



SIGGRAPH 2007 Overview (後編)

倉地 紀子

今回は、映像プロダクションによる映画のメイキングを中心に紹介したが、今回より基礎的な技術を中心に、SIGGRAPH 2007 で見られた今年のCG 技術のトレンドを紹介する。

< Computational Photography >

今年の SIGGRAPH 2007 で見られた CG 技術のトレンドを代表するものが、“Computational Photography” と呼ばれる新しいジャンルの技術だ。この数年來、あらゆる CG 技術の中で、もっとも活気を帯びていた GPU 技術への傾倒がひと段落し、それに取って代わったという感も強い。

Computational Photography という言葉が CG の分野に最初に登場したのは、昨年 SIGGRAPH のコースだった。こ

の言葉をそのまま解釈すると画像処理の一種のように感じられるが、実際に Computational Photography が目指しているのは、2D というよりは、むしろ 3D 情報の復元だ。その意味では、イメージベースドの技術に近い。あえていえば、イメージベースドが通常のカメラで撮影した画像を用いているのに対して、Computational Photography では、カメラのレンズやシャッタなどに工夫凝らし、それによって、本来非常に複雑な計算処理が必要とされる工程を大幅に単純化しているところが大きな違いだといえる。

また、Computational Photography に携わる研究者の半数近くは、CG の分野を専門とする研究者ではなく、コンピュータ・ビジョンの分野を専門とする研究者で占められている。昨年、今年と Computational Photography のコー

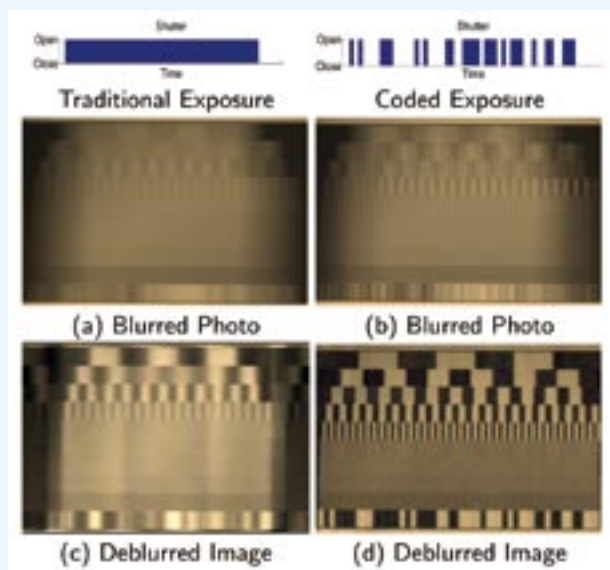
スを主催したラメッシュ・ラスカー氏 (Ramesh Raskar) もその一人だ。

同氏が CG に惹かれるようになったきっかけは、コンピュータ・ビジョンの研究が理論的に非常に高度であるにもかかわらず実用性に乏しいのに対して、CG の研究ではシンプルな理論と実用性が重んじられる点にあったという。そして現在は、コンピュータ・ビジョンの研究と CG の研究とを結びつけることが、研究のモットーなのだそう。

写真を用いた情報の復元という観点から見れば、コンピュータ・ビジョンの分野における技術の蓄積は、CG の分野を遥かに上回っている。その一方で、映像制作における実用性という観点では、CG の分野の方が、より豊かな蓄積がある。同じスタート地点から同じ視点のもとで、この2つの蓄積のバランスをうまくとって、これ

「Coded Exposure Photography」

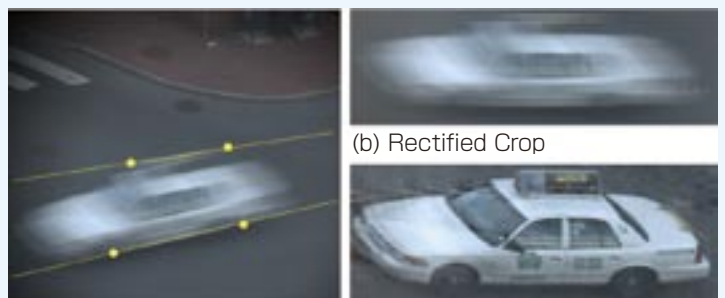
(Ramesh Raskar, Amit Agrawal, Jack Tumblin, Proceedings of Siggraph2006)



コードを工夫することによって、ブラーを作り出す関数をより正確に復元することができ、その結果、露出時間の間ずっとシャッターを開けておくよりも、遥かに効果的にブラーの除去を行うことができる。左列は、露出時間の間ずっとシャッターを開けた撮影画像を用いて、ブラーの除去を行った結果を、右列は、コードにしたがってシャッターを開閉して撮影した画像を用いて、ブラーの除去を行った結果を示している。



