

低ランク構造に基づく 多波長・多方向光源下における画像の効率的な獲得

森 孝昌[†] 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、低ランク構造に基づく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・多方向光源下において、物体表面上のある点で観察される画素値を並べた行列の低ランク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では、近傍画素の類似性に着目して、複数画素の画素値を同時に復元することで、復元精度を低下させることなく計算コストを削減することを目指す。

2. 提案手法

2.1 低ランク構造

物体表面上のある点において観察される明るさは、一般に、拡散反射成分と鏡面反射成分の和であり、各々の反射成分は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。したがって、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 $I \times J$ の行列は、 $I \times 2$ の行列と $2 \times J$ の行列の積で表現される。つまり、この行列のランクは 2 である。

提案手法では、上記の $I \times J$ の行列を近傍の P 画素について連結した $I \times (J \times P)$ の行列 \mathbf{X} を考える。近傍の画素では、法線も反射特性も類似していると考えられるため、行列 \mathbf{X} のランクもまた小さいと考えられる。

2.2 低ランク構造に基づく圧縮センシング

低ランク構造に基づく圧縮センシングの枠組みで、画素あたり $N (= I \times J)$ 個の画素値を K 回 ($K < N$) の観測から復元する。各光源のオン・オフと観察対象画素を表す $I \times (J \times P)$ の観測行列を \mathbf{A}_{pk} ($p = 1, 2, \dots, P, k = 1, 2, \dots, K$) とすると、線形観測の結果 y_{pk} は

$$y_{pk} = \text{tr}(\mathbf{A}_{pk}^T \mathbf{X}) \quad (1)$$

と表される。提案手法では、Recht ら[2]に従い、行列 \mathbf{X} のランク最小化の緩和問題として、核型ノルム最小化

$$\hat{\mathbf{X}} = \arg \min_{\mathbf{X}} \|\mathbf{X}\|_1 \quad (2)$$

$$\text{subject to } y_{pk} = \text{tr}(\mathbf{A}_{pk}^T \mathbf{X}) \quad (p = 1, 2, \dots, P, k = 1, 2, \dots, K)$$

により行列 \mathbf{X} を復元する。

3. 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。画素ごとに最適化を行う従来手法 ($P = 1$) と、複数画素 (今回は $P = 2$ とした) をまとめて最適化する提案手法について、圧縮率 (K/N) を変化させたときの PSNR を図 1 に、計算時間を図 2 に示す。

PSNR に関しては、提案手法よりも従来手法の方が優れている。提案手法の PSNR が小さいのは、近傍画素であっても法線や反射特性が同一ではないために、低ランク性が近似的にしか成り立たないためであると考えられる。一方、同じ PSNR を実現するための計算時間を比較すると、圧縮率の違いによる計測に要する時間を考慮しなければ、提案手法の方が優れていることが分かる。

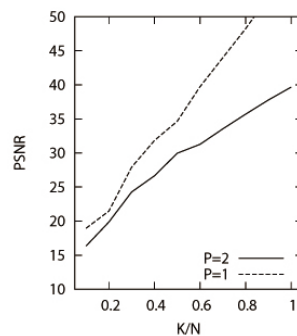


図 1: PSNR

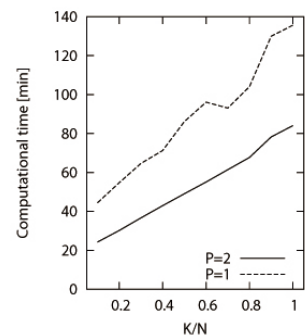


図 2: 計算時間

4. むすび

近傍画素の類似性に着目して、複数画素の画素値を同時に復元する手法を提案した。復元に適した画素のクラスタリング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.
- [2] B. Recht, M. Fazel, and P. Parrilo, "Guaranteed minimum-rank solutions of linear matrix equations via nuclear norm minimization", SIAM Review, 52(3), pp.471-501, 2010.