

# 画像のテクスチャ成分における 輝度と色差の局所的な相関に基づく Colorization 符号化の効率改善

井上 義隆<sup>†1</sup> 宮田 高道<sup>†1</sup> 酒井 善則<sup>†1</sup>

近年, Colorization を利用した画像の圧縮符号化法が提案されている. 既存の Colorization 符号化法は主観品質の観点において JPEG よりも高い符号化効率を実現しているが, その一方で復号画像の色差成分が過剰に平滑化され, 元画像の色差成分が本来もっていた局所的な変動が失われる傾向がある. この変動を忠実に復元するためには非常に多くの色指定情報が必要となる.

そこで本稿では TV 正則化によって分離された画像のテクスチャ成分において, 輝度と色差の間に存在する局所的な相関に着目し, Colorization 符号化法の改善手法を提案する. 提案手法によって変動が復元され, 既存手法や高圧縮時の JPEG と比較して高い符号化効率を得られることを示す.

## Improving colorization-based coding based on local correlation between luminance and chrominance in texture component

YOSHITAKA INOUE,<sup>†1</sup> TAKAMICHI MIYATA<sup>†1</sup>  
and YOSHINORI SAKAI<sup>†1</sup>

Recently, a novel approach to image compression using colorization technique has been presented. Although the conventional colorization-based coding outperforms JPEG in terms of subjective quality, the decoded image lose the local oscillation in chrominance components that the original image had. A large number of color assignment information is required to restore these oscillations precisely.

In this paper, we focus on the local correlation that exists between luminance and chrominance in separated texture components by using total variation regularization, and we propose a new colorization-based coding method.

Experimental results showed that our coding method could restore the oscillation, improve the coding efficiency compared with the conventional method, and also outperform JPEG at a high compression rate.

### 1. はじめに

Colorization<sup>1)</sup> は, グレースケール画像と部分的な着色から完全なカラー画像を復元できる技術である. 近年, この Colorization を応用した Colorization 符号化法が提案されている. 既存の Colorization 符号化法<sup>2)</sup> では符号化時に入力画像の色差成分をクラスタリングすることにより領域分割し, 各領域を線分に変換することで情報量を削減する. 復号側で Colorization を適用し, 色差を指定する線分 (色指定情報) から色差成分を画像全体に伝播することでカラー画像を復元する. 既存手法は主観品質の観点において JPEG よりも高い符号化効率を実現しているが, 復号された色差成分が過剰に平滑化され, 元画像の色差成分が本来もっていた局所的な変動が失われる傾向がある. この変動を忠実に復元するためにはより多くの色指定情報が必要となる. 一方, 自然画像においては輝度と色差の間には相関があり, 輝度の変動に色差の変動が追従することが指摘されている<sup>3),4)</sup>.

本稿では分離されたテクスチャ成分における輝度と色差の間に存在する局所的な相関に着目した Colorization 符号化法を提案する. Total Variation (TV) 正則化<sup>5),6)</sup> によって画像を骨格成分とテクスチャ成分に分離しておき, 骨格成分は既存手法によって圧縮する. 輝度と色差の相関を線形関係として記述する係数によってテクスチャ成分が表現できると仮定し, この係数を利用して変動を復元する.

### 2. Colorization 符号化法

#### 2.1 符号化/復号手順

図 1 は既存の Colorization 符号化法<sup>2)</sup> の符号化, 復号手順を示す. 既存手法の符号化処理の手順は以下に示す.

- (1) 原画像の色差成分 ( $C_b, C_r$ ) を  $S$  倍に縮小する ( $S < 1$ ).
- (2) 色差成分クラスタリング: 与えられたパラメータ  $th$  に従い,  $C_b-C_r$  空間において最

<sup>†1</sup> 東京工業大学  
Tokyo Institute of Technology

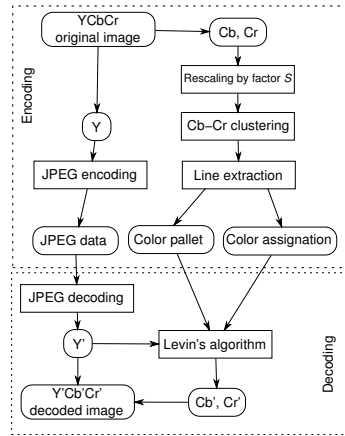


図1 既存手法<sup>2)</sup>のColorization符号化法  
Fig.1 Overview of conventional method<sup>2)</sup>.