カメラのシャッターを、露出時間の間ずっと開けておくのではなく、一定のコードにしたがって、まばたきするように開閉して撮影を行う。



- (a) Blurred Image
- (a) コードにしたがってシャッターを開閉して撮影した画像
- (b) (a) の画像を、物体の進行方向が座標系に並行になるように変換する
- (c) Deblurred Image
- (c) ブラーを作り出す関数を復元し、その逆関数を用いてブラーを除去した画像

までいずれの分野でも解決できなかった問題点の解決に挑んでいるということが、Computational Photographyの大きな特徴といえるのかもしれない。

現在の Computational Photography には、大きくは2つの流れがある。ひとつ目は、スタンフォード大学が提唱するライトフィールドをベースにした手法だ。イメージベースド・レンダリングの手法として考え出されたライトフィールドは、他のイメージベースドの手法と比較して非常に数多くの画像が必要とされ、実用性という観点からはあまり高く評価されていなかった。

この固定観念を覆したのが、2005年にスタンフォード大学レン・ニュ (Ren Ng) によって発表された“**ライトフィールド・フォトグラフィ**”という手法だった。この手法では、カメラのレンズとセンサーとの間に小さなレンズを格子状に並べたプレートを挿入して撮影を行う。そして、このようにして撮影された画像から、レンズを通過してフィルムに焼き付けられるまでの光の挙動を、ライトフィールドとして復元する。

このライトフィールドを用いると、後述するバーチャル・リフォーカスなどの処理を非常に高い汎用性で効率的に行うことができる。カメラの内部構造をライトフィールドとして復元するという、ライトフィールドの新たな可能性を示唆した手法として、大きな話題となった。この流れを汲んだ研究が、現在の Computational Photography のひとつの方向性となっている。

もうひとつの方向性は、前述したラスカー氏が提唱する“**Coded Computational Photography**”というものだ。ここでいう“Coded”とは、わかりやすくいうと白黒のパターンのことを意味している。Coded Computational Photography では、このパターンが描かれたフィルムをレンズやプロジェクタに貼り付けたり、カメラのシャッターをこのパターンに合わせて切り替えたりして撮影を行う。

撮影画像からある情報を復元する場合、これまでは無作為にランダムに抽出した画像から復元を行っていたのだが、この手

法では、一定のパターンで情報の復元に適した画像を抽出する。これによって、情報の推測を容易にし、より少ないデータを用いてより豊かな情報をより正確に復元するというのが、この手法のコンセプトだ。

Coded Computational Photography の代表的な例のひとつが、昨年ラスカー氏が発表した“**Coded Exposure Photography**”という手法だ。この手法は、画像のブラーを取り除くことを目的としている。ブラーを取り除くためには、逆にどのようにしてブラーが発生したのかを知る必要がある。通常はこれに関数の形で復元するのだが、普通のカメラで撮影された画像を用いてこの関数を復元することは非常に難しい。

そこで、この手法では、撮影の間ずっとシャッターを開けているのではなく、一定のパターンでシャッターを開閉しながら撮影する。このようにして撮影された画像を用いると、普通に撮影された画像を用いるよりも、遥かに正確に関数の形を推測し復元できるのだ。

もうひとつの例としては、やはり昨年発表された“**First Separation of Direct and Global Components**”という手法がある。発表したのは、コンピュータ・ビジョンの分野で著名なコロンビア大学のシェリー・ナヤル氏。

この手法は、撮影画像を、直接光の影響だけを表わす画像と、間接光の影響だけを表わす画像とに分離することを目的としている。ここでは、パターンフィルムで覆ったプロジェクタを通して物体表面に光をあて、2種類のパターンフィルムを切り替えて撮影を行う。一種類目のパターンの白黒を反転させたものが、2種類目のパターンとなっている。

その結果、物体表面上で、一種類目のパターンでは直接光が当たっていた点（直接光と間接光に照らされている）には、二種類目のパターンでは直接光が当たっていない（間接光だけに照らされている）という状態を作り出すことができ、2種類のパターンで撮影した2種類の画像同士を比較することによって、直接光の影響と間接光の影響を分離することができる。いずれも、コードを用いて撮影方法に工夫を凝

らすことで、本来必要とされる複雑な計算処理を大幅に削減しており、これこそが、Coded Computational Photography 大きな利点だといえる。

