



## カラーフィルム粒状雑音の信号非依存性雑音への変換

前田 純 治

室蘭工業大学工学部産業機械工学科 〒050 室蘭市水元町 27-1

(1989年6月9日受理)

### Transformation of Color Film-Grain Noise into Signal-Independent Noise

Junji MAEDA

Department of Industrial Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,  
Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto, Muroran 050

In this paper we describe the transformation of signal-dependent noise into approximately signal-independent additive noise. Color film-grain noise that will often be emerged when images on color film are digitized by a film scanner with high resolving power is considered as signal-dependent noise. A generalized homomorphic transformation is investigated and some results of computer simulations that demonstrate the effectiveness of the proposed technique are presented.

#### 1. ま え が き

近年、銀塩フィルムに記録された画像にデジタル処理を施すため、これをデジタル化する高解像力のフィルムスキャナーが幾つか開発されている。このデジタル化に伴ってしばしばフィルムの粒状が顕在化して問題となっている。顕在化したフィルムの粒状は、デジタル化された画像にとっては一種の雑音であるので、本論文ではこれをフィルム粒状雑音と呼ぶ。フィルム粒状雑音は銀粒子のサイズとスキャナーの開口によって決まる雑音であり、フィルムの濃度とともに変化する信号依存性雑音である。信号依存性雑音を取り扱う手法としては、モデル化してそのまま処理する方法<sup>1-3)</sup>と、いったん信号非依存性雑音に変換してから取り扱う方法<sup>4-6)</sup>がある。黑白フィルムの粒状雑音に関しては、Arsenault ら<sup>7-9)</sup>が信号とは独立した加法的ガウス雑音に変換する一般化ホモモルフィック変換の手法を示しているが、カラーフィルムの粒状雑音についてはほとんど報告が見あたらない。

本論文の目的は、カラーフィルム画像をデジタル化する際に問題となる、信号依存性のフィルム粒状雑音を信号非依存性の加法的雑音へ近似的に変換する手法を示すことである。本研究では、一般化ホモモルフィック変換

の手法がカラーフィルムの粒状雑音に対しても適用可能かどうかをシミュレーション実験により検討する。粒状雑音が信号非依存性雑音に変換された後は、すでに確立されている加法的雑音に対する種々のデジタル画像処理手法を適用することが可能となる。

#### 2. 理 論

カラーフィルムにおいて、粒状の最小単位は現像銀粒子とそのまわりの色素雲である。これら現像銀粒子と色素雲の大きさと位置がランダムなことが、カラーフィルムにおける粒状雑音の原因となっている<sup>10)</sup>。

フィルム粒状雑音のような信号依存性雑音を、信号非依存性の加法的な雑音に変える手法は、一般化ホモモルフィック変換と呼ばれる<sup>8,9)</sup>。フィルム粒状雑音の平均濃度値  $D_0$  のまわりの濃度ゆらぎを表わす確率密度関数  $P_D(D_0)$  は

$$P_D(D_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_D(D_0)} \exp \left[ -\frac{(D-D_0)^2}{2\sigma_D^2(D_0)} \right] \quad (1)$$

と書ける。ここで、標準偏差  $\sigma_D(D_0)$  が平均濃度に依存して変化することがフィルム粒状雑音の信号依存性を示している。黑白フィルムに対する古典的モデルでは、 $\sigma_D = \sqrt{D_0} \beta$  であり、濃度が増すにつれてゆらぎも増大

することが知られている。ここで $\beta$ はフィルムの種類とスキャナーの開口により決まる定数である。一般化ホモモルフィック変換とは

$$x=g(D) \quad (2)$$

で表わされるある変換式 $g(D)$ によって $D$ 座標を $x$ 座標へスケール変換した後、(1)式と同様なゆらぎの確率密度関数 $P_x(x_0)$ において、変換後の標準偏差 $\sigma_x$ が近似的に一定となる変換である。この変換の結果、 $\sigma_D \ll D_0$ の仮定の下で

$$\sigma_x = K = \frac{d g(D)}{d D} \sigma_D(D) \quad (3)$$

が成立する( $K$ は定数)。したがって、一般化ホモモルフィック変換は最終的に次式で与えられる。

$$x=g(D) = K \int \frac{d D}{\sigma_D(D)} \quad (4)$$

黑白フィルムの場合、 $\sigma_D(D)$ の形がモデルより既知であるので直ちに変換式が求められるが、カラーフィルムにおいては、ある特定のカラーフィルムに対してRGBの3色ごとに $\sigma_D$ の形を実験的に決定しなければならない。実際に(4)式を用いる際には、 $1/\sigma_D$ を多項式にフィッティングすることにより積分計算が容易となる。すなわち、 $N$ 次の多項式

$$\frac{1}{\sigma_D(D)} = \sum_{n=0}^N a_n D^n \quad (5)$$

を用いることにより

$$x = b + K \sum_{n=0}^N \frac{a_n}{n+1} D^{n+1} \quad (6)$$

が求められる( $b$ は定数)。

### 3. 実験結果

フィルム粒状雑音はカラーフィルムの種類、および使用されるフィルムスキャナーの開口に大きく左右される。本研究では、カラーフィルムとしてコダックのエクタクロームを使用し、またフィルムスキャナーとして開口 $11 \mu\text{m}$ のCCDスキャナーを用いた結果を示す。