遠点アルゴリズムによる最大半径最小クラスタリングを行う。これにより、任意の画素の色差との距離（色差の2乗誤差）が  $th$  以下となるクラスタ重心が必ず存在するような、クラスタ重心の位置と数  $K$  が求められる。

- (3) 線分化：当該線分の追加によって色差成分の誤差が  $V$  以上改善する線分のみが圧縮データとして追加される。またこのとき、復号画像の任意の画素の色差と原画像の対応する画素の色差の距離が  $th$  以下になるまで線分を追加する。アルゴリズムの詳細は文献2)を参照されたい。

既存手法では圧縮されたデータは (a) カラーパレット, (b) 色指定情報, (c) 輝度成分からなる。カラーパレットはクラスタ代表色をもち、色指定情報は線分の表わす始点と終点およびカラーパレットを参照するための番号をもつ。なお、輝度成分の符号化についてはJPEG, JPEG2000などの従来の技術をそのまま用いるものとし、文献2)では特にその取扱いを定めていない。既存手法の復号手順は以下の通りである。

- (1) 輝度成分  $Y'$  を復号する。
- (2) 色指定情報とカラーパレットを用いて輝度画像  $Y'$  上に色線分を引く。
- (3) LevinらのColorization<sup>1)</sup>：色差成分が色線分から画像全体に伝播される。ここで  $Y'$ ,  $C'_b$  および  $C'_r$  はそれぞれ  $Y$ ,  $C_b$  および  $C_r$  を復号した成分を表わす。

## 2.2 局所的な変動の損失

Levinら<sup>1)</sup>のColorization法は、「隣接している画素の輝度が類似していれば、色差もまた類似している」という仮定と、ユーザによって与えられた疎な色差成分を手掛かりに画像全体の色差成分を復元する手法である。既存のColorization符号化手法においては、このColorizationは復号時に色指定情報に含まれる色差成分を伝播するために用いられている。しかしながら、復号された色差成分は原画像の色差成分と比較して過剰に平滑化され、原画像が本来もっていた局所的な変動が失われるという傾向がある。局所的な変動は物体のテクスチャを表現するため、このような変動の損失は画質を低下させる要因となる。このような変動を既存手法によって忠実に再現するためにはより多くの色指定情報が必要とするため、情報量の増大につながる。

## 3. 提案手法

### 3.1 骨格/テクスチャ成分分離

画像のノイズ除去法としてTotal Variation (TV) 正則化法が提案されている<sup>5),6)</sup>。いま、 $\mathbf{x} \in \mathbf{R}^2$  を画像中の座標、 $Y(\mathbf{x}) : \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{R}$  を  $\mathbf{x}$  における輝度成分の値とする（この表記は他の成分に対しても用いる）と、TV正則化では以下の最小化問題

$$Y_g = \arg \min_{\mathbf{x}} \sum |\nabla X(\mathbf{x})| + \frac{1}{2\lambda} \sum \{X(\mathbf{x}) - Y(\mathbf{x})\}^2. \quad (1)$$

を解くことにより、画像の領域やエッジなどの骨格を含む骨格成分  $Y_g$  を得る。また  $Y_t = Y - Y_g$  は画像中の物体のテクスチャを表現するため、テクスチャ成分と呼ぶ。

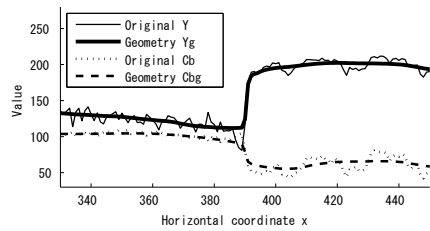
提案手法では  $YCbCr$  の各成分について、それぞれ骨格成分  $Y_gCb_gCr_g$  とテクスチャ成分  $Y_tCb_tC_r_t$  に、上記の式1に基づいて分離を行う。すなわち、次の関係が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} Y(\mathbf{x}) \\ C_b(\mathbf{x}) \\ C_r(\mathbf{x}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_g(\mathbf{x}) \\ C_{bg}(\mathbf{x}) \\ C_{rg}(\mathbf{x}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_t(\mathbf{x}) \\ C_{bt}(\mathbf{x}) \\ C_{rt}(\mathbf{x}) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