< Prakash >

今年、新しいコンセプトのモーショキャプチャ・システムが複数発表されて話題となったが、その中でもっとも注目されたのが、ラスカー氏が発表した“**Prakash**”というモーショキャプチャ・システムだった。そして、このシステムも、前述したコードも用いて、アプローチを最大限に生かしている。

本来、光学式のモーショキャプチャ・システムでは、人間に付けたマーカーに向かって光を当て、このマーカーによって反射した光を外部のカメラでとらえることで、マーカーの位置情報を復元する。ただし、このように外部カメラを用いる場合には、非常に高速に撮影を行うことのできる高価なカメラが必要とされる。また、上記のような撮影が行える環境は限られており、たとえば屋外などではキャプチャを行うことができない。そこで、ラスカー氏は外部カメラを用いずに位置を復元する方法を考案した。

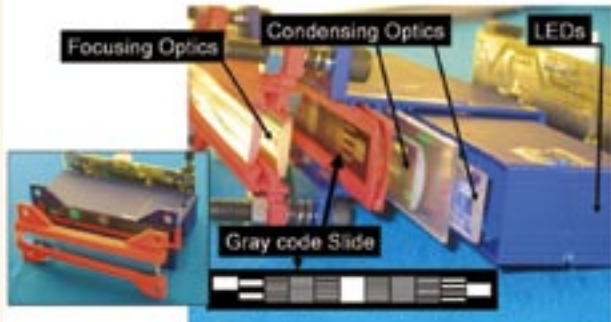
Prakashの方法では、外部カメラを用いた撮影を行う代わりに、タグに取り付けられたセンサーが、プロジェクタを通した光が運んでくる位置情報を感知して記憶するというアプローチをとっている。

まず、複数の異なったパターンフィルムを切り替えながら、パターンフィルムで覆ったプロジェクタを通して、衣服などにつけたタグに向かって光をあてる。複数のパターンフィルムは一列に並べられており、各パターンフィルムの後ろに設置されたLEDをオンオフすることによってパターンの切り替えを行う。

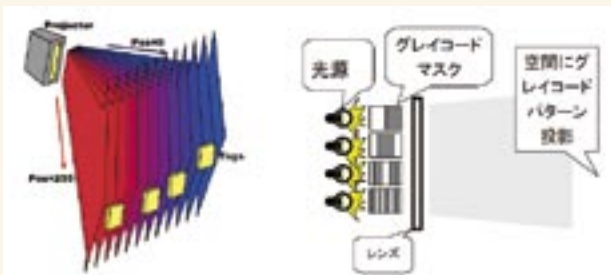
パターンフィルムは白または黒のバーが横一列に並んだものとなっている。バーのならびに並行な横一列の位置を考えた場合、白のバーを通した光が当たる位置にあるタグのセンサーは、光を感知して“1”という信号を記録する。一方、黒のバーを通した光が当たる位置にあるタグのセンサーは、光を感知せず“0”という信号を記



人間の衣服にタグを付け、このタグに向かってプロジェクターを通して光を当てる。プロジェクターを通した光は、位置情報を持っており、この位置情報に対するタグのセンサーの反応を記録することによって、タグに位置を復元する。



プロジェクターは、複数のコードをつなげたコードフィルムで覆われている。コードフィルムの後ろにはコードの数だけの光源 (LED) が並んでおり、これらの光源をオンオフすることによって、複数のコードを切り替える。



左図の一番手前にあるタグの場合には、コードを上から順に切り替えることによって、「1110」(1: 光を感知, 0: 光を感知せず) という信号を記録する。一番奥にあるタグの場合には、「0111」を記録する。このように記録される信号はタグの位置によって異なり、この信号をチェックすることによってタグの位置情報を得ることができる。

「Instant Replay: 構造化光投影型高速モーションキャプチャシステム」(新井英明) より

を変えることができ、画像全体のぼけ具合も変わってくる。バーチャルリフォーカスでは、実際に撮影を行うことなく、このリフォーカスの作業を行う。つまり、ある特定の点に焦点を合わせて撮影した画像をもとにして、違った点に焦点を合わせて撮影した場合の画像を、計算によって算出することが、バーチャルリフォーカスだといえる。

今年登場したバーチャルリフォーカスの手法は、大きくは2種類のグループに分けられる。ひとつは、ある特定の点に焦点を合わせて撮影した画像からデプスを復元し、このデプス情報をもとにしてリフォーカスを行う方法だ。

デプスとは、物体表面上の点からレンズまでの距離を指す。前述したように、焦点の合っていない点のぼやけ具合は、物体表面上の点から焦点の合っている点までの距離に比例する。デプスがわかれば、焦点を合わせた点に変化した場合に、物体表面上の点から焦点を合わせた点までの距離がどのように変化するかを知ることができ、これによってぼけ具合の変化を推測して、リフォーカス後の画像を作成することができる。

