

実世界物体の忠実な3Dデジタル再現を目指して



夢はバラ色

松下康之*

Toward high-fidelity digital 3D reconstruction from reality

Key Words : Computer vision, 3D reconstruction

はじめに

最近、デジタルツインやメタバースといったキーワードと共に「仮想空間」という概念が再注目されています。仮想空間を支える技術は、基盤となる通信技術や提示技術はもとより、仮想空間内での事象を再現するシミュレーションや人工知能技術、そして、仮想空間というコンテンツを作成する技術まで多種多様な情報科学の技術が含まれます。私たちの研究グループでは、その中でコンテンツ作成部分に相当する実世界物体の三次元デジタル化技術に取り組んできました。このたび、その取り組みに対して思いがけず第40回大阪科学賞を受賞させていただきました。このような過分な評価をいただいたのは、共同研究者の皆様、選考委員の先生方のお力添えのおかげであり、感謝に堪えません。本稿では、本受賞の対象となった「実世界の三次元デジタル化」技術に関してご紹介させていただきます。

コンピュータビジョンと実世界のデジタル化

私たち人間は視覚を通じてどのように実世界を認識しているのでしょうか。能動的に行動するために、私たちは目を通して得られた画像から環境の三次元情報を脳内に構築します。では、コンピュータやロボットに同様の機能を持たせることはできるでしょうか。このような研究を扱う分野を指してコンピュ

ータビジョンと呼びます。コンピュータビジョンは1960年代に人工知能研究の一部としてスタートし、計算により人間の視覚と同等の機能を実現できるか、さらには視覚機能の本質とは何かを探る情報科学の一分野で、現在も活発に研究されています。

私たちが実世界の物体を「見る」とき、実際に私たちの目が感じているものは物体から目へ向かって飛び込んでくる光です。その光は、太陽や電灯などの光源から発せられた光の一部が物体表面上で反射したり、透過したり、あるいは物体そのものの発光により生じます。したがって、現実世界の物体の三次元形状や表面の反射率、色などを正しくデジタル化できれば、任意の光源のもとで実際の物体と同じ見目を持つデジタル複製が作成できることとなります。さらに、作成したデジタル複製をコンピュータ上の仮想空間に配置することで、仮想現実(Virtual Reality; VR)や映像制作などに応用することができるようになります。

多視点からの観察による三次元形状推定

それでは、身の回りにある物のデジタル複製を作るにはどうしたらよいのでしょうか。もっとも身近で利用できそうなツールとしてデジタルカメラがあります。カメラで撮影することで、現実世界の三次元物体の見目をデジタル化し二次元画像として記録することができます。複数の異なる視点から撮影した画像を使うと、多視点ステレオと呼ばれる方法を用いて物体の大まかな三次元形状を推定することができます(図1)。この多視点ステレオ法は、同じシーンを異なる視点から撮影し、画像中に観察される物体上のカドや線といった共通の特徴がある部分の三次元位置を三角測量の原理によって推定します。

一方で、私たちは多視点から観察された画像がな



* Yasuyuki MATSUSHITA

1974年9月生まれ
 東京大学 大学院工学系研究科 博士後期課程修了(2003年)
 現在、大阪大学 大学院情報科学研究科
 マルチメディア工学専攻 教授
 博士(工学)
 TEL : 06-6879-7825
 E-mail : yasumat@ist.osaka-u.ac.jp

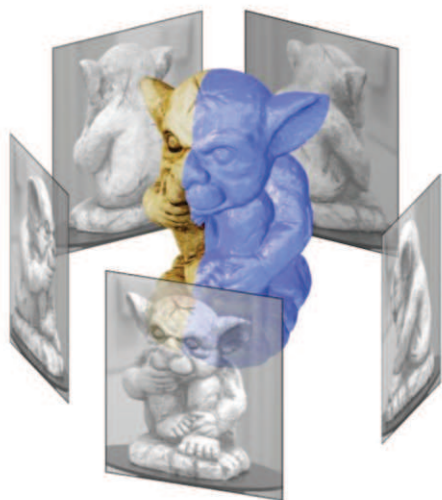


図1 多視点ステレオによる三次元形状推定

くとも、物体の三次元形状を理解することが出来ません。私たちの目をカメラとみなすと、二つのカメラによって三角測量により奥行きを理解できることが理由の一つとして挙げられます。しかし、片目だけで見たとしても三次元形状を理解することができるのはなぜでしょうか。私たちは過去の経験から得た知識（事前知識）を使って、三次元形状を理解していると考えられますが、過去に見たことのないもの、例えば氷山のように多様な形をもつものなども写真から形状を理解することができます。この理由ははっきりとはわかっていませんが、物体表面上の見た目の明るさの陰影パターンと事前知識の併用により、私たちは形状を理解していると考えられます。

照度差ステレオ法による三次元形状推定

画像の陰影パターンを利用したコンピュータ上での計算による三次元形状推定の方法に照度差ステレ



図2 照度差ステレオ法による法線マップの推定（参照球は法線と色との関係を示す）

オと呼ばれるものがあります。照度差ステレオは、対象物体を同一視点から光源方向を変えながら撮影した複数枚の画像から、シーン中の各場所の明るさの変化に着目して各々の場所の面の傾きを推定することができます（図2）。ここでいう面の傾きとは、着目している画像上の点に対応する物体上の面がカメラに対してどの方向を向いているかを示すものであり、三次元空間で方向を表す法線ベクトルとして表現されます。これが画像上の各点で計算できますので、これらをまとめた法線マップは、物体表面の細かな形状情報を含みます。図2では法線マップの可視化のために、三次元の法線ベクトルに含まれるX、Y、Z方向の三つの要素をそれぞれ赤、緑、青の色として表現しています。