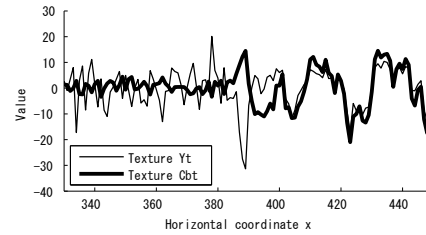
なお、骨格、テクスチャ成分の値域はそれぞれ  $[0, 255]$ ,  $[-255, +255]$  である。

### 3.2 輝度と色差の相関関係

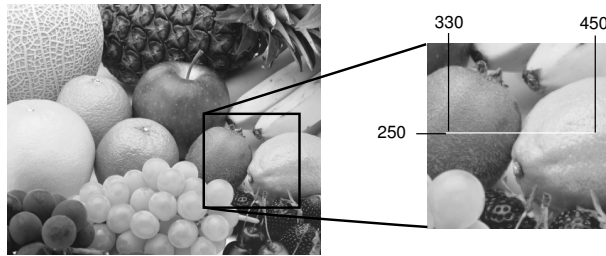
自然画像においては色成分間に相関が存在する。文献3), 4)では多くの色差の変動が輝度の変動に追従することが指摘されている。したがって、画像の局所領域においては各色成分の変動が類似した形状をしており、それらの間には正もしくは負の相関が存在するとい



(a) 原画像と骨格成分/Original image and its geometry components



(b)  $Y_t$  と  $C_{bt}$  の関係/Relationship between  $Y_t$  and  $C_{bt}$



(c) 画像“Food”における抽出領域（白線）/Extracted area from image “Food” (white line)

図 2 骨格成分とテクスチャ成分における輝度と色差の相関関係

Fig. 2 Correlation between luminance and chrominance in separated geometry and texture components.

える。

Qing らの Colorization 手法<sup>7)</sup>では、輝度と色差の関係がそれらに対応付ける線形関数で表せると仮定し、局所領域に一樣な色差を与えたあとに輝度に応じて線形に変化させ、主観的な画質を向上させている。輝度、色差間の相関関係は画像符号化にも応用されており<sup>3),4)</sup>、輝度から色差を予測することで成分間の冗長性を削減し、効率的な圧縮を実現している。

分離された骨格成分とテクスチャ成分における  $Y$  と  $C_b$  の局所的な相関関係を図 2 に示す (画像“Food”の水平座標  $x \in [330, 450]$ , 垂直座標  $y = 250$  から抽出された領域)。図 2

の  $x < 60$  に対応する領域はキウイフルーツの表面であり、 $x \geq 60$  はレモンの表面である。図 2 (b) においてキウイの領域は  $Y_t$  と  $C_{bt}$  の間に負の相関がある。それに対して、レモンの領域では正の相関がある。また、 $x \simeq 60$  付近においては  $Y_g$  のエッジに追従して相関が負から正に変化していることが分かる (図 2 (a))。

クラスタ数を  $K$ 、分割された領域 (クラスタ) の番号を  $k(\mathbf{x}) : \mathbf{R}^2 \rightarrow \{1, \dots, K\}$  として、 $Y_i C_{bt} C_{rt}$  成分間の相関が次のように表されると仮定する。

$$\begin{bmatrix} C_{bt}(\mathbf{x}) \\ C_{rt}(\mathbf{x}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1^k(\mathbf{x}) \\ a_2^k(\mathbf{x}) \end{bmatrix} Y_t(\mathbf{x}). \quad (3)$$

ここで  $k(\mathbf{x})$  は、例えば 2.1 の符号化手順 (2) におけるクラスタリング手法を  $C_{bg} C_{rg}$  に適用して得られる。また、クラスタ数  $K$  は  $th$  に依存して決まる。係数  $a_i^k(\mathbf{x})$  は第  $k(\mathbf{x})$  局所領域ごとに最小二乗法によって決定され、 $Y_t(\mathbf{x})$  と  $C_{bt}(\mathbf{x})$  ( $C_{rt}(\mathbf{x})$ ) 間の線形関係を表している。なお、 $k(\mathbf{x})$  は  $a_i^k(\mathbf{x})$  の添字であり、指数ではない。

