



SIGGRAPH2004 次世代を担う CG 技術 (2)

倉地 紀子

2 回目は、急速に実用化が進みつつある HDRi をはじめとして、新しい動きも見え始めたイメージベースドの技術の最新事情を紹介する。

HDRi : トーンマッピングと HDR ディスプレイ

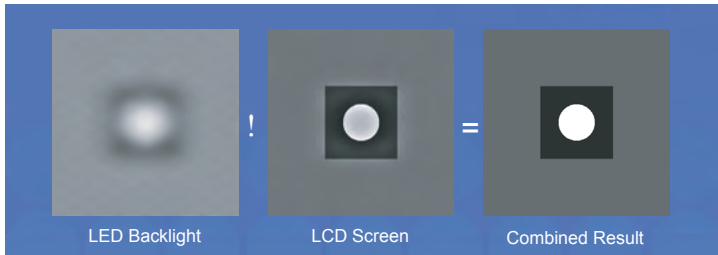
SIGGRAPH では、毎年恒例となっていた IBL (Image-Based Lighting) のコースが、今年は「HDRi」というタイトルで登場した。HDRi という言葉は、一般的には HDR 画像 (High Dynamic Range Image) の意味で用いられることが多いが、コースのタイトルでは High Dynamic Range Imaging の略として用いられていた。High Dynamic Range Imaging とは、撮影画像から HDR 画像を作成して最終的にディスプレイに表示するまでのプロセスを指しており、広義の意味では、HDR 画像を用いたライティングやレンダリングなどの工程も含まれている。カメラやディスプレイなどのデバイスが HDR に対応するようになり、HDR というコンセプトが急に身近になってきた。コースの内容も、そのような流れの中で、HDR 画像をより手軽により有意義に活用するためには、今何が必要とされるのかという点的を絞った内容となっていた。

HDRi に関しては、昨年は HDR 画像

フォーマットに焦点が当てられていたが、今年は HDRi の最終プロセスにあたる トーン・マッピング (Tone Mapping) に焦点が当てられていた。どのようなデータ・フォーマットで表されている画像も、最終的にディスプレイに表示するためには、RGB 各チャンネルを 8 ビットのデータ・フォーマットに変換する必要がある。トーン・マッピングとはこのようなデータ変換のことを指している。HDR 画像に対応した最初のトーン・マッピングは、グレッグ・ワード (Greg Ward) によって 1998 年に発表された。人間の知覚に基づいた変換方法として高く評価され、その後考案された HDR 対応のトーン・マッピングのほとんどが、この方法を参考にしている。そのワードが今年発表したのは、JPEG フォーマットのまま行うトーン・マッピングで、画像のすべてのピクセルを変換するのではなく、見た目にもっとも大きな影響を与えるサチュレーションの起きた部分だけを非常に単純な数式によって補正する方法だった。HDR と聞くだけで「面倒くさい」と感じる人はいまだに多い。「HDR を意識することなく、HDR の利点をより多くの人々が活用できるようにしたい」というのが、ワードの意図だったようだ。

