

カラー写真の粒状ノイズシミュレーションシステム

A Computer Simulation System for Granular Noise in Color Photographic Images

服部 毅*
Hattori, Tsuyoshi

大里 玲二*
Ohsato, Reiji

犬井 正男*
Inui, Masao

Among the various simulation systems assisting in the design and development of photographic materials, we have created a granular noise generating simulation system. Employing an autoregression model, this system provides insight into photographic noise related to image quality, as well as criteria on which to establish granularity target values. Moreover, the autoregression model is a two-dimensional one, relating both the magnitude and spectral components of granular noise to density, which has not been investigated prior to our work. This system allows for the addition of generated noise to noiseless photographic images to simulate genuine photographic images having noise. The results are quite realistic simulated images.

1 はじめに

近年の商品の多様化、商品サイクルの短期化に伴い、写真業界においてもコンピューターを駆使して効率的に新製品の研究開発を行っている。その一つとして、我々はカラー写真の画質の研究に画像シミュレーションシステムを用いている¹⁾。

カラー写真の画質は

- (1) 階調再現性
- (2) 色再現性
- (3) 粒状性
- (4) 鮮鋭性

の4つの特性でほぼ表す事ができる。我々は上記(1)～

(4)に関する画像シミュレーションシステムを構築し、カラー感光材料の設計に用いている。(1)、(2)に関するシステムは前号にて報告済みであり²⁾、ここでは(3)に関する粒状ノイズのシミュレーションシステムの一部について述べる。このシステムは写真のノイズを研究したり、ノイズの目標値を決定するのに有効である。我々は、振幅と周波数成分の両方が濃度に依存するノイズの発生方法を開発し³⁾⁴⁾、このシステムに組み込んだ。今回は、この方法の解説と实例を示す。

2 カラーフィルムのノイズ

カラーフィルムにおいて、現像処理で発色した色素は、マクロ的には均一に見えるが、ミクロ的には不均一であり、ざらざらした印象を与える。この粒状ノイズは振幅だけでなく、周波数成分も画像濃度に依存する。振幅だけが濃度に依存するノイズは、あらかじめ発生または測定した均一濃度部の2次元ノイズに、画像の濃度に対応した振幅(例えばRMS粒状度)を乗じて得ることができ

* 感材生産本部 第一開発センター

る。また、任意の周波数成分を持つノイズは、その周波数成分に対応する2次元ウィナーベクトルを求め、これにランダムな位相を与えたのち、逆フーリエ変換によって得ることができる⁵⁾。しかし、振幅と周波数成分の両方とも濃度に依存するようなノイズを得る方法に関する報告は、筆者らの知る限り、なされていなかった。我々のシステムは、自己回帰モデルを用いて振幅と周波数成分の両方とも濃度に依存するノイズを発生するものである³⁾⁴⁾。

3 2次元自己回帰モデル

スペクトル解析の一方法であるMEM(最大エントロピー法)と数学的に等価である自己回帰モデルによって、1次元のノイズを容易に発生することができる⁶⁾。写真のノイズは等方的で様な2次元の不規則変動と考えられるので、2次元確率場の予測理論から導かれる2次元自己回帰モデルを用いる事ができる。式(1)は離散的一様等方確率場を表わす十字型差分方程式である。

$$I_{m+1,n} + I_{m-1,n} + I_{m,n+1} + I_{m,n-1} - (4+K^2)I_{m,n} = CW_{m,n} \quad (1)$$

ここで、 $I_{m,n}$ は画素(m,n)におけるノイズ、Kはノイズの相関距離と振幅に関するパラメーター、Cはノイズの振幅に関するパラメーター、そしてWはホワイトノイズである。この差分方程式から式(2)の2次元自己回帰モデルが導かれる⁷⁾。

$$I_{m,n} = h_{0,0}g_{m,n} + \sum_{(p,q) \in S} h_{p,q}I_{m+p,n+q} \quad (2)$$

ここで、 $h_{p,q}$ は座標(p,q)での予測係数であり、式(1)のパラメーターK、Cの関数である。また、SはFig.1に示すように $h_{p,q}$ を用いる範囲であり、 $g_{m,n}$ は、ガウス乱数で

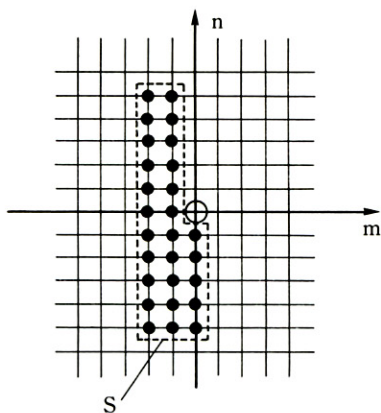


Fig. 1 Region used for noise prediction, S

ある。式 (2) により、画素 (m,n) におけるノイズ $I_{m,n}$ を順次得る事ができる。

4 ノイズの濃度依存性

前述のようにパラメーターK、Cはノイズの統計的性質を決めるパラメーターであり、これらの濃度依存性がノイズの濃度依存性をあらわす。K、Cの値は、自己相関関数を用いて決定する。式 (1) で表わされる確率場の自己相関関数 $R_{m,n}$ は次式で与えられる。

$$R_{m,n} = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{C^2 e^{i(mu+nv)}}{4\pi^2 |e^{iu} + e^{-iu} + e^{iv} + e^{-iv} - 4 - K^2|^2} dudv \quad (3)$$

ここで、u、vはそれぞれm方向およびn方向の角空間周波数である。式(3)を用いて、所望のノイズの自己相関関数になるようにK、Cの値を決定する。このときK、Cを濃度の関数として与えることにより $h_{p,q}$ が濃度の関数となり、式(2)を用いて振幅と周波数成分の両方が濃度に依存するノイズを発生させることができる。自己相関関数として、実験値だけでなく任意の関数形を用いることにより、ノイズの設計を行なうことができる。

