケールの凹凸だけが存在する物体表面を撮影した状態の画像 (図 (c)) を作成する。図 (c) をフリー空間上で解析して (図 (d)(e))、図 (f) のようにちょうどパンプ・マップの高さの分布にあたるもの（=メソスケールの凹凸の分布）を復元する。

手法を発表したコーネル大学の Steve Marshner 氏の研究室は髪の毛の研究で名高いが、同氏は Marshner モデル (物理的に正確な髪の毛のリフレクタンス関数) の考案に先立ってリフレクタンス関数の計測・復元というテーマにおいても非常に画期的な研究成果を残してきており、10年という年月を経て発表された本手法は、ある意味でそれを「今」という時代さら



に将来的な時代の要請にマッチするように進化させたものともいえそうだ。



(4) "Interactive Hair Rendering and Appearance Editing under Environment Lighting" (Tsinghua University)

© 20011 ACM, Inc.

清華大学は昨年夏の SIGGRAPH で、環境光を基底に分解することによって、物理的に正確な毛のレンダリングを効率化する手法を発表した。今回の手法はそのアップデート版にあ

たるのだが、物理的に正確な毛のリフレクタンス関数にあたる Marshner モデルを、1D のガウス関数という GPU 上のリアルタイム・レンダリングに適したシンプルな関数に分解したことの意義は大きい。シミュレーション的要素の多いレンダリング技法であるにもかかわらず、テクスチャを用いたインタラクティブなコントロールに対して意欲的である点も

大きな特徴といえる。画像のアニメーションは、ユーザーが髪の毛の各部分における光の吸収率の変化をペイントで指定して作成されており、「ヘア・カラー」のダイナミック・シミュレーションに相当するものともいえそうだ。

表されて話題となった新たなサブサーフェース・スキヤタリング・モデルでは、ディフュージョンという現象を時間軸に沿って分解することによって、複雑な関数を単純なガウス関数に分解することを可能にしていたが、上記の ToF カメラの導入でも同様の考え方が計測処理の効率化に大きく貢献している点は興味深い。このプロジェクトには Bala 氏も論文共著者として参画しており、「こういった新しいコンセプトのデバイスの導入は、大量のデータ者を驚くほど効率的に採取することを可能にし、それは将来的にグラフィックス技術がよりリアルなアニメーションやよりリアルな物体の見え方をその細部にまでわたってつくりだしてゆくための大きな鍵となるのだろう」と語っている。

一方のコーネル大学が発表した手法では、物体表面を黒と白で二分されたエリアライト (step-edge lighting) で照らして撮影をおこなう。物体表面が完全に滑らかであったとすると、撮影画像も半分は黒・半分は白に二分されるのだが、現実の世界の物体表面には多かれ少なかれ凹凸があるため、撮影画像の白と黒の境界部分にはちょうどフィルターをかけたような効果が表われる。そこで、このフィルターのかかり具合を分析することによって物体表面でおこる反射の特徴を復元する

というのがこの手法の基本的な考え方だ。この手法ではリフレクタンス関数が表すような物体表面のマイクロスケールの凹凸のみならず通常パンプマッピングなどで近似されているようなもう少し大きなスケール (meso-scale) の凹凸まで復元できることも大きな特徴となっている。

髪の毛のレンダリング技法を発表したのは北京の清華大学で、技法そのものは昨年夏の SIGGRAPH で同大学が発表した手法の改良版にあたるものだが、その改良点というのがなかなか奥深い意義をもっている。近年では物理的に正確な毛のレンダリングをおこなうために、2003 年の SIGGRAPH で発表されたマシュナー・モデルという物理的に正確な毛のリフレクタンス関数が用いられているのだが、今回の手法は複雑なマシュナー・モデル関数を一次元のガウス関数に分解することを可能にしている。これによって前計算を行わずとも GPU 上でリアルタイムに物理的に正確な髪の毛のレンダリングをおこなうことができ、なおかつユーザーがテクスチャを用いてインタラクティブに髪の毛の色や質感をエディットすることもできるというのが今回の手法の旨みとなっている。同大学はマイクロソフト・リサーチ・アジアとの共著でテクスチャ関連の SIGGRAPH 論文をたびたび

発表してきており、前述したテクスチャ・エディティングの論文もその一つにあたる。テクスチャを活用した髪の毛の色や質感のエディティングという考え方は、このあたりの影響を受けているとも考えられる。その一方で、マシュナー・モデル関数の一次元のガウス関数への分解は、本手法だけにとどまらない大きな潜在性を秘めていそうだ。

このように、SIGGRAPH ASIA2011 の論文セッションには、SIGGRAPH 2011 で発表された手法の続編にあたるものから、SIGGRAPH 2011 では見られなかった新たな CG 技術のトレンドを感じさせるものまで、幅広い手法が登場した。夏の SIGGRAPH の論文セッションと比較すると、一般の人々によりなじみやすい実用性をアピールした手法が多いという SIGGRAPH ASIA ならではの論文セッションの魅力も健在で、なおかつアジアから発表された論文の割合がより多くなっていった点も大きな特徴であったといえる。実際にこれらの手法が、その後どのように実用化に結びついてゆくのが、今からとても楽しみだ。

Noriko Kurachi