

多波長・多方向光源下における画像の 圧縮センシングのための辞書学習

小林 直人[†] 岡部 孝弘[†]
[†]九州工業大学情報工学部知能情報工学科

1. はじめに

物体の見えは、物体を照らす光源の波長と方向の両方に依存する。近年、光源装置の進化により多波長・多方向光源下での物体の撮影が可能になり、そのイメージベーストモデリングや物体(マテリアル)認識への応用が注目を集めている。これらの応用では、光源数を増やせば増やすほど精度が向上すると考えられるが、その一方で、撮影に要する時間も増大してしまう。

そこで本稿では、圧縮センシングの枠組みで、多波長・多方向光源下における画像を効率的に獲得する手法を提案する。Ajdin ら[1]は、多波長・多方向光源下で観察される画素値を並べた行列の低ランク性と(外れ値の)スパース性に基づく圧縮センシングを提案している。これに対して提案手法は、訓練データを用いた辞書学習により解空間を制限することで、復元精度の向上を目指す。提案手法の特長は、(i)訓練データとしてシミュレーションデータを用いることで、実画像データを取得する手間を省き、(ii)画素値がスペクトル項と幾何学項の積で表現されることに着目して、辞書を効率的に学習することである。

2. 辞書学習による圧縮センシング

物体表面上のある点において、 I 個の光源方向、各光源方向あたり J 個の光源色の下で観察される画素値を並べた $N (= I \times J)$ 次元のベクトルを原信号 \mathbf{x} とする。光源のオン・オフを表す M 行 N 列 ($M < N$) の観測行列 \mathbf{A} を用いて、観測信号 \mathbf{y} が $\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}$ と表されているとする。辞書学習による圧縮センシングでは、辞書 (N 次元基底ベクトルの集合) \mathbf{D} と結合係数 \mathbf{c} を用いて原信号を $\mathbf{x} = \mathbf{D}\mathbf{c}$ のように表現しておき、結合係数 \mathbf{c} がスパースになるように $L1$ ノルム最小化問題を解くことで、観測信号 \mathbf{y} から原信号 \mathbf{x} を復元する。なお辞書 \mathbf{D} は、結合係数 \mathbf{c} がスパースになるように、訓練データを用いて予め学習する必要がある。

3. 提案手法

物体表面上のある点で観察される画素値は、一般に、光源色に依存するスペクトル項と光源方向に依存する幾何学項の積で表現される。例えば、拡散反射成分については、前者は光源の分光分布・物体表面の分光反射率・カメラの分光感度の積の波長に関する積分であり、後者は法線と光源方向の内積である。

そこで提案手法では、 I 次元基底ベクトルからなる幾何学項の辞書と J 次元基底ベクトルからなるスペクトル項の辞書を独立に学習しておき、それらのクロネッカー積により、

$N (= I \times J)$ 次元の辞書 \mathbf{D} を作成する。具体的には、様々な反射特性の球(拡散反射面と異なる表面粗さの鏡面反射面)の I 個の光源方向の下での合成画像から幾何学項辞書を学習し、様々な分光反射率と J 個の光源色から計算される色データからスペクトル項辞書を学習する。

提案手法では、 $I \ll N$ かつ $J \ll N$ であることから、訓練データとしてより多くの反射特性と分光反射率を扱うことができる。また、クロネッカー積を用いて辞書を作成するため、様々な反射特性と様々な分光反射率の組合せを表現することができる。

4. 実験

20 方向 ($I = 20$)、各方向あたり 6 色 ($J = 6$) の光源の下で撮影された 120 枚の画像を用いた実験を行った。提案手法では、11 種類の反射特性と 1250 種類の分光反射率を訓練データとして用いた。 N 枚の画像から直接辞書 \mathbf{D} を作成する単純な手法では、2 種類の反射特性と 10 種類の分光反射率を訓練データとして用いた。このとき、後者のデータ量は前者の約 32 倍であった。

図 1 に原画像(a)、圧縮率 50%のときに単純な手法(b)と提案手法(c)を用いて復元した画像を示す。図 2 に、120 枚の復元画像の PSNR の平均値と圧縮率 (M/N) の関係を示す。これらの結果から、定性的にも定量的にも、提案手法が単純な手法よりも優れていることが分かる。

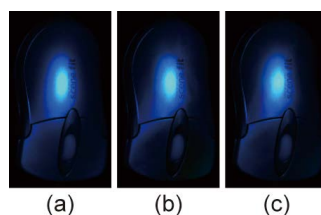


図 1: 原画像と復元画像

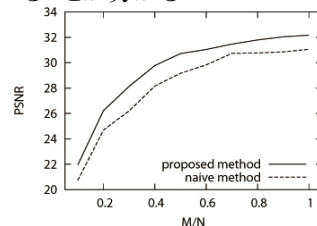


図 2: PSNR

5. むすび

反射成分がスペクトル項と幾何学項の積で表現されることに着目して、辞書を効率的に学習する方法を提案した。鏡面反射成分や影(キャストシャドウ)の復元精度の向上は今後の検討課題である。本研究の一部は、JSPS 科研費 (No. 25280057) の助成を受けた。

参考文献

- [1] B. Ajdin, M. Finckh, C. Fuchs, J. Hanika, and H. Lensch, "Compressive higher-order sparse and low-rank acquisition with a hyperspectral light stage", Technical report, Eberhard Karls Universität Tübingen, WSI-2012-01, 2012.