

プリンタのノイズ評価方法の研究

Study of Method for Evaluating Noise of Printers

榎本 洋道* 洪 博 哲*

Enomoto, Hiromichi Hung Po-Chieh

The purpose of this study is to find a method for evaluating the noise of image suitable to the subjective response of the human eye, and to analyze the noise of various printers. Conventionally, noise is defined as the standard deviation of density. In this study, the fluctuations of density are compensated by the spatial resolution of the human eye and noise is defined as the standard deviation of lightness. It is ascertained that the noise data calculated by this technique is close to the subjective evaluation. We compare the noise of various printers and CRT, and conclude that the noise of silver halide is very low and that of electoro-photography is rather high. We also analyze the noise, by varying the parameters such as the distance from the eye to the image and the technique for making halftones.

1 まえがき

近年、感熱転写、電子写真プリンタ、インクジェットプリンタ、そして銀塩プリンタのようなさまざまな種類のデジタルプリンタが積極的に開発されている。目的とするものは、高画質の画像を簡便に低コストで得ることである。このようなプリンタの開発にあたっては、得られる画像の画質を評価し、それを製品開発にフィードバックすることが必要である。また、各種プリンタの画質を定量的に把握することは、要求される画質に対してコストを考慮した最適なプリンタを選ぶ上でも意義がある。画質を決定する要素として、鮮鋭性、色再現性、ノイズがあるが、この報告では、その中で、画像のノイズの測定方法、および結果について報告する。ここで、ノイズとは、写真における粒状性と同様に、濃度の不均一性を表し、多くの場合、入力値が一定な部分の出力濃度の標準偏差として定義される。しかしながら、この方法には2つの欠点があった。1つは、測定するプリンタの画素サイズが異なる場合、マイクロデンシトメーターによる濃度の測定条件を変更する必要があったことである。2つめは、観察距離、観察時の明るさといったパラメーターを変更したい場合には、測定をやり直さなければならなかったことである。

我々は、これらの欠点を解消するために、濃度の変動を人間の眼の解像力で補正し、さらに、濃度の標準偏差を求める代わりに、明度の標準偏差をノイズと定義した。この手法を用いて、いくつかの種類のプリンタのノイズ量を比較した。また、観察距離、中間調の2値化手法とノイズ量の関係を解析し、更に、計算されたノイズ量と主観評価の結果を比較検討した。

*技術研究所

2 ノイズの計算のアルゴリズム

ノイズの計算のアルゴリズムは以下のようである。

- 濃度が均一な部分の濃度変化をマイクロデンシトメーターで測定する。
- フーリエ変換を計算するために濃度を輝度に変換する。
- フーリエ変換を計算する。
- フーリエ空間上で、人間の眼の解像力を掛け合わせる。(人間の眼の解像力で重みづけする。)
- フーリエ逆変換を計算する。
- 人間の眼が輝度によってコントラストに対する感度が異なる現象を補正するために輝度の代わりに明度を単位とする。
- 明度の標準偏差を計算し、この値をノイズと定義する。

CRTのノイズを測定する場合は、まず、CRT上に出力された濃度の均一パターンを写真にとり、ネガフィルム上のパターンの濃度の変化をマイクロデンシトメーターで測定し、次に、ネガフィルムの濃度をCRTの輝度に変換する。

2.1 人間の眼の解像力

人間の眼の解像力は、空間周波数に対する人間の視覚システムの感度を示す尺度である。実験的には以下のよう求められる。

- 輝度が水平方向にsin関数で変化するパターンを作製し、このパターンのコントラストを次式で定義する。

$$\text{コントラスト} = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \quad (1)$$

I_{\max} はパターン中の輝度の最大値を示し、 I_{\min} は最小値を示す。

- 輝度の平均値を変えずに、コントラストを小さく

していき、輝度の最大値と最小値の差が認識できなくなったコントラストの値の逆数を人間の眼の解像力と定義する。

c. 空間周波数、観察時の明るさをパラメーターとして同様の測定を続ける。

ここで使用した人間の眼の解像力のデータを Fig.1 に示す。

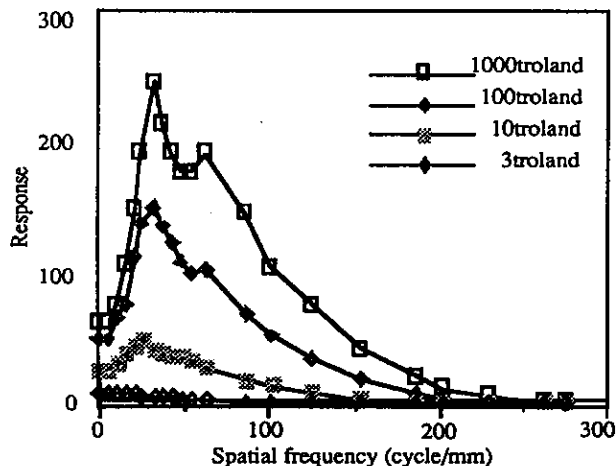


Fig. 1 Resolution of the human eye

横軸は、人間の眼の網膜上の空間周波数を示し、縦軸は人間の眼の解像力を示している。また、ここでは、パラメーターとして、観察時の明るさを用いている。trolandとは、網膜照度を表す単位で、輝度 1 cd/m^2 の光源を面積 1 mm^2 の瞳を通して見る時の網膜照度が 1 troland と定義される。Fig.2 に観察時の画像までの距離と眼の分解能との関連を示した (明るさは 100 troland)。距離が遠くなるほど、高周波部分の解像力が低下することがわかる。

