

背景画像の特徴が濃度ムラの視認性に与える効果

Effects of Features in Background Images on Visibility of Density Unevenness

峯 岸 なつ子*
Natsuko MINEGISHI

内 川 恵 二**
Keiji UCHIKAWA

要旨

印刷された画像に濃度ムラが現れる場合、濃度ムラの視認性は、たとえその領域における濃度ムラの程度が同じであっても、背景画像の内容によって異なる。濃度ムラの検出メカニズムを解明するために、我々は濃度ムラの視認性に関する画像特徴量を調査した。

本研究では、背景画像に様々なレベルの顕著性を有する濃度ムラを検出するための実験を行った。その結果、濃度ムラの視認性は、濃度ムラの空間周波数成分に似た、濃度ムラ近傍の背景領域の空間周波数成分との間に相関があることが分かった。また、顕著性との相関は弱いことが分かったが、顕著性についてはその定義を再考する必要があると考えられる。

Abstract

When density unevenness areas appear on printed images, visibility of the unevenness areas depend on contents of background images even if the levels of unevenness for those areas are the same. We investigated image features relevant to visibility of density unevenness to clarify detection mechanism of unevenness. In this study, we performed experiments for detecting density unevenness with various levels of saliency of background images. As results, we found that visibility of the density unevenness correlated with spatial frequency components, which were similar to those of the density unevenness, of the background area close to the density unevenness. The correlation with saliency was found to be weak. It would be suggested that the definition of saliency could be re-considered.

* 情報機器事業開発本部 画像技術開発センター 第1プロセス開発部

** 国立大学法人 東京工業大学名誉教授, 神奈川大学人間科学部・マルチモーダル研究所

1 はじめに

電子写真方式で印刷される画像には、画質を劣化させる様々な画像ノイズが発生し得る。多くの画像のノイズの程度はプロセス条件に依存する。発生メカニズムが異なる複数の画像ノイズ間にトレードオフ関係が存在することも多く、製品開発する上でどのノイズを優先して改善するかを選択を迫られる場合がある¹⁾。この時、ある一定の画質を保つ必要があるため、高画質と低画質の境界を示すことができれば、それは重要な開発指標になる。

画質を決定づける要素の一つに「濃度一様性」が挙げられる²⁾。これを妨げる画像ノイズが「濃度ムラ」であり、電子写真で発生する濃度ムラには、現像器周辺部品の振れによる帯状のものや、現像剤搬送不良による、ランダムな形状のもの等がある。

濃度ムラの程度を評価する時は、一様濃度画像を出力して発生した濃度ムラの濃度差を計測し評価値とすることが多い³⁾⁴⁾。しかし実際に印刷機を使う顧客が出力する画像においては、同じ濃度差であっても背景画像の内容によってその目立ち方が異なる。

本研究では、市場で実際に印刷される画像を「実画像」と表現し、実画像における濃度ムラの目立ち易さの推定を将来的な目標とした。その目標達成のために、ここでは、濃度ムラの視認性と背景画像の特徴量との相関関係の解明を目的とした。実画像上の画質評価に関する過去研究には、画像ノイズを含んだ出力画像を用いたものがある⁵⁾⁷⁾。これに対して、本研究は、ある想定した強度の濃度ムラの評価値と、濃度ムラが含まれない原画像データの特徴量との関係を探るものである。本報告では、その画像特徴量として「顕著性」と「階調分布の空間周波数」を取り上げ、これらと濃度ムラの視認性との間に相関があるか検証した結果を示す。

2 濃度ムラと背景画像特徴

2.1 濃度ムラ視認性に影響する画像特徴量の予測

ここでは、濃度ムラが無い背景画像（原画像データ）と、濃度ムラが現れている出力画像を比較した時の、濃度ムラの視認性を対象とする。

実画像の画質評価をする際にしばしば着目されるのが「顕著性」である⁵⁾⁷⁾。顕著性とは人の視覚的注意を引きつける性質を指す。顕著性を数値化して画質評価に活用した例として、画像ノイズを表す物理量に顕著性を表す値で重みづけし、主観評価に近い画質評価値を得ることができたとの報告がある⁵⁾⁷⁾。さらに、観察対象の視認性と背景画像の関係を抑えるために顕著性に着目した例もある⁸⁾。本研究では、濃度ムラという観察対象の視認性を扱う上で、顕著性に着目する価値があると考えた。