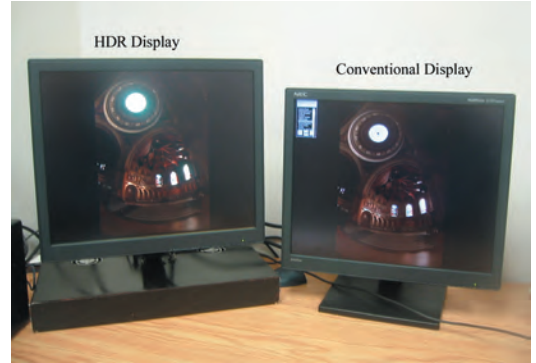
一方、トーン・マッピングを行う必要のない (HDR 画像フォーマットから 8

ビット RGB への変換を内部で行っている) ディスプレイとして注目を集めていたのが、HDR ディスプレイ・システムだった。このシステムは先年の Emerging Technologies にも登場していたが、今年はサイズもコンパクトになって、システムの概要を紹介した SIGGRAPH 論文も発表された。実はこのシステムも、ワードが 3 年前に発表した論文がもとになっており、HDRi のコースでもワード自らがその構造を説明していた。基本的な構造は、高解像度の LFD スクリーンの裏に低解像度の LED バックライトを並べたものとなっている。LED バックライトは広域の明るさを作り出し、色味や境界部分の微妙な調整を LFD スクリーンによって行う。LED バックライトの色と LFD スクリーンの色を掛け合わせることで、広域にわたる明るさを高解像度で作り出すことができる。現状では HDR ディスプレイ・システムは、HDR 画像フォーマットとして OpenEXR を採用している。OpenEXR は ILM が一昨年発表したもので、ハーフというデータ・フォーマットを持っており、このハーフ・フォーマットは Cg などの GPU 言語のハーフ・フォーマットと互換になっている。このため GPU レンダリングされた結果をそのまま表示することができ、NVIDIA のブースにも展示されていた。



HDR ディスプレイ・システム

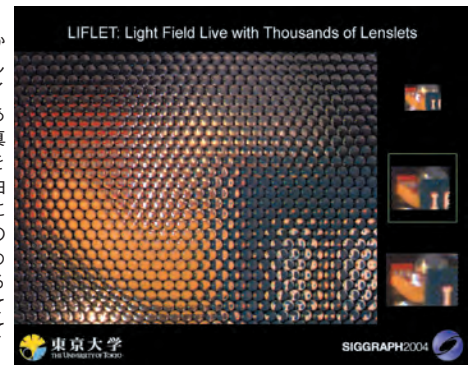
LED バックライトは、広域の明るさを低解像度のグレースケールで作ります。高解像度の LCD フロントスクリーンは、色味を与え、境界部分の明るさの調整を行う（たとえば、バックライトが非常に明るい光を放っている場合、境界の周りにも余分な明るさはみ出てしまっている。このため境界に隣接した境界の外側の部分では、フロントスクリーンの明るさを実際よりも暗くして整合性をもたせる）。LED バックライトの色と LCD フロントスクリーンの色を掛け合わせることで、広域の明るさを高解像度で作ることができます。



High Dynamic Range Display

LIFLET

エマージング・テクノロジーで東京大学から発表された、ライトフィールドを応用した新しいコンセプトのデバイス。通常ライトフィールドでは球面をぐるっと囲んだあらゆる方向から撮影を行い、これらの写真を用いて任意の視点からのもの見え方を復元するが、このデバイスでは向きを自由に換えられるレンズを多数設置することによって同じ効果を作り出している。形状の復元では、計算の精度と効率を上げるため IBR のアルゴリズムも補助的に用いている（画像のグリーンのラインが IBR によって形状をフィックスさせている過程を表している）。



HDR エンコーディング

(Subband HDR Encoding)

撮影画像の中で、サチュレーションが起きている部分だけをシンプルな関数によって補正して HDR 画像を近似した画像を生成する (Subband HDR Encoding)。上の画像 (original) は通常的手法で作成した HDR 画像
下の画像は Subband HDR Encoding によって作成した HDR 画像
人間の目にはその差がほとんど感知できない。

一般化した IBL

実用化が進むにつれて IBL の定義も変わりつつあり、今日では、「HDR の環境マップを用いたライティング」というのが実質的な IBL の定義となってきた。また、「必ずしも HDR でなくても、画像のすべてのピクセルが現実のシーンの光を十分に正確に捉えていれば、IBL の定義を満たしているといえる」と、IBL を考案したポール・デベベック (Paul Debevec) 本人も語っている。レンダリングに関しても、当初は環境マップ上のサンプル点のみが明るさを、視点からレイによって拾い上げるという本格的な GI (グローバル・イルミネーション) が行われていたが、今日では、環境マッ

プから生成した点光源を用いてライティングを行う方法や、環境マップと GPU シェーダーを用いて GI を近似する方法など、より効率的なレンダリング方法が主流となっている。2000 年以降は、このような IBL に直結したレンダリングを効率化する手法が数多く考案されてきたが、今年はそのような手法を実際に映画プロジェクトでどのように用いたかを紹介する、テクニカル・スケッチが目立っていた。今年のエレクトロニック・シアターで上映されたショート・フィルム「Parthenon」のメイキング、すでに本誌でも紹介したスパイダーマン 2 でのライトステージ、マトリックス・レボリューションでの変形する顔の質感やライティ