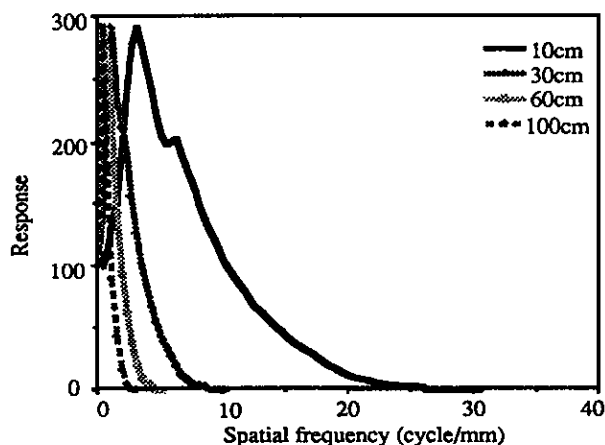


Fig. 2 Relationship between the distance and resolution of the human eye

3 応用例及び計算結果

この計算手法を使って、観察距離とノイズ、2値化手

法とノイズの相関、及びいくつかの種類のメディアのノイズ量の比較を行った。人間の眼の解像力で重み付けをすることにより、マイクロデンシトメーターの測定条件は、どのメディアを測定する時でも同一条件とすることが可能となる。測定条件を Table 1 に示す。

Table 1 Measuring Conditions

Sampling Pitch	5 μm
Aperture Size	width 5 μm , height 1mm
Sampling Points	2048points
Filter	Wratten No.106

この報告では、スキャナー部のノイズとプリンタ部のノイズを区別し、プリンタ部のみのノイズを評価するために、デジタル値を入力信号とした。

3.1 観察距離とノイズの関連

Fig.3 に観察距離 (画像までの距離) と、ノイズの相関を示す。観察時の明るさは 100 troland とした。印刷の場合、例えば 10 cm 位の非常に近い距離から見た場合、網点が認識されてしまうために、ノイズは非常に高く見える。しかし、距離が離れるにつれて、網点の存在が認識できなくなり、ノイズは小さくなる。一方、電子写真の場合、距離を変えても、ノイズはそれほど変わらず、全体的に高い値を示す。原因は、周波数の低い成分の変動が大きいためである。銀塩写真の場合は、至近距離から見た場合でも、ノイズは十分に低いことがわかる。

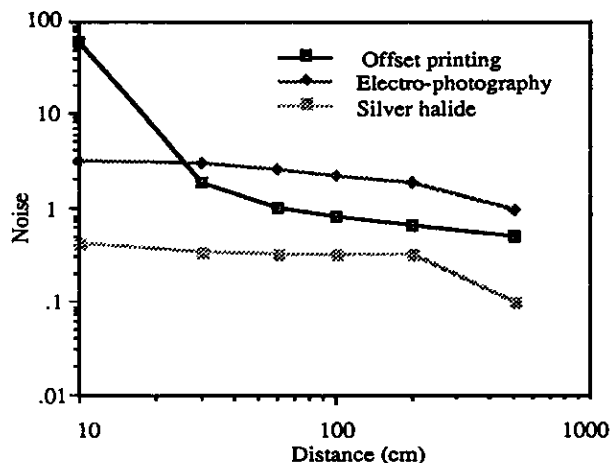


Fig. 3 Relationship between the distance and noise

3.2 2値化手法による影響

代表的な 2 値化手法であるディザ法と誤差拡散法の 2 種類についてノイズ量を比較した。メディアは、インクジェットプリンタを使った。結果を Fig.4 に示す。ディザ法の場合、観察距離が 10 cm, 60 cm と近い場合、周期的なドットパターンが認識され、明度の中間領域でノイズが高くなっている。

