

ノイズ測定プラグインの開発

The Development of the Noise Measurement Plug-in

滝澤 成温*

Takizawa, Naruo

We have developed a Photoshop plug-in software module for ISO 15739 "Photography - Electronic still picture cameras - Noise measurements" based upon our human visual model previously proposed. This software module is designed to allow users to choose an arbitrary gray test chart, observing parameters, and color matrices and MTF used in the human visual model.

This paper describes the procedure of the measurement using the software module. We apply this for two types of digital still cameras. As the result, noise characteristics are differentiated in terms of observing distance and lightness unlike conventional noise evaluations.

1 はじめに

電子スチルカメラの高画質化にともない、一般ユーザーへの普及が急速に進んでいる。この電子スチルカメラの画質評価において、我々は人間の視覚モデル¹⁾をベースとしたノイズ測定ソフトウェアを開発した。

本稿では、ノイズ測定の手順とソフトウェアの特徴について説明する。また、2機種種の電子スチルカメラの測定結果を示す。

2 Visual Noiseの測定方法

電子スチルカメラのノイズ評価は、ISO 15739²⁾において審議中である。この規格では、次式で定義される Signal to Noise Ratio (SNR)でノイズ評価を行う。

$$SNR = \frac{\text{Maximum level} \times 0.18}{\text{Average of total noise} \times \text{incremental gain}} \quad (1)$$

ここで、Maximum levelは画像データの飽和レベルを表し、incremental gainは、ISO 14524³⁾で定義されているカメラの入出力特性である。total noiseは、ISO 12232⁴⁾で規格化されたカメラノイズの標準偏差 (D_L)である。 (D_L) は、画像の輝度・色差信号の標準偏差 (Y)、 $(R-Y)$ 、 $(B-Y)$ より、式(2)で表される⁴⁾。

$$\sigma(D_L) = \sqrt{\sigma(Y)^2 + 0.64\sigma(R-Y)^2 + 0.16\sigma(B-Y)^2} \quad (2)$$

式(1)は、撮像系の入出力特性で重み付けをしているため、

* コーポレートラボラトリーG 中央研究所

被写体に対する撮像系のノイズ評価と言える。

これに対し、我々は人間の視覚モデルをベースとした Visual Noise(VN)を提案した。²⁾これは、視覚の空間周波数特性を導入することにより、標準ディスプレイで表示された画像に対し、観察されるノイズ量を評価するものである。

文献1)のスキヤナのノイズ測定を電子スチルカメラに応用し、VNの測定方法を決定した。まず観察するディスプレイを、sRGB⁵⁾ディスプレイと仮定した。そして、画像サイズに応じた観察距離を設定し、画角を一定にした評価を加えた。この観察距離は、表示画像の高さの倍数とし、実際の観察条件に近似させた。また、VNの評価式を次のように定義した。

$$\text{Visual Noise} = w_L \sigma(L) + w_{C1} \sigma(C1) + w_{C2} \sigma(C2) \quad (3)$$

ここで、 (L) は L^* の標準偏差、 $(C1)$ 、 $(C2)$ は u^*v^* または a^*b^* の標準偏差を表す。 w_L 、 w_{C1} 、 w_{C2} は、それぞれの標準偏差にかかる重み係数である。

さらに、電子スチルカメラでは、CCDの信号読み出し方式や画像処理の影響により、縦・横方向でノイズ量に差が出ることがある。そこで、2方向に対してVNを計算することにした。視覚の空間周波数応答は、水平・垂直方向の特性がほぼ等しいため⁶⁾⁷⁾、2方向に対して同一の特性を使用する。

以下にVisual Noiseの計算手順を示す。

- (1) RGB画像データをsRGBと仮定し、三刺激値 X_D 、 Y_D 、 Z_D を求める。
- (2) sRGBの白色点を、 3×3 のマトリクス M_{adapt} により反対色応答の色度座標へ変換する。

$$\begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} = M_{adapt} \cdot \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{bmatrix} \quad (4)$$

- (3) X_S, Y_S, Z_S を、 3×3 のマトリクス $M_{opposite}$ により反対色応答 $S_{W-K}, S_{R-G}, S_{Y-B}$ へ変換する。

$$\begin{bmatrix} S_{W-K} \\ S_{R-G} \\ S_{Y-B} \end{bmatrix} = M_{opposite} \cdot \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} \quad (5)$$