人気が高かったのは、細かいドットをプロジェクタで投影しながら撮影を行う「Active Refocusing Images and Videos」という手法。

この方法では、あらかじめデプスの変化によりドットのぼけ具合がどのように変化するかを計測しておき、その計測結果を、実際に撮影した画像に写っているドットのぼけ具合と比較することによって、撮影したシーンの各点におけるデプスを復元する。

もう一種類は、ライトフィールド・フォトグラフィと同様に、カメラの内部構造

録する。その結果、たとえば5種類のパターンを切り替えて計測した場合には、センサーは「10011」というようなコードの並びを記録する。

このコードの並びは、タグの位置によって変わってくる。このため、センサーが記録した0と1のコードの並びをチェックするだけで、タグの位置情報を復元することができ、復元速度もLEDをオンオフする速度まで高めることができる。

高速な外部カメラを用いないだけに、屋外でのキャプチャも可能で、衣服が特別に厚くなければ、衣服の内部にタグを付けてキャプチャすることもできる。また、ここで、用いられている器材には高速カメラのように高価なものはひとつもなく、安価なデバイスを用いて高速で自由度の高いキャプチャを行えるようにした意味は大きかった。今年もっとも注目された手法のひとつだといえる。

<バーチャルリフォーカス>

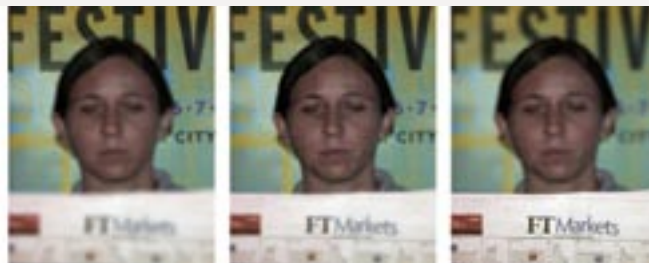
Computational Photographyを代表するセッションとなったのが、「Computational Camera」と題したペーパーセッションだった。そしてこのセッションの論文は、何とすべてのが「バーチャルリフォーカス」をテーマとしていた。

CGレンダリングの原理のもとになっているピンホールカメラとは違い、実際のカメラ撮影で用いられるレンズには大きさがある。このため、シーン内のすべての点に焦点を合わせることは難しい。ある点に焦点を合わせて撮影した場合、その前後にある点は円形にぼやけて広がって写る。そして、ぼやけた円の半径は焦点の合っている点からの距離に比例する。

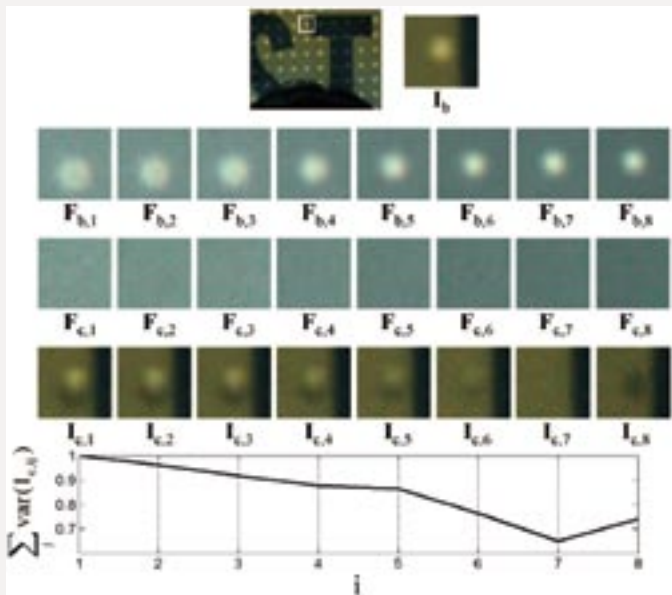
一般的に、実際にカメラを用いてリフォーカスを行う場合には、レンズの露出している部分の口径を変えて撮影を行う。これによって焦点の合っている点の位置