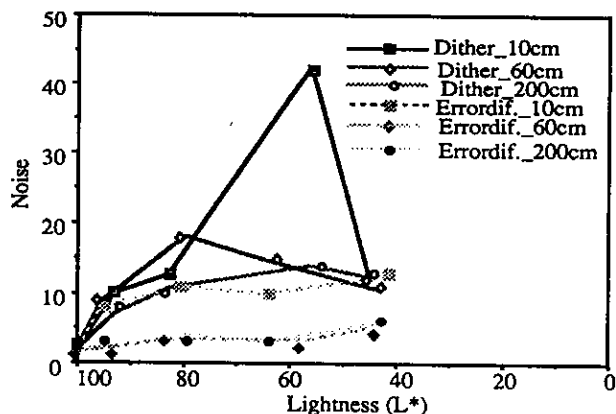


Fig. 4 Comparison of the dither technique and the error diffusion technique

3.3 各メディアのノイズの比較

今回、測定したメディアは、CRT、感熱転写、印刷、電子写真、銀塩レーザープリンタの5種類である。観察時の明るさ、観察距離はそれぞれ100 troland、60 cmである。

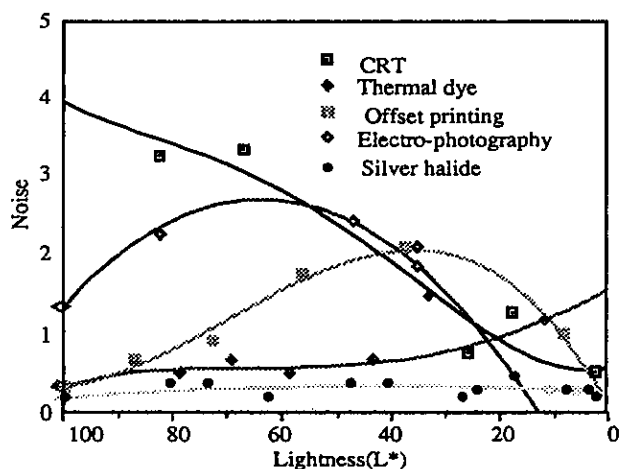


Fig. 5 Comparison of the noise of various printers

この条件では、網点はほとんど認識できず、ノイズに及ぼす影響は小さい。この図より、明度に対するノイズの傾向がメディアによって異なっていることがわかる。即ち、CRTの場合、ノイズは明度が高くなるにつれて高くなっている。一方、印刷や電子写真などは、明度が中間の領域で、ピークをもっている。また、銀塩写真のノイズは全明度領域にわたって非常に低い。他方、電子写真は主に、低周波成分の変動のために、ノイズはやや高い値を示している。

3.4 主観テストとの比較

ここまで計算してきたノイズのデータが人間の主観とどの程度一致するかを調べた。テストの方法は、まず、被験者にそれぞれ明度、ノイズともに異なる9枚の電子

写真のサンプルを見せる。被験者は9枚のサンプルに対して、ノイズの高い順から順番に9点、8点…1点と点数をつけていく。観察条件は明るさ100 troland、距離60 cmとした。被験者は3人で、それぞれのサンプルについて平均点を計算した。このようにして求められた主観評価点と、それぞれのサンプルのノイズを計算で求めたノイズ量との相関をFig.6に示す。縦軸は、それぞれのサンプルのノイズの主観評価点と、計算値を示し、明度60の点で主観評価点が9点になるように規格化した。Fig.6より明らかなように、主観評価点も計算値もいずれも中間の明度領域でピークをもつという傾向を示している。両者の相関係数を求めたところ、0.895と高い相関を示した。このことから、我々が開発したノイズの計算手法は主観評価と非常によく一致することが確認された。

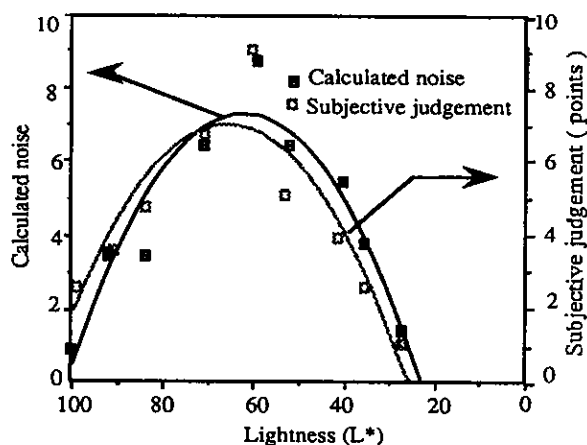


Fig. 6 Relationship between subjective judgement

4 むすび

人間の眼の分解能を導入することにより、画素サイズによらず、各メディアのノイズを同一条件で測定し評価することができるようになった。また、主観テストの結果の通り、現在まで何種類かのメディアのノイズを測定してきたが、いずれも主観評価とよく一致した結果が得られている。今まで、人間の主観に頼りがちであった画像のノイズを定量化することはプリンタの画質向上のための大きな助けとなりうるかと期待される。今後、この手法を使って更に様々な種類のメディアのノイズの測定を行い、より完成度の高い手法にしていきたい。

● 参考文献

- 1) A.S.Patel: "Spatial Resolution by the Human Visual System. The Effect of Mean Retinal Illuminance", J. Opt. Soc. Am. 56(5), 684-694(1966)