

LJ_011

2段階主成分分析による多重画像のモノクロ化 Converting Multiple Images to a Monochromatic Image by Two-Stage Principal Component Analysis

景 琳琳†
Linlin Jing

井上 光平†
Kohei Inoue

浦浜 喜一†
Kiichi Urahama

あらまし

画像の局所的な情報を損なわずに、マルチスペクトル画像などの多重画像をモノクロ画像に変換して可視化する手法を提案する。

1. まえがき

マルチスペクトル画像などの多重画像では、多重画像を構成する個々の画像に有用な情報が分散して記録されているので、それらの情報を1枚あるいは少数枚の画像に統合して可視化することが求められる。これまでにニューラルネットを用いる方法 [1] や射影追跡による方法 [2, 3] などが提案されているが、計算に時間がかかるなどの問題点がある。一方最近、多重画像の1例であるカラー画像をモノクロ化する手法が Gooch ら [4] によって提案され、それに続いて筆者ら [5] は Gooch らの手法 [4] より単純で安定な手法を提案した。この手法では RGB 値からグレースケールへの標準的な変換式 $Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$ を用いているが、一般の多重画像ではそのような標準的な変換式は存在しない。従って筆者らの手法 [5] をそのまま多重画像に適用することはできない。そこで本論文では、多重画像における変換式を主成分分析によって求め、それを用いて多重画像をモノクロ化する手法を提案する。多重画像のモノクロ化処理は重み付き主成分分析に帰着するので、本手法では主成分分析を2回行うことになる。そこで本手法を2段階主成分分析法と呼ぶことにする。

2. 多重画像のモノクロ化

多重画像を $d = [d_{ij}]$ ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$) とする。 d_{ij} は第 i 画像における第 j 画素の値であり、 m は画像の枚数、 n は各画像の画素数である。まず第1画像から第 m 画像までの第 j 画素の値を要素とするベクトルを $d_j = [d_{1j}, \dots, d_{mj}]^T$ として

$$\begin{aligned} \max_u & \sum_{j=1}^n \sum_{j'=1}^n (u^T d_j - u^T d_{j'})^2 \\ \text{subj.to} & \quad u^T u = 1 \end{aligned} \quad (1)$$

を解く。この最適化問題の解 u_* は $\{d_1, \dots, d_n\}$ の第1主成分である。次に各 d_j を u_* に射影する:

$$\tilde{d}_j = u_*^T d_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (2)$$

\tilde{d}_j はスカラーであり、 $\tilde{d} = [\tilde{d}_j]$ ($j = 1, \dots, n$) をモノクロ表示することにより、ひとまず多重画像をモノクロ化することができるが、式 (1) では画素の空間的な近接関係

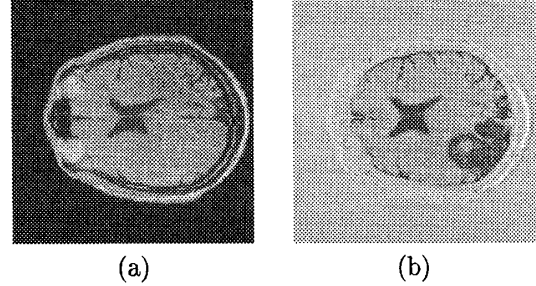


図 1: MRI 頭部断面画像

は考慮されていないので、画像の局所的な情報が失われる可能性がある。そこで次に近接する画素対で \tilde{d}_j の値も近くなるものを重視して2回目の主成分分析を行う:

$$\begin{aligned} \max_v & \sum_{j=1}^n \sum_{j'=1}^n w_{jj'} (v^T d_j - v^T d_{j'})^2 \\ \text{subj.to} & \quad v^T v = 1 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで $w_{jj'}$ は画素対 j, j' の近接度を表す重みであり、本論文では

$$w_{jj'} = e^{-\mu \|x_j - x_{j'}\|^2 - \nu (\tilde{d}_j - \tilde{d}_{j'})^2} \quad (4)$$

と定義する。ここで x_j は第 j 画素の空間座標であり、 μ, ν は正定数である。式 (3) の解 v_* は $w_{jj'}$ を重みとする重み付き主成分分析における $\{d_1, \dots, d_n\}$ の第1主成分である。最後に各 d_j の v_* への射影を

$$g_j = v_*^T d_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (5)$$

としてモノクロ化画像 $g = [g_j]$ ($j = 1, \dots, n$) を得る。

3. 実験

多重画像の例として図1に示す2枚のMRI頭部断面画像を用いて実験を行った。画像サイズは 256×256 画素である。すなわち $m = 2, n = 256^2$ である。 $m = 2$ のときには、付録に示すように式 (1) や式 (3) の解は解析的に求まる。図1(a)の画像では右下の腫瘍が不鮮明であり、図1(b)の画像では眼や脳を取り巻く骨や皮膚などが不鮮明である。これら2枚の画像を統合してモノクロ表示した画像を図2に示す。図2(a)は第1段階の主成分分析での結果 \tilde{d} をモノクロ表示したものであり、図2(b)は2段階主成分分析(提案手法)での結果 g をモノクロ化したものである。ここでは $\mu = 0.01, \nu = 0.0001$ とした。提案手法(図2(b))のほうが従来手法(図2(a))よりも腫瘍や脳のしわなどが鮮明である。