5 超高感度カラーネガフィルムの粒状シミュレーション³⁾⁴⁾

超高感度カラーネガフィルムの平均濃度違いの均一露光試料から、各濃度レベルの色濃度変動を測定し、自己相関関数を求めた。各濃度レベルごとの自己相関関数より求めたパラメーターK、Cを用いて濃度に依存する粒状ノイズを発生させた。Fig.2はシミュレーションにより発生させたノイズ(右)と超高感度カラーネガフィルムのノイズの測定値(左)を比較したものである。両者とも平均濃度が高くなるにつれて振幅が減少し高周波成分の比率が多くなっていることがわかる。両者の振幅及び周波数成分はよく似ており、精度良くシミュレートされている事が判る。

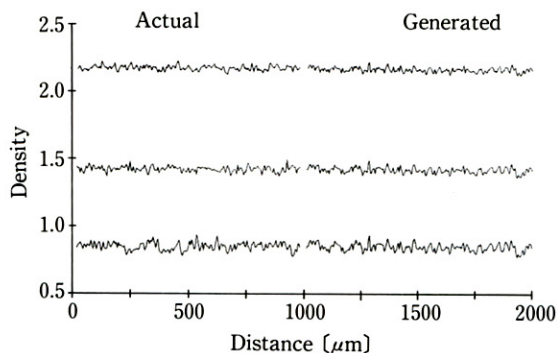


Fig.2 Comparison of actual to generated noise

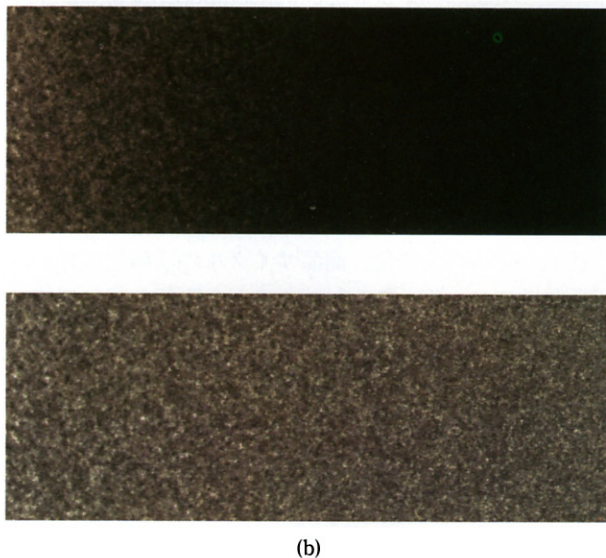


Fig.3 Simulated negative (a) and its corresponding noise (b)

Fig.3は超高感度カラーネガフィルムのネガを10倍に拡大したものに相当する画像をシミュレーションにより作成し、前報²⁾での色再現シミュレーションの時と同様にレーザープリンターで出力したものである。濃度が連続的に変化している画像のノイズをシミュレートした結果がFig.3(a)である。この画像では高濃度域のノイズが見えにくくなっているため、ノイズが見やすくなるように画像から信号成分を減算し、ノイズ成分だけにした画像がFig.3(b)である。左から右に画像濃度が増加して行くに従って粒状の振幅が減少し、高周波成分の比率が増加して行くことがわかる。

一般シーンの画像におけるシミュレーション例をFig.4に示す。Fig.4(a)はシミュレーションの原画像として用いたほとんどノイズのない画像である。シミュレーションによりこの原画像に超高感度カラーネガフィルムの粒状ノイズを加えたものがFig.4(b)である。これはネガフィルムから10倍拡大したプリントの一部に相当している。Fig.4(c)はシミュレーションの対象としている超高感度フィルムからの実際に10倍に拡大したプリントの一部である。Fig.4(b)のシ



(a) Noiseless photographic image



(b) Simulated image with the addition of generated noise



(c) Photographic image with actual noise

Fig.4 An example of noise simulation

ミュレーション画像は、Fig.4(c)と比較するために、鮮鋭性の補正は行ったが、色と階調の補正は行っていない。このため、色は多少違うが、両画像の粒状は非常に良く似ている事が判る。

なお、Fig.4(a), (b)の画像はFig.3同様レーザープリンターで出力したものである。

6 まとめ

カラー写真の粒状ノイズに関するシミュレーションシステムを構築し、カラー写真感光材料の設計に用いている。これによって、新製品開発の目標設定や試作段階での評価、解析などが、迅速化されている。

今回紹介した粒状ノイズのシミュレーションは、2次元自己回帰モデルの係数を濃度に依存させることにより、振幅と周波数成分の両方も濃度に依存する粒状ノイズを

発生することができる手法である。この方法を用いる事によって、より現実の写真系に近い粒状ノイズのシミュレーションが可能になり、写真のノイズの研究や、粒状度の目標設定が、効率的に行えるようになった。

●参考文献

- 1) 宮本昭彦：日本写真学会誌,51(3),243(1988)
- 2) 服部 毅 他：Konica Tech. Rep.,5,53(1992)
- 3) M.Tanaka, et al.：IS&T's 44th Annual Conference, 524(1991)
- 4) 服部 毅 他：日本写真学会平成3年度年次大会講演要旨, 193(1991)
- 5) 犬井正男 他：医用画像情報学会誌,2,75(1985)
- 6) 日野幹男：“スペクトル解析”,朝倉書店(1979)
- 7) 吉田靖夫 他：電子通信学会論文誌,J65-A,5,415(1982)