

## 非交差線分によるハーフトーニング

井上, 光平  
九州大学大学院芸術工学研究院コミュニケーションデザイン科学部門

浦浜, 喜一  
九州大学大学院芸術工学研究院コミュニケーションデザイン科学部門

<https://hdl.handle.net/2324/26352>

---

出版情報：映像情報メディア学会誌. 64 (9), pp.1379-1381, 2010-09. 映像情報メディア学会  
バージョン：  
権利関係：(C) 2010 映像情報メディア学会



# 非交差線分によるハーフトニング

## Halftoning with Noncrossing Line Segments

正会員 井上 光平<sup>†</sup>,浦 浜 喜一<sup>†</sup>Kohei Inoue<sup>†</sup> and Kiichi Urahama<sup>†</sup>

**Abstract** We propose a nonphotorealistic rendering method for generating halftone images with noncrossing line segments. We first compute a shortest Hamiltonian cycle that passes through all points of a stippling and then draw the line segments in the cycle at intervals of one to obtain a halftone image. We also propose a brightness correction method for the halftone image based on a hexagonal lattice approximation of centrodal Voronoi diagrams. Experimental results show that the halftone images obtained by the proposed method can reproduce the true continuous tone of input images.

キーワード：ノンフォトリアリスティックレンダリング, ハーフトニング, TSP アート, 非交差線分, 明度補正

### 1. ま え が き

点描画などの手描きのハーフトーン画像を再現するノンフォトリアリスティックレンダリング技法が提案されている。Secord ら<sup>1)</sup>はストロークなどのプリミティブを確率的に画像上に分布させる方法を提案した。Kaplan ら<sup>2)</sup>は点描画を構成する点を通る最短ハミルトン閉路 (Shortest Hamiltonian Cycle: SHC) を描く TSP アートを提案した。本論文では、線分を交差しないように画像上に配置してハーフトーン画像を生成する方法を提案し、そのハーフトーン画像を、noncrossing line segments の頭文字をとって、NLS と呼ぶことにする。NLS は、点描画の点を線分に拡張したハーフトニングの一表現法と位置付けることができ、すべての点を一つの閉ループでつなぐ TSP アートとも異なる印象のハーフトーン画像が得られる。

本手法では、TSP アートを構成する線分を 1 本おきに描くことによって、交差のない線分の集合を生成する。その際、線分の本数が TSP アートの約半分になるため、NLS のコントラストは TSP アートに比べて低くなる。すなわち、TSP アートを構成する線分を単純に間引くだけでは、良好なハーフトーン画像は得られない。そこで、このような NLS のコントラスト低下を抑えるための明度補正法を提案し、入力画像の再現性の高いハーフトーン画像が得られることを実験で確認する。

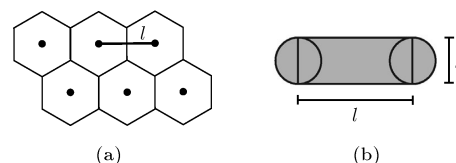


図 1 六角格子 (a) と線分 (b)  
Hexagonal lattice (a) and line segment (b).

### 2. 提 案 手 法

点描画を構成する点を通る最短ハミルトン閉路 (SHC) を求め、SHC を構成する線分を 1 本おきに描くことによって、非交差線分によるハーフトーン画像 (NLS) を生成する。SHC では経路は交差しないので、この NLS でも線分は交差しない。しかし、そのように線分を間引くと、線分の本数は半減し、その結果、NLS のコントラストは SHC のそれよりも低くなってしまふ。そのため、NLS のコントラストの低下を抑える手法が必要になる。ここでは、点描画と NLS の暗度の関係式を求め、それに基づいて NLS の明度を補正する方法を提案する。

点描画では重心ボロノイ図の母点位置に点を描画する。一様な重心ボロノイ図を図 1(a) に示すような六角格子で近似する。点の直径を  $h$  とし、隣接する母点間の距離を  $l$  とすると、点描画の暗度は

$$\rho \approx \pi \left( \frac{h}{2} \right)^2 / \left( \frac{\sqrt{3}}{2} l^2 \right) \quad (1)$$

と表される。一方、NLS の線分を図 1(b) に示すような形で描くとなると、NLS の暗度は

2010 年 3 月 25 日受付, 2010 年 5 月 18 日再受付, 2010 年 7 月 2 日採録  
<sup>†</sup>九州大学 大学院芸術工学研究院 コミュニケーションデザイン科学部門  
 (〒 815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1, TEL 092-553-4512)