印刷画像上の濃度ムラは、紙面の濃度ムラ発生部分からの反射光の輝度コントラストを観察者が知覚することによって視認される。観察者の輝度コントラスト検出閾

値は、刺激光に重ねて呈示するマスキングノイズの空間周波数によって変化することが知られている⁹⁾。印刷画像では、照明光を固定すると、紙面で反射する光の輝度は濃度に比例し、濃度は階調によって決定される。したがって、入力画像の階調分布の空間周波数が濃度ムラの視認性に影響を及ぼすと予測した。

2.2 濃度ムラ形状の仮定と想定メカニズム

印刷画像に出現し得る濃度ムラの形状は様々だが、これらは全て、円形の重ね合わせで表現できると考えた。円形が濃度ムラの標準形状であると仮定し、円形濃度ムラの視認性と、顕著性及び階調分布との関係について、Table 1 に示す現象を予想した。

Table 1 The list of assumptions.

Focused features	Assumption	Supposed mechanism
Saliency	1) When saliency at a location of an unevenness is higher, visibility of the unevenness is higher.	A Higher salient location in an image attracts attention so that an unevenness on he location can be easily found.
	2) When saliency at a location of an unevenness is lower, visibility of the unevenness is higher.	Most of low salient locations are uniform in density so that an unevenness on the location pops out.
	3) When salient locations are scattered in an image, visibility of an unevenness is lower.	Attention is attracted to an entire image so that an unevenness cannot be focused on.
	4) When salient locations are scattered in an image, visibility of an unevenness is higher.	Attention scans in an entire image so that an unevenness can be found.
Spatial frequency of tone distribution	5) When an image includes spatial frequencies which are the same as those of an unevenness, visibility of the unevenness is lower.	When the gradation of a location of a unevenness in an image is the same as that of an unevenness, the unevenness cannot be discriminated.

3 円形濃度ムラ視認性と画像特徴量の相関解明実験

3.1 顕著性の数値化

顕著性の数値化手段として、Ittiらが提案した顕著性マップ¹⁰⁾を利用した。この顕著性マップは画像特徴量のみ依存する「ボトムアップ型」と呼ばれるタイプのもので、顕著性¹¹⁾が高い部分と低い部分を分けて表示する。任意の画像を顕著性マップに変換するアルゴリズムの要点を次に示す。まず原画像サイズを740×480pxにする。入力画像を色、輝度、方向成分に分解して特徴マップを形成する。各特徴マップでコントラストの高い部分、すなわち人間の視覚に検出され易い部分の階調値を大きく、

その他の階調値を小さくするように画像処理を施す。これらを最後に重ね合わせたものが顕著性マップとなり、顕著性が高い部分の階調値は大きく、その他の階調値は小さくなる。顕著性マップの画像サイズは最終的に原画像の1/256となる。本研究では、顕著性マップの各画素に入力されている階調値をその画素位置における顕著性の定量値とし、S値と定義した。

3.2 実験方法

印刷画像上の濃度ムラを直接扱うことが望ましいが、今回は顕著性の影響を効率的に検証することを主目的としたためディスプレイを用いた。輝度分布で表現した濃度ムラ画像をディスプレイ上に表示し、その視認性を心理物理実験によって測定した。

輝度コントラストと色度コントラストに対する人間の検出閾値は異なるため¹²⁾、今回は輝度のみに着目することにし、実験刺激としてグレースケール画像を用いた。ムラの輝度変化量の影響を調べることを目的としたため、視覚感度を高める刺激となる輪郭が無いガウシアン輝度分布を濃度ムラ画像とした。

視認性の測定法には上昇系列の極限法を用いた。呈示画像中にムラとして出現させる刺激光中心位置の輝度(Y_p)と、同一位置におけるムラ出現前の輝度(Y)との差 $|Y_p - Y|$ を次第に拡大し、被験者がムラを検出できた時の輝度比 $\Delta Y/Y$ ($\Delta Y = |Y_p - Y|$)を求めた。 $\Delta Y/Y$ を、そのムラの視認性を表す指標とした。Fig. 1は呈示画像例である。

