

# 直線構造に着目した Shearlet による光線空間の グループスパースコーディング

藤田秀 高橋桂太 藤井俊彰

名古屋大学 大学院工学研究科

## 1 はじめに

光線空間法は、ある基準面を通過する光線の位置  $(u, v)$  と方向  $(s, t)$  成分の 4 次元信号空間により、3 次元空間の視覚情報を記述する手法である。その信号は特有の構造をもつ。例えば、その信号の 2 次元部分空間を局所的にみれば、ほぼ一定の傾きをもった直線状の軌跡の集合が観察できる (図 1)。この構造は、光線空間に補間や雑音除去を適用する際に有用である。

光線空間の構造を効率よく表現するためには、スパースコーディングの枠組みが有効だと考えられる。しかし、従来研究 [1, 2, 3] では、直線の傾きが局所的に一定である性質は必ずしも十分に用いられていない。本研究では、この性質を十分に用いるため、shearlet 変換を用いたアプローチ [3] にグループスパース性を導入し、より効率的に光線空間を記述する手法を提案する。

## 2 Shearlet によるスパース表現

位置と方向に関する光線空間の 2 次元部分空間である、Epipolar Plane Image (EPI) について考える。EPI の局所的な領域は、ほぼ一定の傾きの直線で構成されるため、対応する方向の周波数成分にエネルギーが偏る。この特性に基づき、文献 [3] では、方向別の周波数成分に信号を分解して表現できる shearlet [4] を、EPI のスパース表現に用いた。ここで、EPI の  $n \times n$  ブロック信号を  $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^{n^2}$  に対して shearlet 変換を行うと、以下の等式が成り立つ。

$$\mathbf{z} = \mathbf{S}\mathbf{x} \quad \text{and} \quad \mathbf{x} = \mathbf{S}^*\mathbf{z}, \quad (1)$$

なお、 $\mathbf{S} \in \mathbb{R}^{dn^2 \times n^2}$  ( $d$  は周波数の分割数) は shearlet 変換行列、 $\mathbf{S}^* \in \mathbb{R}^{n^2 \times dn^2}$  は逆変換の行列であり、 $\mathbf{I}$  を単位行列とすると、 $\mathbf{S}^*\mathbf{S} = \mathbf{I}$ 、 $\mathbf{S}\mathbf{S}^* \neq \mathbf{I}$  となる。そのため、変換係数  $\mathbf{z} \in \mathbb{R}^{dn^2}$  に対してスパース性を仮定すると、光線空間に対する様々な処理は、一般に以下の最小化問題として表せる。

$$\hat{\mathbf{z}} = \arg \min_{\mathbf{z}} \|\mathbf{y} - \Phi\mathbf{S}^*\mathbf{z}\|_2^2 + \lambda\|\mathbf{z}\|_1 \quad (2)$$

“Group Sparse Coding with Shearlet based on Line Structure of Light Field”

Shu Fujita, Keita Takahashi, and Toshiaki Fujii  
Graduate School of Engineering, Nagoya University

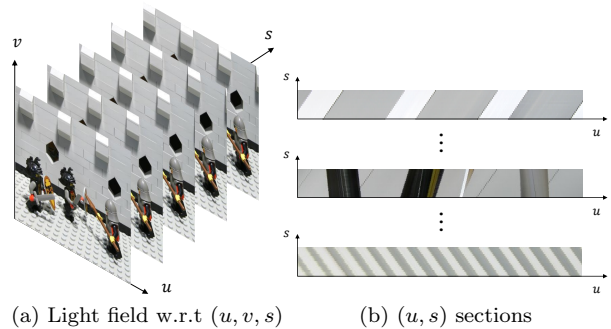


図 1: A light field and its line structure.

なお、 $\mathbf{y}$  は観測信号、 $\lambda$  は非負の定数であり、 $\|\cdot\|_2$  と  $\|\cdot\|_1$  はそれぞれ  $l_2$  と  $l_1$  ノルムを表す。 $\Phi$  は観測行列であり、行う処理に合わせて変更する。例えば、与えられた光線空間  $\mathbf{y}$  に対するスパースコーディングやノイズ除去  $\Phi$  の場合は単位行列、光線空間の補間 [3] の場合は信号の間引きを行う行列を用いる。

## 3 グループスパース表現

文献 [3] は、EPI の直線構造に着目して、shearlet を用いて効率的に光線空間を記述した。しかし、局所的な EPI は直線の傾きがほぼ一定であるため、対応する方向の周波数成分にエネルギーが偏る。そのため、EPI の表現には単なるスパース性だけではなく、グループスパース性も重要であると考えられる。グループスパースモデルでは、係数をグループに分け、グループ単位でスパース性を評価するため、特定のグループにエネルギーが偏りやすくなる。そこで、周波数成分を各方向で分割したものをグループとすれば、直線の傾きが一定である性質が表現されやすいと期待される。したがって、グループスパース性も考慮した最適な  $\mathbf{z}$  は、式 (2) に対してグループ  $l_1$  正則化項を追加した、以下の最小化問題を解くことで求められる。

$$\hat{\mathbf{z}} = \arg \min_{\mathbf{z}} \|\mathbf{y} - \Phi\mathbf{S}^*\mathbf{z}\|_2^2 + \lambda\|\mathbf{z}\|_1 + \eta\|\mathbf{z}\|_{\mathcal{G}} \quad (3)$$

$$\|\mathbf{z}\|_{\mathcal{G}} = \sum_{\mathbf{g}_i \in \mathcal{G}} \|\mathbf{z}_{\mathbf{g}_i}\|_2 \quad (4)$$