### 3.3 符号化/復号手順

本稿では骨格、テクスチャ分離と輝度、色差間の相関を利用した Colorization 符号化法の改善手法を提案する。これは入力された原画像の骨格成分とテクスチャ成分に対してそれぞれ異なる符号化手法を用いることで実現される。骨格成分に対しては既存の Colorization 符号化を用いる。これは骨格成分は変動が少なく、原画像に既存手法を適用する場合に比べ、色指定情報を削減できるためである。また、テクスチャ成分は輝度と色差の相関を表現する係数へ圧縮する。

図 3 は提案手法の符号化、復号処理の手順を示す。提案手法の符号化手順を以下に示す。

- (1) 骨格/テクスチャ分離: TV 正則化<sup>6)</sup> を利用して  $Y C_b C_r$  各成分をそれぞれ骨格成分  $Y_g C_{bg} C_{rg}$  とテクスチャ成分  $Y_t C_{bt} C_{rt}$  に分離する。
- (2)  $C_{bg} C_{rg}$  は既存手法<sup>2)</sup> によって圧縮される。ただし、クラスタ代表色は  $C_b C_r$  から選択される。
- (3) 係数抽出: 各局所領域の係数  $a_i^k(\mathbf{x})$  を最小二乗法によって決定する。ここで用いる領域は直前の処理 (2) によって得られたものを用いる。

提案手法の復号手順は次の通りである。

- (1) 骨格/テクスチャ分離: 復号された輝度成分  $Y'$  を骨格成分  $Y'_g$  とテクスチャ成分  $Y'_t$  に分離する。
- (2)  $Y'_g$  上に線分を引く (線分は色差と係数をもつ)。

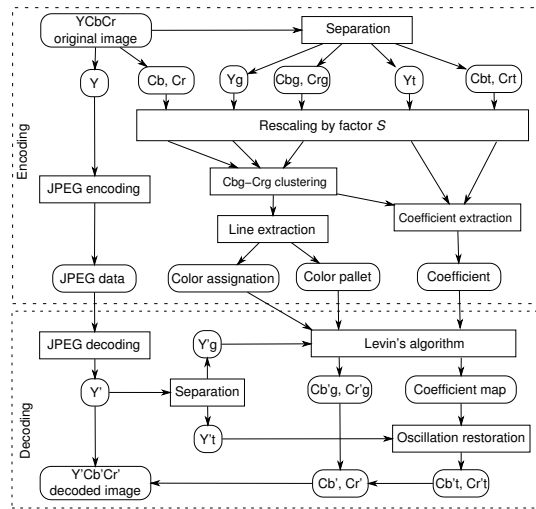


Fig. 2 Overview of proposed method.

図 3 提案手法

- (3) Levin らの Colorization<sup>1)</sup>:  $Y'_g$  上で線分から色差成分を伝播することで復号された骨格成分  $C'_{bg}C'_{rg}$  を得る. 同様に,  $Y'_g$  上で線分から係数を伝播することにより, 復号された係数マップ  $A_i(\mathbf{x}): \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{R}(i \in \{1, 2\})$  を得る.
- (4) 変動復元: 各座標において次式を適用することでテクスチャ成分  $Y'_t C'_{bt} C'_{rt}$  が復元される.

$$\begin{bmatrix} C'_{bt}(\mathbf{x}) \\ C'_{rt}(\mathbf{x}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1(\mathbf{x}) \\ A_2(\mathbf{x}) \end{bmatrix} Y'_t(\mathbf{x}). \quad (4)$$

- (5)  $C'_{bg}C'_{rg}$  と  $C'_{bt}C'_{rt}$  から  $C'_b C'_r$  を得る (式 2) .