Fig. 2は実験の1試行内のテスト刺激呈示のタイムコースである。最初に全面一様なグレー背景に画像呈示位置を示す枠を3s呈示する。続いて1sまたは4s間テスト画像を呈示する。テスト画像は、同じ図柄の画像を左右に2つ並べたものであり、左右何れかにムラが描かれている。被験者は左右の画像を比較し、ムラを発見できればその呈示で試行を停止する。実験者はその時のムラの輝度比 $\Delta Y/Y$ を記録する。被験者がムラを発見できない場合は、インターバルとして1s間全面グレー画像を呈示した後、ムラの輝度比を増大したテスト画像を次に呈示する。この時、ムラ出現位置は1回の試行につき1か所に固定されるが、左右どちらの画像に出現するかはランダムに設定されている。1試行でムラの輝度比は最大11段階変化するが、被験者が最後までムラを視認できなかった場合、その実験データは解析から除外する。その他の具体的な条件はTable 2に示されている。

ムラの呈示位置は1つの背景画像に対して4通り設定した。そのため、被験者は全試行中、同じ背景画像を4回見ることになる。ここで被験者が画像の内容を記憶してしまうと、一度「ムラが無い」と判断した箇所に注目しなくなる恐れがある。そこで、24種の背景画像に対する試行を一通り終了するまで、同じ背景画像を呈示しないようにした。また、画像呈示時間を2水準(1s, 4s)設定するためにも、被験者が同じ背景を見る回数を少なく抑える工夫をした。まず、事前に類似の実験を行って

被験者応答の個人差を検証しておき、個人差が小さい被験者2人で1組とした。ある1つの背景画像に対して、1組のうち1人が呈示時間1s、もう1人が4sの試行を行うことにした。すなわち、呈示時間が異なる条件では被験者が異なることになる。

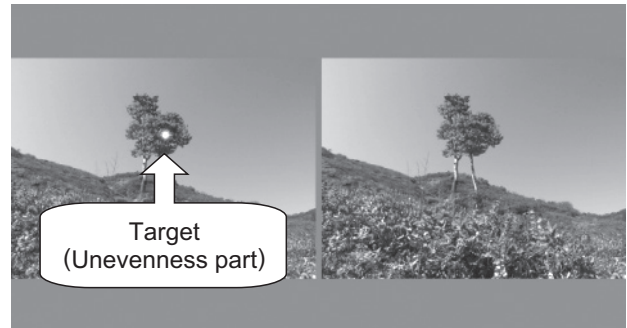


Fig. 1 An example of the stimulus image and the target.

Table 2 Experimental conditions.

Observation environment	Dark room	
Display	EIZO/ColorEdge CG221, maximum luminance: 80 cd/m ²	
Subjects -Sex:Age,(headcount) -other information	- Females: 40's (2), Males: 20's (1), 30's (1), 40's (3), 50's (1), 60's (1) - All subjects' visual acuity is normal.	
Viewing distance	50cm, head position not fixed	
Presenting duration	1s or 4s (interval: 1s)	
Back-ground (original) image	Type	24 natural photos
	Mode	8bit gray scale
	Size and Position	2 images (height: 170, width: 236 mm) in 50° visual angle (width: 478mm)
Unevenness target	Shape	Circle, Gaussian luminance distribution.
	Size	1° visual angle of the diameter (151px.)
	polarity of luminance change (color)	- Increment (White) - Decrement (Black)

3.3.1 顕著性解析方法

Table 1に示した仮説を検証するため、ムラ発生位置の顕著性、および、背景画像中で顕著性が高い部分が散在していることを表現できる画像特徴量を定義した。ムラ発生位置の顕著性を表す値には、ムラを含まない画像の、当該位置におけるS値の平均値を用いた。この時S値の平均範囲は、ムラとして階調を変化させる領域の幅を1辺とする正方形範囲におよそ一致する領域にした。領域を完全一致させなかったのは、顕著性マップの解像度が低いため、完全一致させなくても大きく結果が変わらないと考えたためである。顕著性が高い部分が画像内で散在する程度を表す値には、ムラを含まない背景画像

全体のS値の総和と平均偏差を用いた。総和については顕著性マップの性質により高顕著部が散在しているとS値の総和が大きくなるため、平均偏差については高顕著部が散在することをS値のばらつきで表現しようと試みたためである。

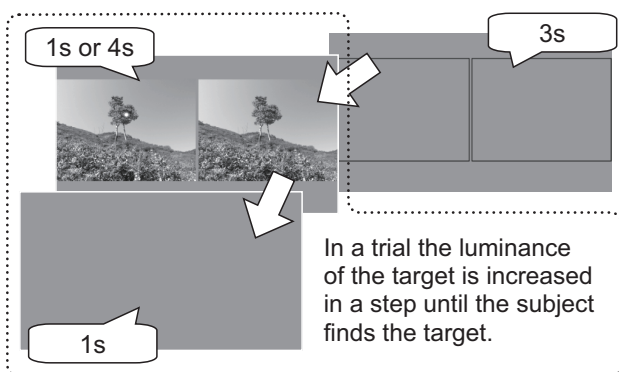


Fig. 2 Time course of a test stimulus presentation.