ングの復元は、その代表的なもので、論文と見まがうレベルの高い技術開発のもとに成り立ったこれらの表現は、IBL の可能性を大きく広げたともいえる。

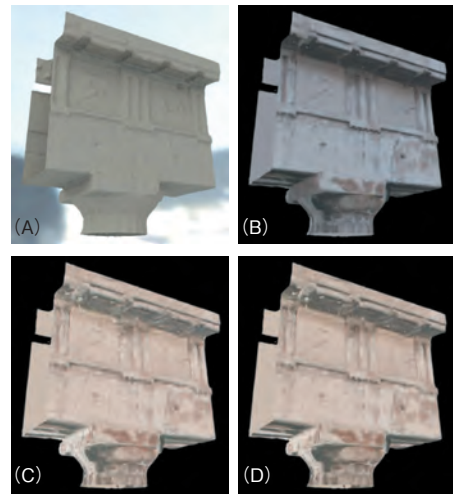
中央：Paul Debevec
左端：Arnold の作者 Marcos Fajardo





ショートフィルム「Parthenon」
 今年のエレクトロニック・シアターで上映されたショート・フィルム「Parthenon」は、アテネで撮影したパルテノン神殿を、ロサンゼルスで計測したライティングをもとに、GIレンダラ-Arnold-を用いてレンダリングしたもので、太陽の写った画像を用いてライティングを行ったという点が大きなチャレンジとなっている。
 また、パルテノン神殿に関しても、まずイメージベースド・モデリングによって3Dモデルを復元した上で、HDR画像を用いてその反射特性も復元している。
 この方法では、まずクロムボールに写った背景を撮影して、現実のシーンのライティングを復元する(1)。

そして、このライティングでモデルを照らし、推測した反射特性と設定して、撮影モデルの視点からGIでレンダリングする。
 このレンダリング結果(A)と実際の実写画像(B)との差を縮めるように、反射特性を調整する。この作業を繰り返してより正確な反射特性を復元する(C,D)。
 画像(2)は実写映像、(3)はこの東側の面の反射特性を、(4)は西側の面の反射特性を表している。



イメージベースドの新しい動向

イメージベースドの発想は、もともと2次元情報だけを用いて3次元情報を近似するというところにあった。しかしながら、精度の向上を追い求めた結果、イメージベースドの手法においても3Dモデルの幾何学的な情報が不可欠となり、通常の3DCGのパイプラインと融合して発展してきたといえる。しかしながら、その一方で、近年では原点に戻って、2次元情報だけを用いて擬似的なレンダリングに近い作業を行うことに、再び注目が集まっている。たとえば、異なったライティング条件で撮影した画像をもとにして、新しいライティング条件を作り出すという試みなどがその例といえる。具体的には、SIGGRAPH2004では、フラッシュを用いて撮影した画像とフラッシュを用いずに撮影した画像をうまく合

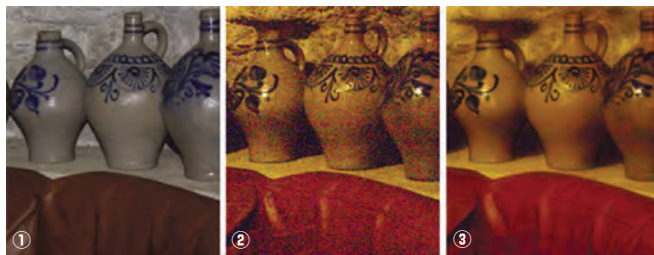


新しいライトステージ (SH 基底ベースの光と点光源の併用)
 Lightstage 5 によるイメージ・リライティングでは、環境からの光を最初の9つのSH基底関数に射影したもの(最下段の左から9つ)と、ひとつの点光源(最下段の右から2つ目)とを用いて、環境マップ(最下段の一番右)によって表されるライティングを近似している。SH基底関数に射影された光は、正・負の両方の値をとるが、ここではこれらを点光源と併用するために0から1の間に収まるように正規化している。上段の3種類の画像は、下段のそれぞれのライトを用いてリライティングを行ったもので、一番右の画像がそれらをすべて足し合わせて得られた最終的な画像となっている。