事前知識を用いた照度差ステレオ法

私たちは、照度差ステレオによる三次元形状復元の研究に取り組んできました。これまでの照度差ステレオ法は光沢や艶のない拡散反射面を対象としてきましたが、現実世界の物体はツルツルしたものや鈍く光るものなど多様な反射率で表される質感を持っています（図3）。このような多様な反射率分布

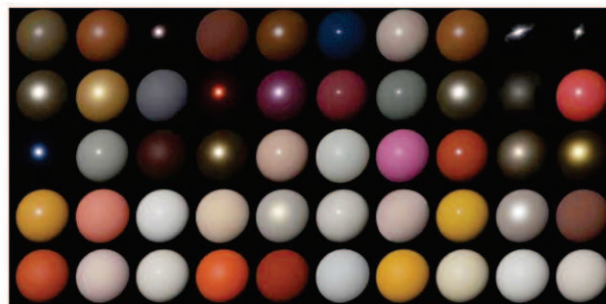


図3 多様な反射率分布

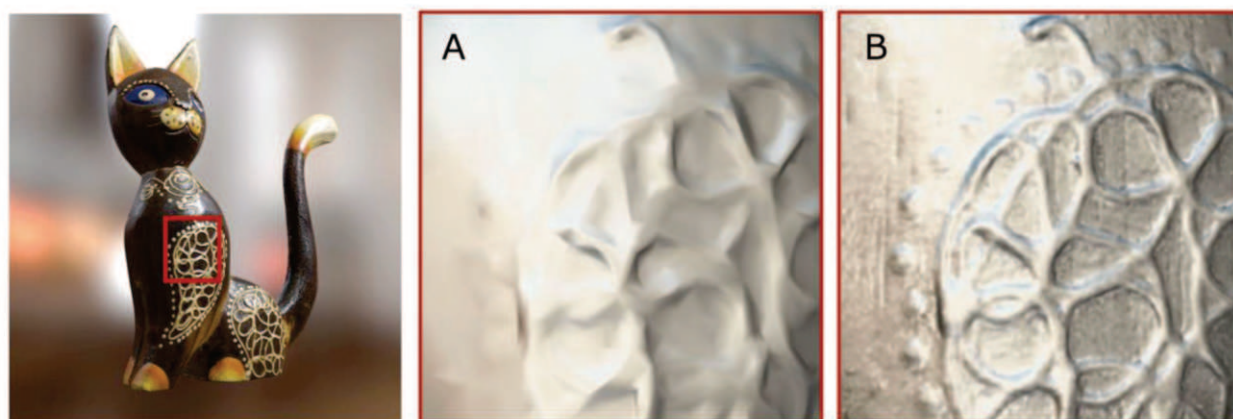


図4 デジタル複製の例 A: 多視点ステレオによる形状、B: データ駆動型照度差ステレオ法による形状

を持つ物体の三次元形状推定は難しい問題として知られていました。その中で、私たちの研究グループでは画像中の陰影パターンと事前知識を用いることで、多様な反射率分布を持つ物体の三次元デジタル復元が実現できることを示しました。その研究の一つの例では、事前知識として図3のような多様な反射率分布データセットを準備し、これらの反射率分布で生成される陰影パターンを深層学習によって学習することで、陰影パターンと法線ベクトルの対応関係を獲得しました。これにより、異なる光源下で得られた画像列から直接的に深層学習器を用いて三次元形状を推定することができることがわかりました。また、別の例では、事前知識として図3のような反射率分布データセットに加えて離散化された法線候補を用いることにより、照度差ステレオ問題を最近傍探索問題として位置付け、これを効率的に解く方法を開発しました。このようなデータ駆動型の枠組みにより、実世界に存在する多様な物体の三次元形状のみならず、反射率分布も推定可能であることがわかり、実世界物体の忠実なデジタル複製に向けて前進することができました。私たちが研究を進めている光とカメラを用いるアプローチでは、画像のピクセル単位の細かさで三次元形状を推定することができるので、高精細なデジタル複製が

できるというメリットがあります(図4)。復元できる物体表面上の細かさは、カメラの中のセンサとレンズの解像度に依存しますが、高解像度のものを選ぶことでその分だけ高精細な復元が可能になります。

むすび

本稿では、現実世界の物体の三次元デジタル複製について、私たちの取り組みを簡単に紹介しました。新しいデータ駆動型の三次元形状推定技術により、これまでは難しかった物体の三次元デジタル複製ができるようになってきました。一方で、このようなデジタル複製のための撮影機材は未だに複雑なものであり、また、撮影や計算にかかる労力も低いとは言えません。今後は、撮影方法と三次元形状推定方法を同時に進化させて、現在私たちがスナップショット写真を撮るくらいの手軽さで、誰もが三次元デジタル複製を作れる世界を目指したいと考えています。手軽に三次元デジタル複製が作れるようになれば、仮想現実やデジタルツインが今よりもずっと加速すると考えられます。また、三次元デジタル複製は文化財や美術品のデジタルアーカイブや、商品のデジタル展示、工場などでの製品の外観検査などへも応用が期待できます。