3. 3. 2 階調分布の空間周波数解析方法

階調分布に対して、背景画像のうちムラが出現する位置に、ムラと同じ空間周波数成分が含まれているか調べることにした。その手順は次の通りである。

ムラを表す空間周波数帯を抽出するための基準画像を作成した。まず、輝度が背景画像より暗くなる“黒ムラ”の場合は背景を全面白 (RGBモードで階調が全て255) にし、輝度が背景画像より明るくなる“白ムラ”の場合は背景を全面黒 (RGBモードで階調が全て0) にした。それぞれの画像中央に、黒ムラの場合はピーク階調が0、白ムラの場合はピーク階調が255になる輝度ムラを描いた。これらを基準画像とした。各呈示画像に対し、黒ムラの空間周波数解析には黒ムラ、白ムラのそれには白ムラの基準画像を用いて、次に説明する計算を行った。

呈示画像に出現する輝度ムラは白・黒ムラ共に、ムラによって階調が変わる範囲が直径151pxであり、これを輝度ムラの1周期長さとした。基準画像で、ムラのピーク位置を中心に、1辺長さが1周期分の正方形範囲を選択して画像を切り取った。切り取った画像に対して2次元フーリエ変換を施しパワースペクトルを得た。ムラの階調分布はガウシアン分布に従うため、パワースペクトルもガウシアン分布に沿った形になる。したがって、今回のムラ形状を表す空間周波数成分は、低空間周波数成分であり、所定の低周波数帯でパワーを積分した値が大きい程、ムラと同じ空間周波数成分が多く含まれていたことを示す。その空間周波数成分を表すパワースペクトルの積分範囲として、DC成分の影響を避けることと、ガウシアン分布に沿って目立ったピークが無いパワースペクトルであることを考慮し、空間周波数が所定値以上の範囲においてパワーが最大値から80%値になるまでの空間周波数帯 Δf を選択した。その所定値を今回は試験的に2.8px/cycleとしたが、この値が適切であるかは未検証であり検討の余地がある。

次に、ムラが描かれていない状態の呈示画像に対して、基準画像と同じ条件で画像を切り取り、階調分布の空間周波数のパワースペクトルを得た。それを Δf の範囲で積分した値をF値とし、F値が大きい程、ムラと同じ空間周波数成分を有していると解釈した。

4 結果

ムラ視認性を示す $\Delta Y/Y$ を被験者間で平均し、各特徴量 (ムラ発生位置のS値、背景画像のS値総和および平均偏差、F値) との相関を調査した。Table 3に各特徴量に対する近似関数と、近似関数を用いて算出した値と実験値との相関係数を示す。S値に関する画像特徴量は、 $\Delta Y/Y$ との相関が無いか弱かった。平均偏差の代わりに標準偏差や分散を用いた場合も計算したが、それらは平均偏差より相関係数が低くなった。F値に対しては、白ムラで呈示時間が1sの場合にばらつきが目立つが、それ以外は $\Delta Y/Y$ との間に相関があった。F値に対する結果をFig. 3に示す。

Table 3 Fitting equation & correlation coefficients. S-value and F-value are calculated in original images without unevenness parts.

Color of unevenness	Duration	Fitting equation (top), Correlation coefficient (bottom)			
		S-value	Sum of S-value	Average deviation of S-value	F-value
White	1s	log, 0.27	log, 0.13	log, 0.07	power, 0.15
Black	1s	log, 0.02	log, 0.32	log, 0.32	power, 0.70
White	4s	log, 0.29	log, 0.21	log, 0.09	power, 0.46
Black	4s	log, 0.05	log, 0.23	log, 0.26	power, 0.75