†九州大学大学院芸術工学研究院視覚情報部門

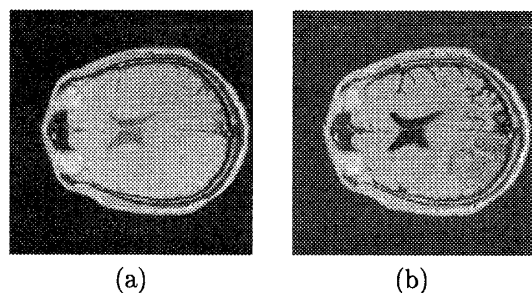


図 2: 図 1 のモノクロ化画像: (a) 主成分分析による結果, (b) 2 段階主成分分析 (提案手法) による結果

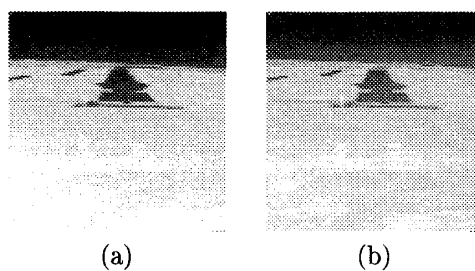


図 4: 図 3 のモノクロ化画像: (a) 主成分分析による結果, (b) 2 段階主成分分析 (提案手法) による結果

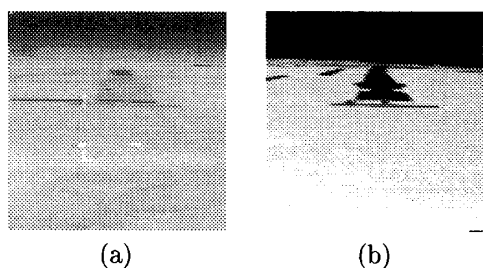


図 3: マルチスペクトル画像: (a) 長波長画像, (b) 中間波長画像

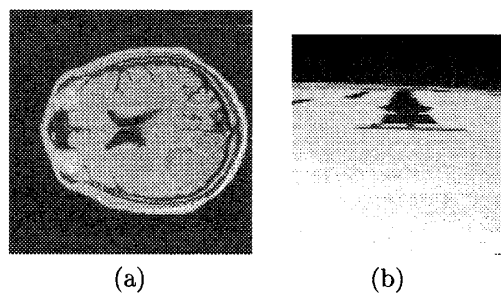


図 5: $\nu = 0$ での結果: (a) MRI 頭部断面画像, (b) マルチスペクトル画像

次にマルチスペクトル画像での結果を示す。図 3(a) に示す長波長画像と図 3(b) に示す中間波長画像 [6] とを統合してモノクロ表示した結果を図 4 に示す。画像サイズは 230×230 画素である。図 2 と同様に図 4(a) は 1 段階主成分分析での結果で、図 4(b) は 2 段階主成分分析 (提案手法) での結果である。図 4(a) の画像では図 3(a) の画像に写っている白線などの白色領域や下部の影の領域が不鮮明であるが、図 4(b) の画像では図 3(a),(b) 両画像の特徴が捉えられている。ここでも前述の例と同様に $\mu = 0.01, \nu = 0.0001$ とした。

最後に $\nu = 0$ として \bar{d}_j の値の近接性を考慮しない場合の結果を図 5 に示す。図 5(a),(b) どちらの結果も図 2(b), 図 4(b) の結果より不鮮明であることから \bar{d}_j の値の近接性も考慮したほうがよいことが分かる。

4. むすび

2 段階の主成分分析によって多重画像をモノクロ化する安定な方法を提案した。4 枚以上の画像からなる多重画像をカラー表示できるように本手法を拡張するのが今後の課題である。

参考文献

- [1] A. Manduca, "Multispectral image visualization with nonlinear projections," IEEE Trans. Image Processing, vol. 5, no. 10, pp. 1486-1490, 1996.
- [2] G. Harikumar and Y. Bresler, "Feature extraction techniques for exploratory visualization of vector-

valued imagery," IEEE Trans. Image Processing, vol. 5, no. 9, pp. 1324-1334, 1996.

- [3] 小野直樹, 浦浜喜一, "非線形射影追跡による多重画像のモノクロ表示," 映像情報メディア学会, vol. 51, no. 10, pp. 1777-1780, 1997.
- [4] A.A. Gooch, S.C. Olsen, J. Tumblin and B. Gooch, "Color2Gray: Saliency-Preserving color removal," Proc. SIGGRAPH 2005, pp. 634-639, Aug. 2005.
- [5] 井上光平, 浦浜喜一, "色の違いに対応したカラー画像のモノクロ化," 信学論 (A), vol. J89-A, no. 1, pp. 80-83, Jan. 2006.
- [6] M. Pavel and R.K. Sharma, "Model-Based Sensor Fusion for Aviation," in Society for Information Display International Symposium Digest of Technical Papers, vol. 28, pp. 951-954, 1997.

A $m = 2$ のときの第 1 主成分の求め方

式 (1) の目的関数は $u^T [\sum_j \sum_{j'} (d_j - d_{j'}) (d_j - d_{j'})^T] u$ と書ける。そこで

$$\begin{bmatrix} A & B \\ B & C \end{bmatrix} = \sum_{j=1}^n \sum_{j'=1}^n (d_j - d_{j'}) (d_j - d_{j'})^T \quad (6)$$

とおいて $\tilde{u} = [\tilde{u}_1, \tilde{u}_2]^T$ とする。ここで $\tilde{u}_1 = 2B, \tilde{u}_2 = C - A + \sqrt{(A-C)^2 + \tilde{u}_1^2}$ である。そうすると式 (1) の解 u_* は $u_* = \tilde{u} / \|\tilde{u}\|$ と表される。式 (3) についても同様に $m = 2$ のとき v_* は解析的に求まる。