連載

5分で分かる!? 有名論文ナナメ読み

宮下令央（東京大学）

Ramesh Raskar, Greg Welch, Kok-Lim Low and Deepak Bandyopadhyay : Shader Lamps : Animating Real Objects With Image-Based Illumination

Eurographics Workshop on Rendering Techniques (2001)

実世界の模倣から実世界の書き換えへ

CGは光の挙動をモデル化し，実世界の物体の見え方を模倣することを主な目的として発展してきた．その発展は今や，現実のシーンをそっくりそのまま再現することは当然として，仮想的な世界を現実と区別がつかないほどリアルに，あるいは芸術的に表現するまでに至っている．今回紹介するRamesh Raskarらによる Shader Lampsの論文は，そのような実世界の構造を取り込んで発展してきたCGを実世界に逆輸入し，CGによって実世界を書き換えようと試みたものである．後にSpatial AR（SAR）またはプロジェクションマッピングと呼ばれるこの論文の研究は，映像投影によって物体の見た目を書き換える上での基本的な指針を示し，多くの研究をインスパイアしてきた．

本論文の基本となるアイディアは，ごく単純なものである．物体の見た目はその物体が持つ形状，質感，さらに周囲の光源環境によって決定づけられるが，観測者である我々には，その見た目が物体そのものによるものか，それとも光源環境によるものか区別することができない．よって，プロジェクタを光源として巧みに映像を投影すれば，図-1のように，紙に印刷された絵と区別がつかない見た目を投影によって作れるはずだという発想である．このアイディアを基に，本論文では特殊な眼鏡やゴーグルなしに直感的な操作が可能な情報環境の構築を最終目的としている．Human Computer Interaction（HCI）やVRの分野ではさまざまなインタフェースが開発されているが，実世界の物体以上に直感的なものはない．そこで，実世界の物体という最高のインタフェースと自由で動的なコンテンツを提供できるCGを組み合わせてこの目的を達成しようというわけである．

実世界との辻褄合わせ

プロジェクションマッピングや，スマートフォンをかざすと実世界の映像に仮想的な情報が付加されるアプリなど，ARは世の中に普及しつつある．ARでは実世界に仮想情報を違和感なく重畳するために，さまざまな辻褄合わせが行われるが，プロジェクションマッピングでは自由には編集できない実世界の物体をシステムに組み込むことになるため，端末の画面内で完結するARよりも高度な辻褄合わせが要求される．本論文では投影するCGを対象の形状や位置姿勢にぴったりと合うように映像を生成することは当然として，対象表面の色や光沢といっ

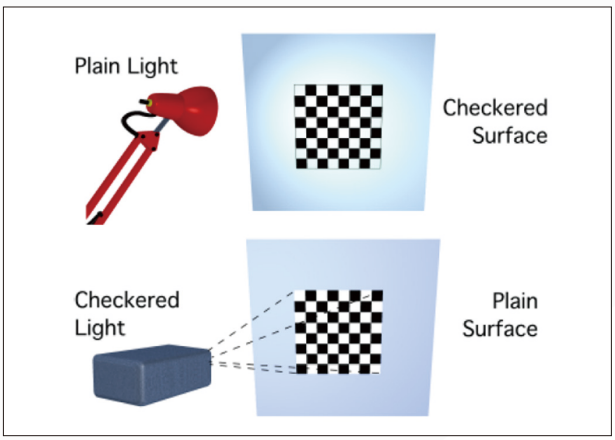

図-1　物体と投影の区別．[Raskar, et al., EG'01] より引用

た質感に応じて映像を調整する基本理論が述べられている．さらに，二次反射の影響や，複数台のプロジェクタで対象を取り囲んで投影を行う場合に生じる影や映像の重なりに対処するアルゴリズムを提案しており，現在のプロジェクションマッピング技術の礎となっている．

論文中には，2台のプロジェクタを用いてタージマハルの模型や壺にプロジェクションマッピングを施し，テクスチャのインタラクティブな書き換えや，仮想的な光源環境に応じて変化する見た目を再現した図-2のようなデモンストレーション例が紹介されている．当時の実装では，対象形状には事前に計測しておいたデータを使用し，対象表面には投影に適した質感を持つ素材が利用されていた．また，投影によって書き換えるものは，対象の色や光沢などの質感，すなわち光学的特性のみにとどまっていた．現在では，対象形状を瞬時に計測することで運動や変形を伴う対象にもぴったりと映像を投影するダイナミックプロジェクションマッピングや，対象本来の色や模様の影響を補償するアルゴリズム，数十台のプロジェクタが協調動作するシステム，さらには，石膏像を動かすとゼリーのように揺れ，光学的特性だけでなく力学的特性の変化を錯覚させる技術など，発展的なシステムが数多く開発されている[1]．

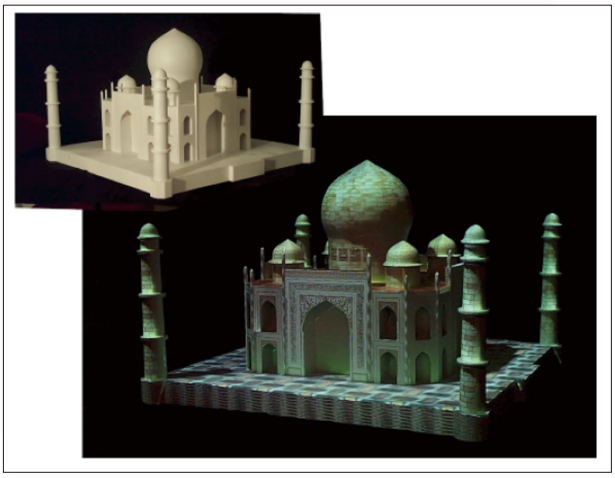

図-2　テクスチャの書き換え．[Raskar, et al., EG'01] より引用

シームレスな世界の実現

Shader Lampsに始まったプロジェクションマッピングは，手法の発展だけでなく，プロジェクタやCGをレンダリングするGPUなどのデバイスの高性能化も相まって，高度化が進んでいる．イベントなどで見られるプロジェクションマッピングでは，高度な技術を駆使したものはまだまだ少ないが，今後世の中に浸透していくことが期待される．そのような世界では，画面内のCG同様に実世界が書き換わり，物質と情報がシームレスに繋がる世界が実現されるだろう．映像の投影では物体の見た目を変えることしかできないが，もし見た目を変えつつ，実世界の物体のインタラクティブ性を最大限に引き出せたならば，それは物体の本質を大きく変えるものになるのではないだろうか．

参考文献

1) Grundhöfer, A. and Iwai, D. : Recent Advances in Projection Mapping Algorithms, Hardware and Applications. Computer Graphics Forum, 37(2), pp.653-675 (2018).

(2021年1月25日受付)

宮下令央
miyashita@ishikawa-vision.org
2017年東京大学大学院博士課程修了．博士(情報理工学)．同大学特任助教を経て，2020年より同大学情報基盤センター特任講師．高速画像処理，AR/VRに関する研究に従事．