- (4) $S_{W-K}, S_{R-G}, S_{Y-B}$ を離散フーリエ変換し、空間周波数応答を求める。
 (5) 空間周波数応答に対し、視覚の空間周波数特性により重み付けをする。
 (6) 離散逆フーリエ変換により、実空間領域の反対色応答へ変換する。
 (7) 反対色応答を、 $M_{opposite}$ の逆行列により三刺激値へ変換する。

$$\begin{bmatrix} X'_S \\ Y'_S \\ Z'_S \end{bmatrix} = M^{-1}_{opposite} \cdot \begin{bmatrix} S'_{W-K} \\ S'_{R-G} \\ S'_{Y-B} \end{bmatrix} \quad (6)$$

- (8) 反対色応答の色度座標を、 M_{adapt} の逆行列によりsRGBの白色点へ変換する。

$$\begin{bmatrix} X'_D \\ Y'_D \\ Z'_D \end{bmatrix} = M^{-1}_{adapt} \cdot \begin{bmatrix} X'_S \\ Y'_S \\ Z'_S \end{bmatrix} \quad (7)$$

- (9) X'_D, Y'_D, Z'_D から、 $L^*u^*v^*$ または $L^*a^*b^*$ を計算する。
 (10) $L^*u^*v^*$ または $L^*a^*b^*$ の標準偏差 (L), (C1), (C2)を計算し、式(3)へ代入する。
 (11) (1)~(10)を画像の縦・横方向に対して計算する。

3 ノイズ測定プラグイン

3.1 プラグインの特徴

このプラグインの特徴は、以下の4点である。

- ・Photoshopのプラグイン形式
- ・画角を一定にした測定が可能
- ・任意のテストチャートに対応
- ・視覚モデルに関するパラメータが変更可能

テストチャートは、ISO 15739の中で規格化が進んでおり、基本的にはこのチャートで測定を行うことになる。ただし、同チャートを入手できない場合を考慮して、任意のチャートに対応できる仕様にした。

また、視覚モデルに関するパラメータは、さまざまな

研究結果が報告されており、未だ統一されていない。文献1)では式(4)の M_{adapt} として、von Kriesの色順応モデルの1つを利用しているが、この計算で使用するプライマリは数種類が報告されている⁸⁾。また、式(5)の $M_{opposite}$ ⁹⁾、視覚の空間周波数特性⁶⁾⁷⁾¹⁰⁾¹¹⁾も同様に複数の研究結果が報告されている。

そこで、本プラグインでは、これらの視覚モデルのパラメータを変更可能にした。ただし、式(3)の重み係数は、それぞれのパラメータに合わせて、最適化する必要がある。

3.2 プラグインの操作

評価対象の電子スチルカメラで、Fig. 1に示すような一様なエリアを持ったグレーチャートを撮影する。Photoshopでこの画像を開き、メニューの[フィルタ]から本プラグインを選択する。Fig. 2のダイアログボックスが表示され、ここで測定条件を設定する。

[Viewing Distance]の[Variable Distance]を選択すると、観察距離は表示画像の高さの倍数に設定される。これは、画角を一定にした評価となる。また、[Fixed Distance]を選択すると、観察距離を一定にした評価となる。デフォルト設定は、Variable Distance=5である¹²⁾。

[Test Chart]では、測定するチャートの種類を選択する。ISO Camera Noise Test Chartは、ISO 15739のテストチャートである。これ以外のチャートを使用する際は、[Others...]を選択し、そのチャートのパッチ位置情報を記述したテキストファイルを読み込む。

[Sampling Number]では、測定するデータ数を選択する。Sampling Number = Nに対し、 $N \times N$ 画素の画像領域で縦・横方向にNライン分のVNが計算される。そして、その平均値が出力される。デフォルト値は64である。

[Parameters]では、視覚モデルのパラメータを選択する。文献1)のパラメータを、デフォルト値としている。パラメータを変更する際は、[Others...]を選択し、視覚モデルのパラメータを記述したテキストファイルを読み込む。

[OK]をクリックすると計算が開始され、測定データがテキストファイルで出力される。



Fig. 1 Example for test chart (approximately proportional to L^*).

