

カメラ・照明と計算機・情報技術の融合

情報工学研究院情報工学研究系 教授 岡部 孝弘



はじめに

我々の身の周りでは、様々な色(波長)の光が、様々な位置から様々な方向に飛び交っています。このような光で埋め尽くされた3次元空間は光線空間(ライトフィールド)と呼ばれ、飛び交う光の強さは、位置・方向・波長・時間の7次元の関数で記述されます。皆さんのお手元にある通常のカメラは、実は、様々な方向から入射する光を2次元の画像に変換するものです。つまり、光線空間の7次元のうち、方向に関する2次元の情報のみを捉えているにすぎません。

我々の研究室では、光線空間をキーワードに、画像の理解・認識・

生成に関する研究を行っています。

特に、昨今の人工知能(主に深層学習)ブームに流されることなく、従来のカメラや照明(フラッシュ)を計算機・情報技術と融合することで拡張した、コンピュータシミュナルフォトグラフィやコンピュータシミュナルイルミネーションの研究に取り組んでいます。前者については、光線空間の計測とその応用に関する技術、後者については、光線空間の生成とその応用に関する技術を開発しています。

研究例

1 反射成分の分離と形状復元

撮影後にピントを変更できる機能で有名なライトフィールドカメラでは、ワンショットで様々な視点の画像を同時に取得することができます。これは、撮像素子の上に微小なレンズを敷き詰めた特殊な光学系により、光線空間の7次元のうち、位置と方向に関する4次元の情報を捉えているからです。

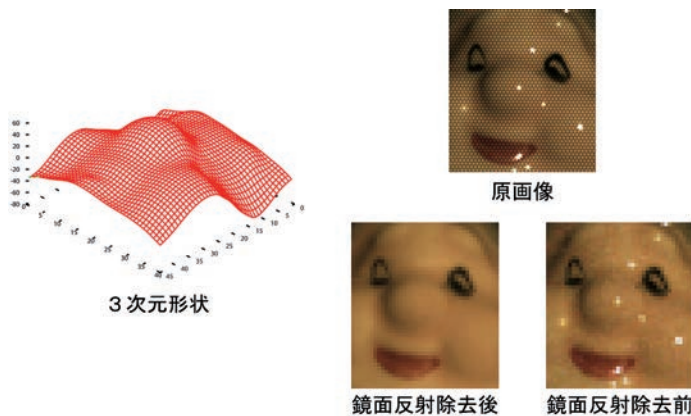


図1 反射成分の分離と形状復元

一般に、物体表面で観察される反射光は、鏡面反射成分(光沢)と拡散反射成分からなります。我々は、鏡面反射成分の明るさが視線方向に依存して変化すること、および、拡散反射成分の明るさの双線形性に着目して、照明変動を伴う多視点画像(4次元光線空間)に基づく反射成分の分離を実現しました(図1右)。分離した鏡面反射成分と拡散反射成分から、被写体の3次元形状に関する異なる手掛かりが得られるため、それらを用いて被写体の形状を一意

に復元することができます(図1左)。

2 反射成分の分離と質感編集

物体の見えは、物体を照らす光源の色と方向の両方に依存します。我々の開発した多波長・多方向光源システム(Kyutech Light Stage I)(図2)は、様々な色(分光強度)のLEDからなる光源クラスタを半球面上の様々な位置に配置したもので、被写体を様々な色で様々な方向