この手法では、デプスの変化によるぼけ具合の変化をあらかじめ計測しておいたグリッド状のドットを、プロジェクターで投影しながらシーンを撮影する。



一番左は、復元されたデプスマップ。左から、2番目、3番目、4番目の画像は、このデプスマップを用いて、遠景、中景、前景にリフォーカスした結果を示している。



計測では、ドットを投影してホワイトボードを撮影したもの（上から2段目:Fb,i）と、ドットと投影せずにホワイトボードを撮影したもの（3段目:Fc,i）を作成しておく（iはデプスのレベルを表しており、左から右に向かってデプスの値が大きくなっていく）。2種類の画像の比をとって、シーンを撮影した画像（一段目:Ib）に掛け合わせたものを作成し（4段目:Ic,i）、この画像内の色味の変化がもっとも少なくなるようなiを、撮影画像のデプスを判断する。ここではi=7で色味の変化が最少となっているため、撮影画像Ibのデプスレベルは7と判断する。この作業を、画像を区切っているグリッドのすべてのセルに対して行って、デプスマップを作成する。

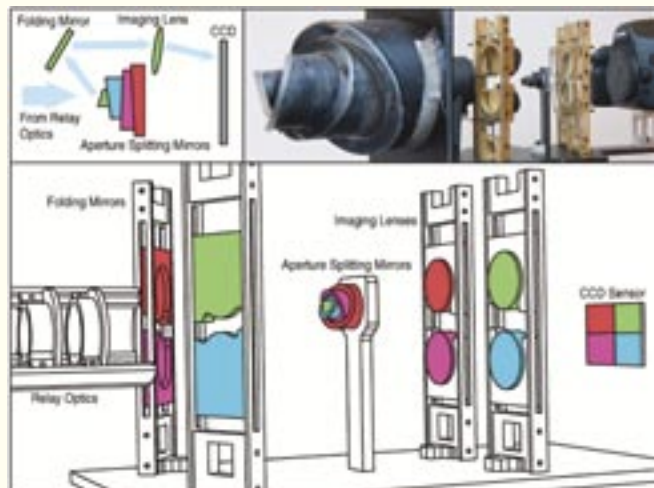
をシミュレートしようとする手法だ。この方向性の手法で評価が高かったのは、“Multi-Aperture Photography” という手法。

カメラの内部構造を復元するためには、レンズ全体を通った光が作り出す効果を、レンズの各部分を通った光が作り出す効果に分解する必要がある。ライトフィールド・フォトグラフィでは、小さなレンズを並べたプレートを用いて、レンズ全体を通る光を格子状に分解していた。

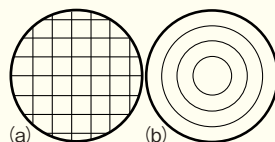
これに対して、Multi Aperture Photographyでは、花弁のように立体的に重なったレンズを用いて撮影を行うことによって、レンズ全体を通る光を同心円状に分解する。ライトフィールド・フォトグラフィの場合と比較して、よりシンプルな計算でリフォーカスを行うことができる。ラスカー氏も着目する、新しいコンセプトのパーチャルリフォーカスだといえる。

[Multi-Aperture Photography]

(Paul Green, Wenyang Sun, Wojciech Matusik, Fredo Durand, Proceedings of Siggraph2007)



花弁のように立体的にレンズを重ねたカメラを用いて、一度の撮影によって、本来は一つの画像を、仮想的に複数の異なる口径で撮影した画像に分離する。このように分離された画像を用いてカメラの内部構造（レンズを通過してイメージプレーンに達するまでの光の挙動）を復元する。



上記の分離の概念は、Light-Field Photographyと共通しているが、Light-Field Photographyが(a)のように格子状に分離をおこなうのに対して、Multi-Aperture Photographyは、(b)のように同心円状に分離を行い、リフォーカスのプロセスをよりシンプルにしている。

< Computational Photography のゆくえ >

前述したように、Computational Photography というジャンルが産声をあげて、まだ一年しか経過していない。それにもかかわらず、今年は全論文のうちの四分の一近くが、なんらかの意味で Computational Photography を意識したものである。正直なところ、ここには幾分トレンドを意識したという風潮も見られる。

GPU 全盛の頃に、「CG 技術にも流行がある。今の GPU 騒ぎもそのひとつだ。GPU の次には、またそれにとって代わる何かが出てくるだろう」という冷静な見方をしていた人々もいたが、その予測は的中

したといえる。

だが、伝統的な CG 技術が幾分伸び悩んでいる今日、CG 本来のアプローチとは違った斬新な考え方が必要とされてきていることは間違いない。その意味では、Computational Photography の考え方は、トレンドうんぬんに左右されない重要な意義をもっているといえるのだろう。

今年の状況を見る限りでは、やはりその応用範囲は、これまでの「写真」を用いた技法をカバーしていた領域を越えてはいないが、今後はより広い領域に浸透していくものと見込まれている。まだ見えぬ無限の可能性を持ったこの手法の行方に期待したい。

Noriko Kurachi