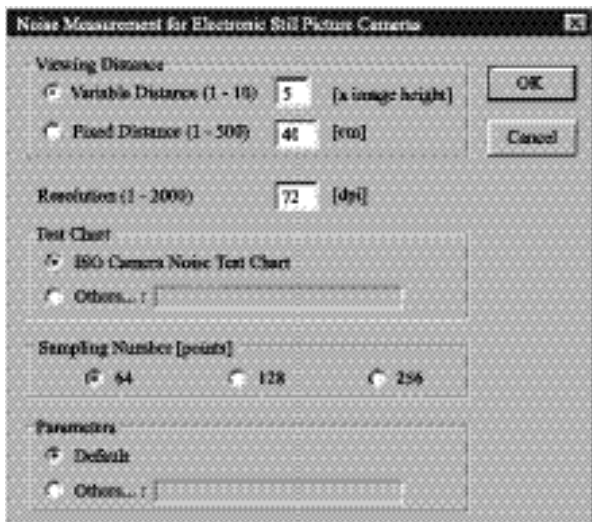


Fig. 2 The dialogue box of the plug-in

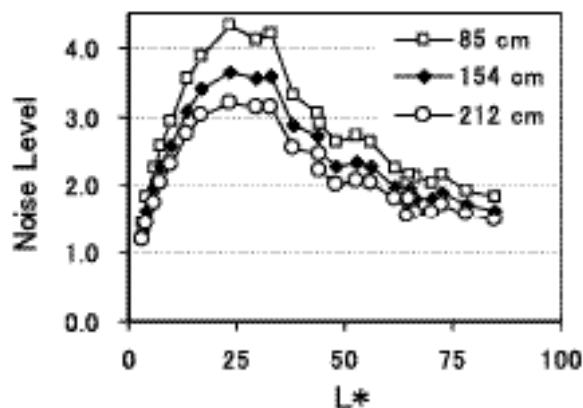


Fig. 3 The results of visual noise for different viewing distance in horizontal direction of DSC1.

4 Visual Noiseの測定例

4.1 使用カメラと撮影条件

以下のカメラと条件により撮影を行った。

- 電子スチルカメラ： 2機種
 DSC1-1600×1200画素、1/2inchCCD、原色フィルタ
 DSC2-1152×872画素、1/3inchCCD、原色フィルタ
- 照明ブース： Macbeth SpectraLight II
- 照明： D65
- テストチャート： 24レベルのグレーチャート (Fig. 1)

4.2 観察距離による比較

DSC1により、異なる観察距離におけるVNを比較する。測定条件は、ディスプレイ解像度を72dpi、観察距離を85, 154, 212cmとする。これは、35, 100, 200万画素の表示画像に対し、画像高の5倍の距離に相当する。また、視覚モデルのパラメータは、デフォルト値を用いる。

Fig. 3 に画像の横方向のVNを示す。横軸がL*、縦軸がVNである。この図より、画角を一定にした評価では、多画素のカメラほど知覚されるノイズ量が少ないことがわかる。また、明度に対しノイズ量が変化する様子が確認できる。

4.3 異なるカメラでの比較

次に、DSC1,2のVNを比較する。ディスプレイ解像度を72dpi、観察距離を4.2の画素数に対応させて212, 154cmとする。視覚モデルは、デフォルト値を用いる。

Fig. 4 に画像の横方向のVNを示す。この図よりカメラの機種ごとに、明度に対するノイズの特性が異なることがわかる。また、4.2では同一のカメラで比較したため、VNは観察距離のみに依存して変化した。しかし、2機種のカメラで比較すると、多画素カメラのVNが小さくなるとは限らないことがわかる。

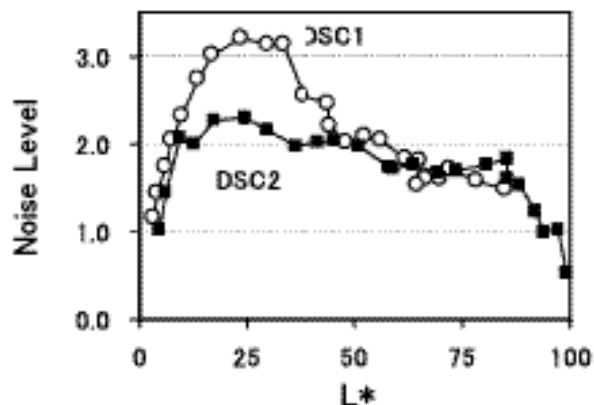


Fig. 4 The results of visual noise in horizontal direction of DSC 1 and DSC 2.