成して、撮影では作り出せない多様な表現を可能にする手法などが登場している。そして、このような画像処理を行うために、不可欠となるのが、異なった環境で撮影された表情の違う2枚の画像同士の間の対応点の検出だ。2枚の画像の間で対応点を検出する作業はステレオ・コレスポンドランスと呼ばれ、イメージワーブやステレオなどのように、2D画像がもつ情報をもとにして3Dの情報を作り出すためには、まずこの作業が必要とされる。これまでは、画像同士が非常に似通っていない限り、自動的に対応点を検出することは不可能とされてきたが、SIGGRAPH2004では、AIの考え方を導入することによって、似通っていない画像同士の対応点を自動的に検出する方法が発表された。これによって、上記のような新しいタイプの画像処理の可能性

が大きく広がると予想されている。「似通っている」という判断は、最終的には人間の知覚に基づいて行われる。この判断を、刺激に対する人間の反応の一種と考えたアプローチは、AIの研究を専門とする論文執筆者ならではのもので、このような考え方が長年置き去りにされてきた問題の解決を生んだともいえるようだ。

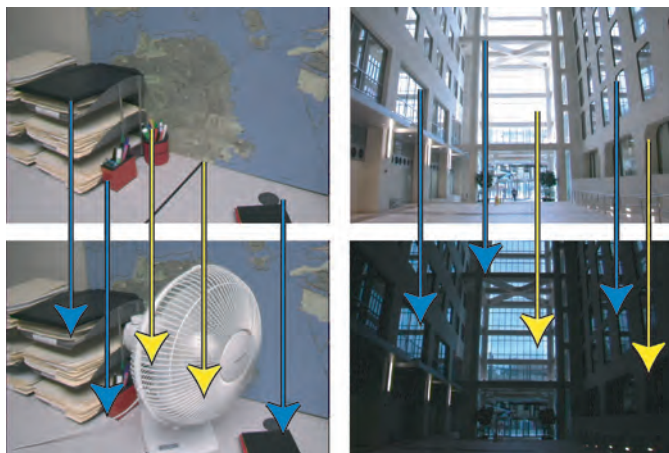
Noriko Kurachi



フラッシュ&ノン・フラッシュ
("Digital Photography with Flash and No-Flash Image Pairs" 注)

- ①左画像：フラッシュを用いて撮影した画像。高周波数の部分のディテールが捉えられている。
- ②真ん中の画像：フラッシュを用いずに撮影した画像。環境全体からの光が作り出す効果がうまく捉えられている。
- ③右の画像：①②の画像を独自の関数を用いて合成した画像。両者の利点を生かした画像が生成されている。

注) Digital Photography with Flash and No-Flash Image Pairs.
Georg Petschnigg, Maneesh Agrawala, Hugues Hoppe, Richard Szeliski, Michael Cohen, Kentaro Toyama. (Proceedings of SIGGRAPH 2004), 2004.



ビデオマッチング ("Video Matching" 注)

SIGGRAPH2004で発表された「Video Matching」という論文では、似通っていない2枚の画像同士の間で対応点を検出するための新しいコレスポンドランスの手法が考案された。

図の青い→の部分はマッチングが可能な部分、黄色い→の部分はマッチングが不可能な部分を示している。従来のステレオ・コレスポンドランスの手法では、マッチングが不可能な部分では対応関係が見つけれないだけでなく、そのような部分の存在が、マッチングが可能な部分の対応関係の検出も妨げられてしまうという問題点があった。

基本となる画像上の点 (x,y) に、比較する画像上の点 $(x+u,y+v)$ が対応しているとする。

基本となる画像上の点 (x,y) に対応するオフセット (u,v) を対応させたベクトル場(オフセット・フィールド)の連続性が点 (x,y) の近傍で高くなるように、点 (x,y) の近傍の点で算出されている (u,v) の値に重み付けを行って連続関数 $u(x,y)$ と $v(x,y)$ を作り出し、 $(u(x,y),v(x,y))$ を新たなオフセットとする。重み付けの係数としては、AIの分野で用いられている重み付け関数が用いられる。このようにオフセットの再計算を繰り返すことによって、より精度の高いオフセット・フィールドが生成されていく。図は大雑把に推測した初期のオフセット・フィールドを、PとMの再計算によって再帰的にアップデートする過程を示している。2枚の画像の中で、片方には存在しない扇風機のエリアでも対応関係が検出されており、その差異も正確に算出されている。

注) Video Matching

Peter Sand and Seth Teller (Proceedings of SIGGRAPH2004)