ただし、 $\eta$  は非負の定数、 $\mathcal{G} = \{\mathbf{g}_1 \dots \mathbf{g}_{|\mathcal{G}|}\}$  はグループの集合、 $|\mathcal{G}|$  はグループの数、 $\mathbf{g}_i$  は  $i$  番目のグループに属する要素へのインデックスの集合を表す。

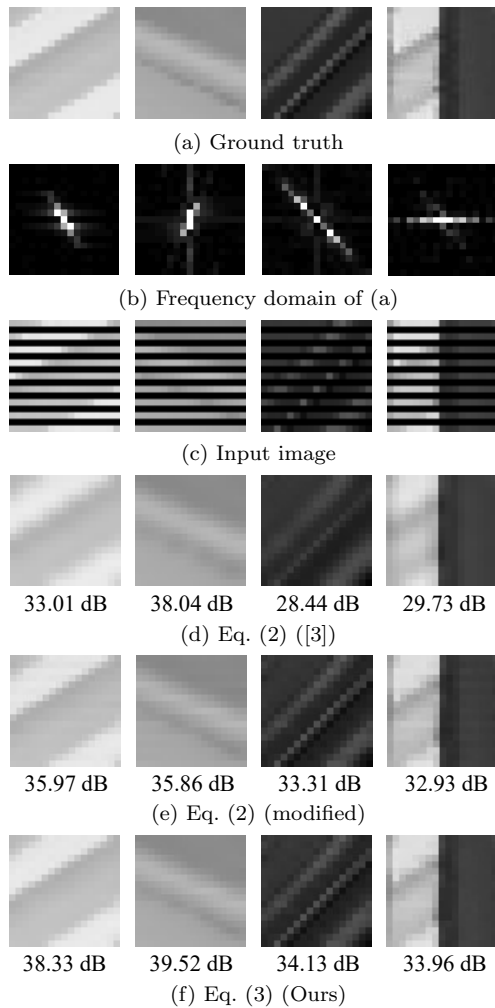


図 2: Results of EPI reconstruction.

## 4 実験結果

実験では、光線空間の方向成分を 1 サンプル間隔で間引いた EPI を入力とし、光線空間の復元処理を行うことで、提案手法の効果を検証した。そのため、観測信号には間引かれた EPI を使用し、観測行列には復元信号  $\mathbf{x}$  の対応する成分要素を 0 とする間引き演算子を用いた。復元処理では、 $17 \times 1$  の方向解像度をもつ光線空間を入力としたため、 $n = 17$  とした EPI ブロック単位で処理を行った。shearlet における方向の分割数は 16 個とし、その分割に基づいて提案手法のグループを作成した。また、従来手法 [3] は最適化計算を経験的行った一方で、本研究では近接勾配法 [5] により解析的に解を導出した。したがって、式 (2) に基づく結果を、最適化計算を変えた場合においても比較する。なお、各手法での復元品質は正解画像に対する PSNR 値で評価を行った。

図 2 において、(a) は元の EPI であり、(b) はその周波数分布である。(a) において直線の傾きがほぼ一定のため、周波数成分が直線状に分布することがわかる。shearlet はこの特徴を捉えた表現である。(c) は (a) を間引いた EPI である。(c) を入力として、式 (2) を従来手法 [3] で解いた結果、近接勾配法で解いた結果、提案手法である式 (3) を解いた結果をそれぞれ (d), (e), (f) に示す。式 (2) を従来手法と近接勾配法のそれぞれで解いた結果を比べると、最適化計算を見直すことで、高周波領域で復元品質が改善することが確認できる。さらに、グループスパース性を考慮することで、PSNR 値が向上することが確認できる。

また、光線空間全体を復元したとき、復元した光線空間全体との PSNR 値を比較をすると、最適化計算を近接勾配法で行った場合、グループスパース性を導入することで、平均して 1~2 dB ほど精度を改善できた。

## 5 まとめ

本稿では、光線空間がもつ直線構造に着目したグループスパースコーディングを提案した。Shearlet 係数のスパース性に基づく従来手法 [3] に対し、提案手法は新たにグループスパース性を導入した。実験では光線空間の補間を行い、従来のスパースコーディングの枠組み (式 (2)) を従来の最適化計算 [3] と近接勾配法 [5] それぞれで解いた結果、および提案手法の結果を比較した。その結果、最適化計算を見直すことで従来の枠組みの結果が改善することを確認し、さらにグループスパース性を最適化の制約に加えることで結果がより高品質となることを確認した。

## 参考文献

- [1] Marwah, K., Wetzstein, G., Bando, Y. and Raskar, R.: Compressive Light Field Photography using Overcomplete Dictionaries and Optimized Projections, *ACM TOG*, Vol. 32, No. 4, pp. 1–12 (2013).
- [2] Miyagi, Y., Takahashi, K., Tehrani, M. P. and Fujii, T.: Reconstruction of Compressively Sampled Light Fields using a Weighted 4D-DCT Basis, *IEEE ICIP*, pp. 502–506 (2015).
- [3] Vagharshakyan, S., Bregovic, R. and Gotchev, A.: Image Based Rendering Technique via Sparse Representation in Shearlet Domain, *IEEE ICIP*, pp. 1379–1383 (2015).
- [4] Kutyniok, G. and Labate, D.: *Shearlets: Multi-scale Analysis for Multivariate Data*, Birkhäuser Basel (2012).
- [5] Parikh, N. and Boyd, S.: Proximal Algorithms, *Foundations and Trends in Optimization*, Vol. 1, No. 3, pp. 123–231 (2013).