## 4. 実験結果

### 4.1 評価方法

提案手法を既存手法<sup>2)</sup> および JPEG と比較した. 原画像として 8 つの自然画像を用い, 輝度成分は無圧縮のまま復号側へ伝送されるものとした (すなわち  $Y' = Y$ ). 線分の貢献

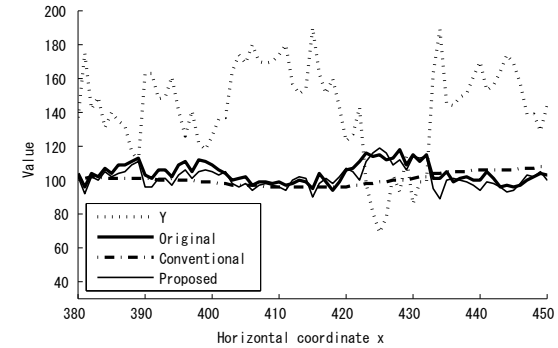


図 4 提案手法による局所変動の復元 (横軸: 水平座標  $x$ , 縦軸: 画素値).

Fig. 4 Local oscillation restoration by proposed method (horizontal axis: horizontal coordinate  $x$ , vertical axis: pixel value).

度の閾値  $V = 30$ , 倍率  $S = 1/4$ , 最小色差誤差  $th \in \{4, 6, 8, 12, 16, 20, 24\}$  とし,  $C_b$  成分の Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) を様々なビットレートにおいて評価した.

提案手法によって新たに加わる情報は  $K$  個のクラスタに対応する係数  $a_i^k(\mathbf{x})$  である.  $a_i^k(\mathbf{x})$  の各要素は 32bit 浮動小数点で表現するものとする. このため, テクスチャ成分を表現する  $32 \times 2 \times K$  bit の情報量が, 骨格成分を既存手法で圧縮した分の情報量に追加される.

### 4.2 実験結果

実験結果を図 12 に示した. 横軸は色差成分の情報量であり, 縦軸は  $C_b$  成分の PSNR を表わす. 提案手法は多くの画像において既存手法より高い符号化効率を実現した. 特に (a) では顕著な差が確認された. また, 提案手法は JPEG と比較して, 特に高い圧縮率の場合に高い符号化効率を実現した. 図 4 は局所的な変動 (画像 “Mountain” の  $C_b$  成分, 水平座標  $x \in [380, 450]$ , 垂直座標  $y = 380$ ) を示しており, 既存手法 (色差成分: 870[byte],  $C_b$  成分の PSNR: 32.17[dB]) と提案手法 (615[byte], 33.90 [dB]) の場合の変動である. 既存手法が局所的な変動を過剰に平滑化しているのに対して, 提案手法は原画像がもっていた変動が復元された.

## 5. おわりに

本稿では, 分離されたテクスチャ成分における輝度と色差の相関に基づき, Colorization 符号化の改善手法を提案した. 骨格成分のエッジと相関の正負が変わる点の關係に着目し,

提案手法は相関を表現する係数を効率的な圧縮を実現した。提案手法が既存手法および高圧縮時の JPEG と比較して高い符号効率を実現することを実験によって示した。

### 参 考 文 献

- 1) Levin, A., Lischinski, D. and Weiss, Y.: Colorization using optimization, *ACM Transactions on Graphics*, Vol.23, No.3, pp.689–694 (2004).
- 2) Miyata, T., Komiyama, Y., Sakai, Y. and Inazumi, Y.: Novel inverse colorization for image compression, *Picture Coding Symposium, 2009*, pp.101–104 (2009).
- 3) Limb, J. and Rubinstein, C.: Plateau Coding of the Chrominance Component of Color Picture Signals, *Communications, IEEE Transactions on*, Vol.22, No.6, pp.812 – 820 (1974).
- 4) San, X., Cai, H. and Li, J.: Color Image Coding by using Inter-Color Correlation, *Image Processing, IEEE International Conference on*, pp.3117–3120 (2006).
- 5) Rudin, L.I., Osher, S. and Fatemi, E.: Nonlinear total variation based noise removal algorithms, *Phys. D*, Vol.60, No.1-4, pp.259–268 (1992).
- 6) Chambolle, A.: An Algorithm for Total Variation Minimization and Applications, *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol.20, No.1-2, pp.89–97 (2004).
- 7) Qing, L., Wen, F., Cohen-Or, D., Liang, L., Xu, Y.-Q. and Shum, H.: Natural Image Colorization, *Rendering Techniques 2007 (Proc. Eurographics Symp. on Rendering)*, pp.309–320 (2007).