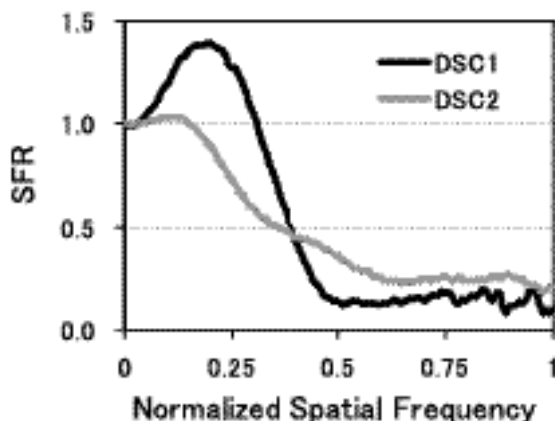


Fig. 5 The results of SFR in horizontal direction of DSC1 and DSC 2.

4.4 考察

ここでは、DSC1,2のノイズ特性の差異を、画像処理の観点から比較する。ノイズに影響を与える画像処理として、以下の3項目が考えられる。そこで、これらの項目について両者を比較する。

- ・露出制御
- ・エッジ強調
- ・画像圧縮

露出制御は各メーカーまたは各機種ごとに異なる。これは、Fig. 4 から読み取れる。DSC1は、 L^* の最大が85程度であるのに対し、DSC2は100近くにある。DSC2は、CCDの飽和レベルまで露光量を稼いでいるため、低輝度部で発生するノイズに対し有利と考えられる。

次に、エッジ強調の比較をISO 12233¹³⁾のSpatial Frequency Response(SFR)測定プラグインを用いて行う。ナイフエッジチャートを撮影した画像から、輝度信号YのSFRを測定する。Yの計算は、ISO 15739と同様に式(8)²⁾で行う。

$$Y=0.2125 \cdot R+0.7154 \cdot G+0.0721 \cdot B \quad (8)$$

Fig. 5 に横方向のSFRを示す。横軸が正規化した空間周波数(ナイキスト周波数=0.5)、縦軸がSFRである。SFRの最大値で比較すると、DSC1は約1.3倍高くなっている。これより、DSC1は、DSC2よりもノイズを増幅している可能性があると考えられる。

また、画像圧縮の影響について、両者の圧縮率を比較する。圧縮率は、DSC1が1.14bit/pixel、DSC2は2.76 bit/pixelである。DSC1は2倍以上圧縮率が高いため、ブロック歪などの影響は、DSC1のほうが大きくなる可能性がある。

以上の結果より、ノイズ特性における画像処理の影響は、DSC1が大きくなる可能性が高いことがわかった。

5 まとめ

電子スチルカメラのノイズ評価において、人間の視覚モデルを用いたノイズ測定ソフトウェアを開発した。このソフトは汎用的な画像編集ソフトで使用できるため、簡単な操作で測定値を得ることができる。

本ソフトを用いた2機種のカメラの比較より、明度と観察距離で変化するノイズの特性が明らかとなった。また、カメラ内部の画像処理を比較し、ノイズ特性が異なる原因を調べた。

参考文献

- 1) K.Aoyama, H.Enomoto and Po-Chieh Hung, Proceedings IS&T's 49th Annual Conference, 322 (1996).
- 2) ISO 15739 WD 5.2: 1998, "Photography - Electronic still picture cameras - Noise measurements"
- 3) ISO 14524 DIS: 1999, "Photography - Electronic still picture cameras - Methods for measuring opto-electronic conversion functions(OECFs)"
- 4) ISO 12232: 1998, "Photography - Electronic still picture cameras - Determination of ISO speed"
- 5) IEC 61966-2-1: 1999, "Multimedia systems and equipment - Colour measurement and management - Part 2-1: Colour management - Default RGB colour space - sRGB"
- 6) 坂田晴夫, 磯野春雄, テレビジョン学会誌, 31, 29 (1977).
- 7) 畑田豊彦, O plus E, 61, 95 (1984).
- 8) 池田光男, "色彩工学の基礎", 朝倉書店, 東京, 1980, p. 216.
- 9) 納谷嘉信, "産業色彩学", 朝倉書店, 東京, 1980, p.35.
- 10) A.S.Patel, Journal of the Optical Society of America, 56, 689 (1966).
- 11) 関口修利, 第10回色彩工学コンファレンス予稿集, 89 (1993).
- 12) 中山剛, 藤尾孝, "テレビジョン画像工学ハンドブック, 1編 光・色・視覚・画像", テレビジョン学会編, オーム社, 東京, 1980, p. 77.
- 13) ISO 12233 FDIS: 1999, "Photography - Electronic still picture cameras - Resolution measurements"