最初に、上記の条件の下でエクタクロームの粒状雑音のゆらぎの標準偏差の信号依存性、すなわち、 $\sigma_D(D)$ の分布をRGBごとに求めた。まずエクタクロームを12段階に分けて一様露光し、RGBごとにCCDスキャナーにてデジタル化(12ビット)することにより、平均透過光強度とそのまわりのゆらぎの標準偏差の関係を得た。この関係を対数変換することにより、濃度と標準偏差の関係に直したのがFig. 1のグラフで、これが $\sigma_D(D)$ の分布を表わしている。Fig. 1は、本実験における

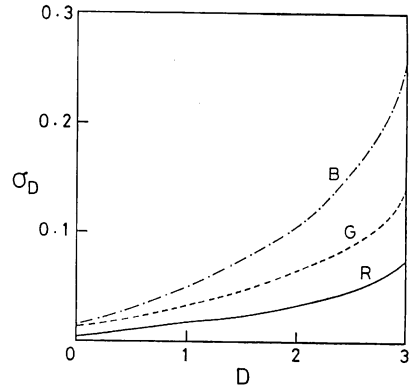


Fig. 1 The standard deviations of the density fluctuations of the Kodak Ektachrome. R (—), G (---), and B (-·-) components.

カラーフィルムの粒状雑音が確かに信号に依存していること、および、全濃度領域においてB成分が最も強く、R成分が最も弱く現われることを示している。

次に、一般化ホモモルフィック変換の効果を調べる計算機シミュレーションの結果を示す。Fig. 2(a)は、RGB各16段階のカラーステップチャートにおいて、Fig. 1の関係に基づいて発生させたフィルム粒状雑音の標準偏差 $\sigma_D$ を示す。各色一段階のステップ当り1024個の乱数を用いてフィルム粒状雑音を作成した。Fig. 2(b)は(4)式により $D$ から $x$ へ変換された後の標準偏差 $\sigma_x$ を示す((5)式で $N=5$ を用いた)。Fig. 2(b)は、変換後の標準偏差がRGB各色ともに信号( $x$ )に依存せずほぼ一定であること、したがって、一般化ホモモルフィック変換が有効に働いたことを示している。

実際のカラー画像を用いて、上記のことを確かめる実験を行なった。Fig. 3(a)に示すモデル物体(サンプル点 $128 \times 128$ 点、RGB各8ビット)に、Fig. 1に基づいてフィルム粒状雑音をかけた後、その粒状雑音のみを抽出して強調表示したのがFig. 3(b)である(フィルム粒状雑音をかけた画像は、見かけ上モデル物体と大差が無いので掲載していない)。Fig. 3(b)は、フィルム粒状雑音がFig. 3(a)の物体の情報(信号)に依存していること、および、B成分とG成分が強いことをよく表わしている。Fig. 3(c)は(4)式の変換後に、フィルム粒状雑音のみを強調表示したものであるが、物体情報への依存性がほとんど消失し、RGB各成分がほぼ均一の雑音に変わっている。Fig. 3(d)は比較のために作成した信号非依存性の加法的ガウス雑音である。Fig. 3(c)が(d)と非常に類似していることから、(4)式の一般化ホモモルフィック変換により、信号依存性であったカ

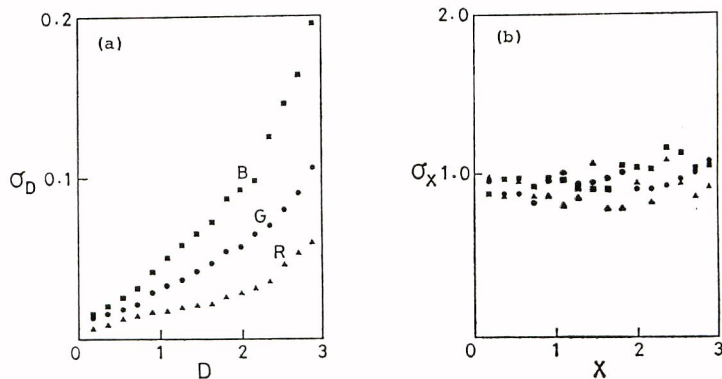


Fig. 2 The standard deviations of the density fluctuations of the simulated step chart (a) before and (b) after the homomorphic transformation of Eq. (4). R (▲), G (●), and B (■) components.