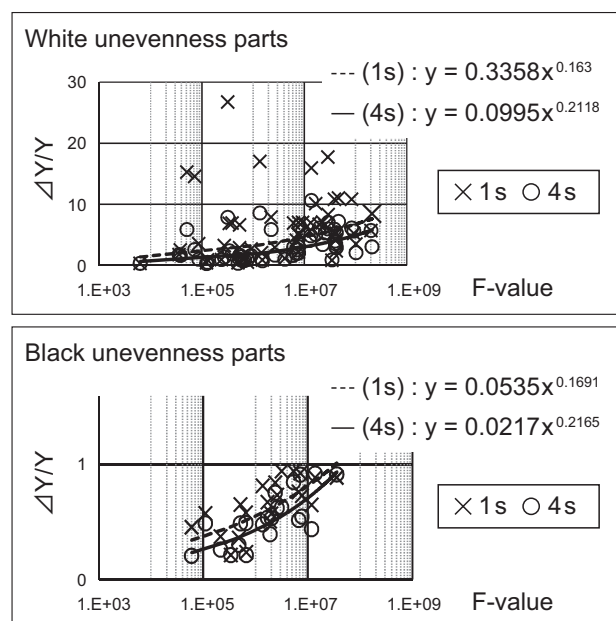


Fig. 3 The correlation between $\Delta Y/Y$ and F-value.

5 考察

$\Delta Y/Y$ とS値との相関が無かった、または弱かった一因には、実験方法に問題があったことが考えられる。今回は被験者が同じ背景画像を合計4回観察することになったため、回を重ねる毎に顕著性の効果が無視できないほど失われた可能性がある。したがって、顕著性については今後、実験方法を変更して再調査する必要がある。F値との相関については、様々な誤差因子を含む自然画像を用いてもこれ程の相関があったことから、背景画像の空間周波数成分はムラの視認性に影響する寄与率が比較的高いと考える。

6 まとめ

濃度ムラを想定した輝度ムラの視認性に対して背景画像の顕著性と階調分布の空間周波数に着目して調べた。輝度ムラの視認性との相関が認められた背景画像の特徴量は、ムラと同じ空間周波成分のパワースペクトルの積分値であった。顕著性については実験方法を改善し再考の余地がある。

●参考文献

- 1) T.Adachi, "Fundamentals of Quality Engineering", Journal of the Imaging Society of Japan, 39, No.2, pp.116-123 (2000) [in Japanese].
- 2) M.Hibino, "Improving Image Quality in the Developing Process", Journal of the Imaging Society of Japan, 54, No.1, pp.47-52 (2015) [in Japanese].
- 3) T.Makita, T.Kutsuma, "Image Processing Design Optimized for High Definition Inkjet Printers Considering Human Visual System" Journal of the Imaging Society of Japan, 41, No.4, pp.358-367 (2002) [in Japanese].
- 4) T.Takaya, T.Iwamatsu, N.Azuma, "The Characteristics of Ghost Mechanism in a Non-Magnetic Single Component Process depends on a diameter of the toner particle", Journal of the Imaging Society of Japan, 38, No.3, pp.166-174 (1999) [in Japanese].
- 5) H.Teranaka, M.Nakayama, "Development of assessment procedure for picture degradation using a saliency map" IECIC technical report, 115, No.68, pp.145-150 (2014) [in Japanese].
- 6) E. Ardizzone, A. Bruno, "Image Quality Assessment by saliency maps", VISAPP 2012, Vol.1, 479-483 (2012)
- 7) H.Takamiya, M.Omodani, Y.Takahashi, "Distributions of the Color Sensitivity in the Human Vision", Journal of the Imaging Society of Japan, 42, No.3, pp.230-236 (2003) [in Japanese].
- 8) M.Wakayama, K.Doman, D.Deguchi, I.Ide, H.Murase, Y.Tamatsu, "Estimation of the Visibility of Pedestrians Using Saliency as Global Features", Information processing Society of Japan, MIRU2011, pp.1597-1603 (2011) [in Japanese].
- 9) K. T. Blackwell, "The effect of white and filtered noise on contrast detection thresholds", Vision Res., Vol.38, No.2, 267-280 (1998)

- 10) L. Itti, C. Koch, E. Niebur, "A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.20, No.11, pp.1254-1259 (1998)
- 11) R. Snowden, P. Thompson, T. Troscianko "Basic Vision", Ch.9, pp.265-291 (2012)
- 12) K.Uchikawa, "Color Vision Mechanism", Asakura Publishing Co., Ltd., pp.116-118 (2004) [in Japanese].

●出典

本稿は日本画像学会Imaging Conference JAPAN 2016論文集137-140を転載したものである。本稿の著作権は日本画像学会が有する。