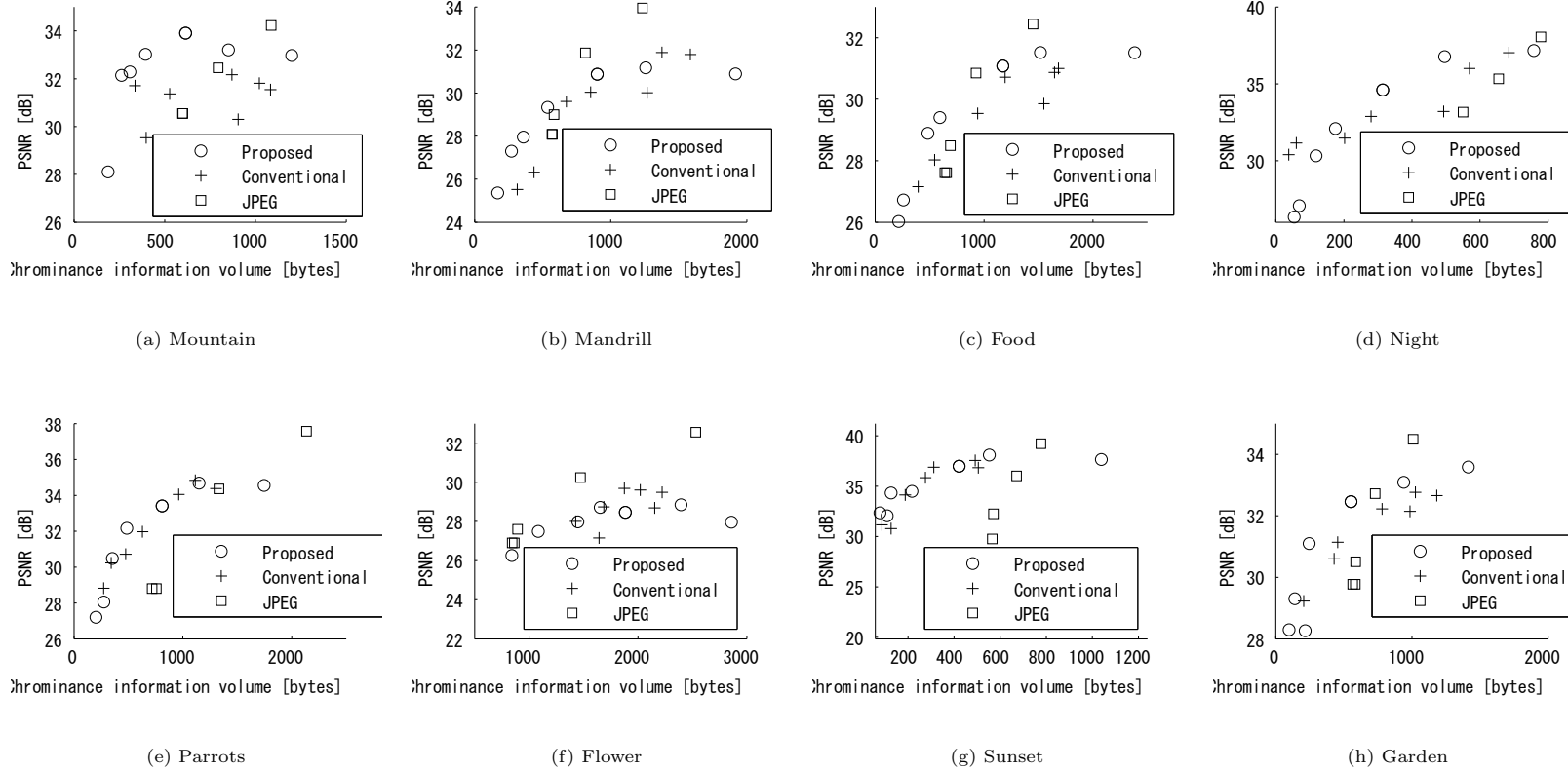


図 5 符号化効率の比較  
 Fig.5 Comparison of coding efficiency.