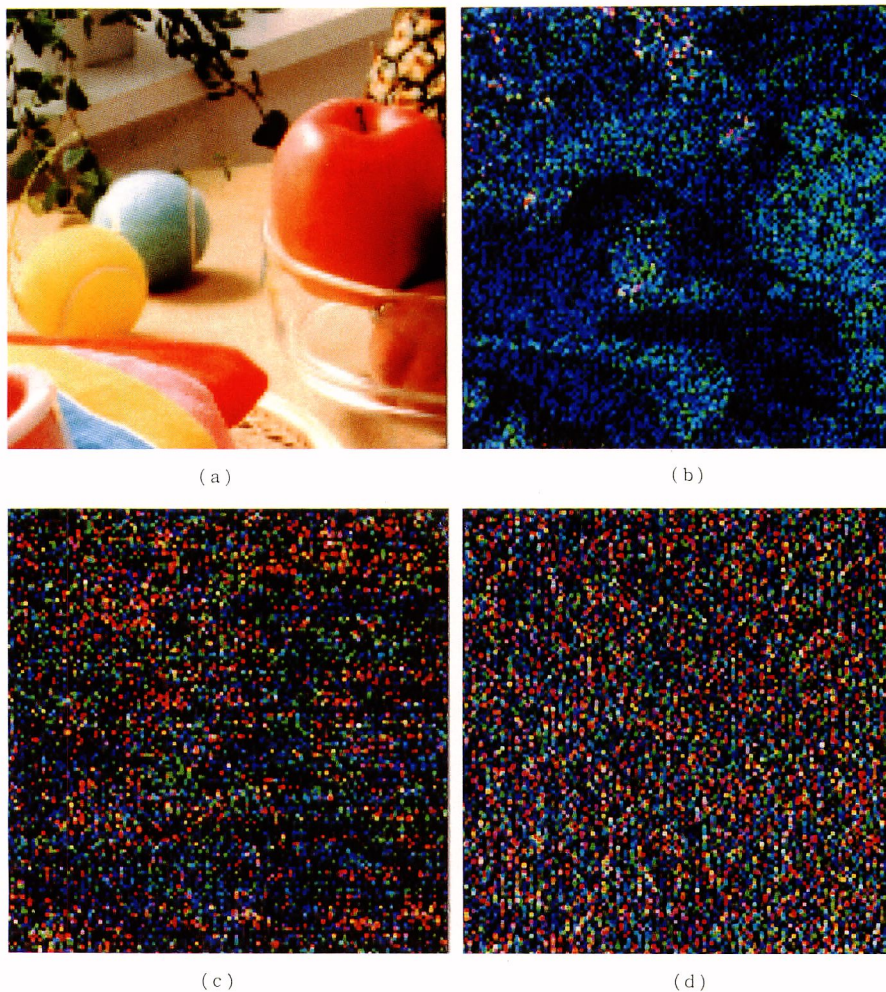


Fig. 3 (a) Model object; (b) color film-grain noise before the transformation; (c) color film-grain noise after the homomorphic transformation of Eq. (4); (d) signal-independent additive Gaussian noise.

ラーフィルム粒状雑音が近似的に信号非依存性雑音へ変換されたことが確認された。

#### 4. ま と め

カラーフィルムに記録された画像を計算機処理するため、これをデジタル化する際にしばしば問題となる信号依存性のフィルム粒状雑音を、信号非依存性の加法的雑音へ近似的に変換する手法を示した。カラーフィルムの種類、およびフィルムスキャナーの開口を限定したうえでのシミュレーション実験により、一般化ホモモルフィック変換の手法がカラーフィルムの粒状雑音に対しても有効であることが確認された。この変換手法を応用したカラーフィルム粒状雑音の低減を今後の研究課題とした。

最後に、本研究にご協力いただきましたキヤノン(株)大村宏志氏に感謝申し上げます。

#### 文 献

- 1) J. F. Walkup and R. C. Choens: "Image processing in signal-dependent noise." *Opt. Eng.*, **13** (1974) 258-266.
- 2) F. Naderi and A. A. Sawchuk: "Estimation of images degraded by film-grain noise," *Appl. Opt.*, **17** (1978) 1228-1237.
- 3) R. Kasturi, T. F. Krile and J. F. Walkup: "Image recovery from signal-dependent noise," *Opt. Lett.*, **8** (1983) 401-403.
- 4) H. H. Arsenault and M. Levesque: "Combined homomorphic and local-statistics processing for restoration of images degraded by signal-dependent noise," *Appl. Opt.*, **23** (1984) 845-850.
- 5) J. Maeda and K. Murata: "Digital restoration of blurred images in speckle noise by a two-step procedure," *Opt. Commun.*, **60** (1986) 5-8.
- 6) J. Maeda and K. Murata: "Digital restoration of scintigraphic images by a two-step procedure," *IEEE Trans. Med. Imag.*, **MI-6** (1987) 320-324.
- 7) H. H. Arsenault, C. Gendron and M. Denis: "Transformation of film-grain noise into signal-independent additive Gaussian noise," *J. Opt. Soc. Am.*, **71** (1981) 91-94.
- 8) H. H. Arsenault and M. Denis: "Integral expression for transforming signal-dependent noise into independent noise," *Opt. Lett.*, **6** (1981) 210-212.
- 9) H. H. Arsenault and M. Denis: "Image processing in signal-dependent noise," *Can. J. Phys.*, **61** (1983) 309-317.
- 10) 日本写真学会編: 写真工学の基礎(コロナ社, 東京, 1979).