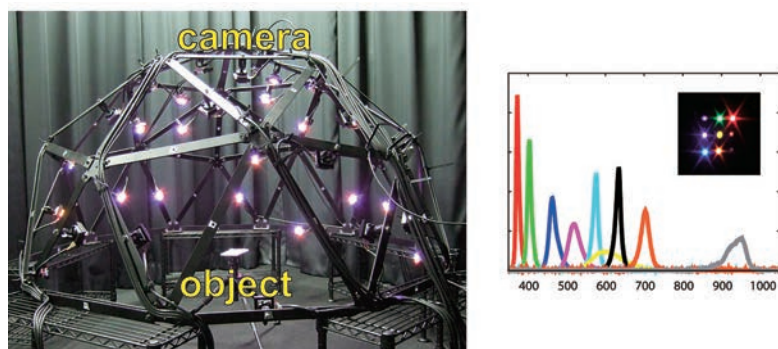


図2 多波長・多方向光源システム

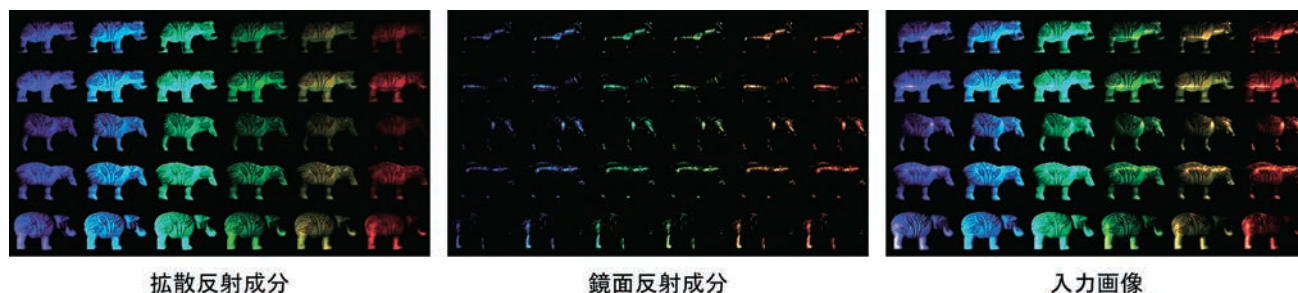


図3 鏡面反射成分と拡散反射成分の分離

から、つまり、3次元光線空間で照らすことができます。

様々な色・方向の光源下で撮影した画像の集合は、光源色・光源方向・画素を軸とする3次元のデータ（3階のテンソル）で表現することができます。我々は、鏡面反射成分と拡散反射成分が光源の色・方向にどのように依存するかを手掛かりにして、3階テンソルに内在する低ランク性やスパース性などの構造を明らかにしました。また、この構造に基づいて、多変量解析により、多波長・多方向光源下画像の反射成分の分離を実現しました（図3）。分

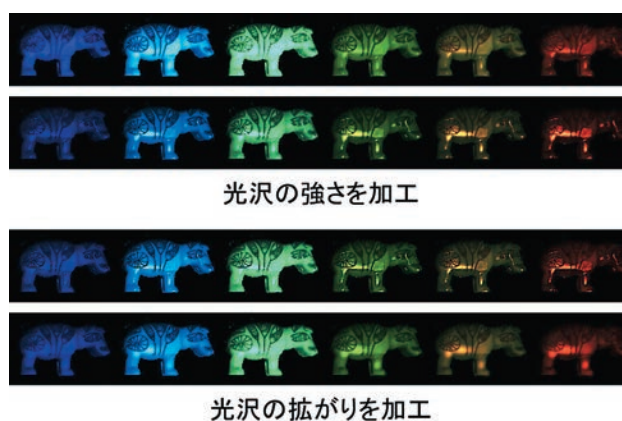


図4 光沢感の編集

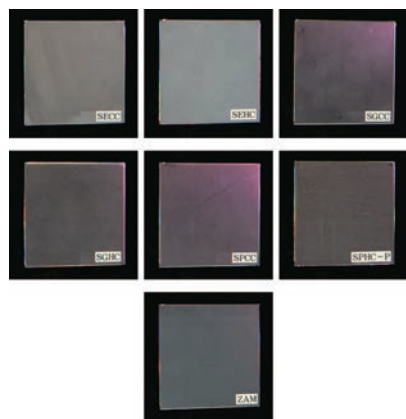


図5 材質識別の対象

一般に、表面材質の反射率は波長に依存するため、反射光の明るさ・色は光源の波長に依存します。また、

3 表面材質の識別

金属やプラスチックなどの材質のカテゴリ、および、鉄やアルミニウムなどの材質そのものやその状態（傷や錆など）を識別することは、リサイクルや外観検査などにおいて重要です。我々は、非破壊かつ非接触で実現することのできる、画像に基づく表面材質識別にも取り組んでいます。

材質やその状態によって表面粗さ（ざらつき）が異なることから、反射光の明るさは光源の方向にも依存します。したがって、多波長・多方向光源システムを用いて、被写体を撮影するときの照明環境を、識別が容易になるように工夫することができ、我々は、様々な色・方向の光源を同時に点灯して撮影した1枚の画像から識別を行うときに、各々の光源の強度を最適化する手法を提案しました。これにより、人間には識別が困難な金属板の材質（図5）を、100%に近い精度で識別することが可能になりました。

おわりに

紙面をお借りして、我々が取り組んでいる画像の理解・認識・生成に関する研究を紹介させていただきます。他にも、ハイパースペクトルカメラや高速カメラを用いたコンピュータビジョン・フォトグラフィの研究や、3次元ディスプレイやプロジェクタを用いたコンピュータビジョン・リアルミネーションの研究にも取り組んでいます。これらの研究やその応用・実用化に興味を持たれた方は、是非お声をお掛け下さい。