<sup>†</sup>Department of Communication Design Science, Faculty of Design,  
 Kyushu University  
 (4-9-1, Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka-shi, 815-8540 Japan)

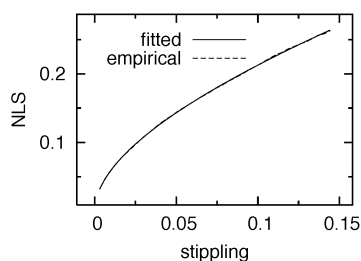


図 2 点描画と NLS の暗度の関係  
Relationships of darkness between stipplings and NLSs.

$$\psi \approx \frac{n}{2} \left[ lh + \pi \left( \frac{h}{2} \right)^2 \right] / \left( n \frac{\sqrt{3}}{2} l^2 \right) \quad (2)$$

と表される． $n$  は点の個数である．これら 2 式より  $h, l$  を消去して

$$\psi(\rho) \approx \alpha\sqrt{\rho} + \beta\rho \quad (3)$$

を得る．ここで  $\alpha = \sqrt{\frac{2}{3\pi}}$ ,  $\beta = \frac{1}{2}$  である．この関数は六角格子近似の誤差のために，実際の  $\psi$  と  $\rho$  の対応関係から少しずれるので，そのずれを最小化するように  $\alpha, \beta$  を調節する．すなわち，実際の  $\psi$  と  $\rho$  の対応関係  $(\rho_k, \psi_k)$ ,  $k = 1, \dots, K$  が得られたとすると，

$$\min_{\alpha, \beta} \sum_{k=1}^K [\psi_k - (\alpha\sqrt{\rho_k} + \beta\rho_k)]^2 \quad (4)$$

を解いて  $\alpha, \beta$  を求める．

次に，上記のようにして求めた暗度の関係式に基づいて，NLS の明度を補正する方法を示す．画素数  $m$  のモノクロ画像を  $f = [f_i]$  とし，第  $i$  画素の階調値を  $f_i \in \{0, \dots, 255\}$ ,  $i = 1, \dots, m$  とし， $f$  の暗度を  $d = [d_i]$ ,  $d_i = 1 - f_i/255$  とする． $\rho$  の最大値，最小値をそれぞれ  $\rho_{\max}$ ,  $\rho_{\min}$  とし， $\psi_{\max} = \psi(\rho_{\max})$ ,  $\psi_{\min} = \psi(\rho_{\min})$  とする．最初に  $d_i$  を  $\hat{\psi}_i = \frac{\psi_{\max} - \psi_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}}(d_i - d_{\min}) + \psi_{\min}$  と線形変換して  $\hat{\psi}_i \in [\psi_{\min}, \psi_{\max}]$  となるようにする． $d_{\max} = \max_i d_i$ ,  $d_{\min} = \min_i d_i$  である．次に  $\hat{\psi}_i$  を

$$\hat{\rho}_i = \left( \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta\hat{\psi}_i}}{2\beta} \right)^2 \quad (5)$$

と非線形変換し ((5) 式は，(3) 式の逆関数である)，得られた  $\hat{\rho} = [\hat{\rho}_i]$  の点描画を求め，点描画を構成する点を通る SHC を求め，SHC を構成する線分を 1 本おきに描いて NLS を得る．

### 3. 実験例

全画素の階調値が一定の画像の点描画と，その点描画から生成した NLS(明度補正を行っていない) の暗度の関係を図 2 に破線で示す．また，それにフィッティングした  $\psi(\rho)$  を実線で示す． $\alpha = 0.56$ ,  $\beta = 0.35$  である．図 3(a),(c) の画像から生成した NLS をそれぞれ同図 (b),(d) に示す．

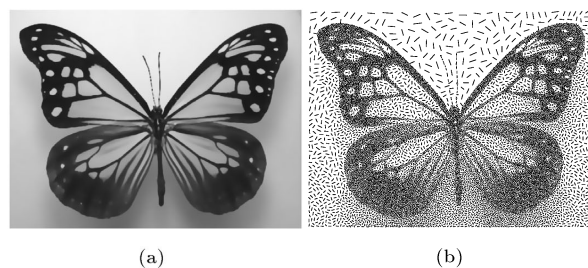


図 3 入力画像 (a),(c) とその NLS(b),(d)  
Input images (a),(b) and their NLSs (b),(d).

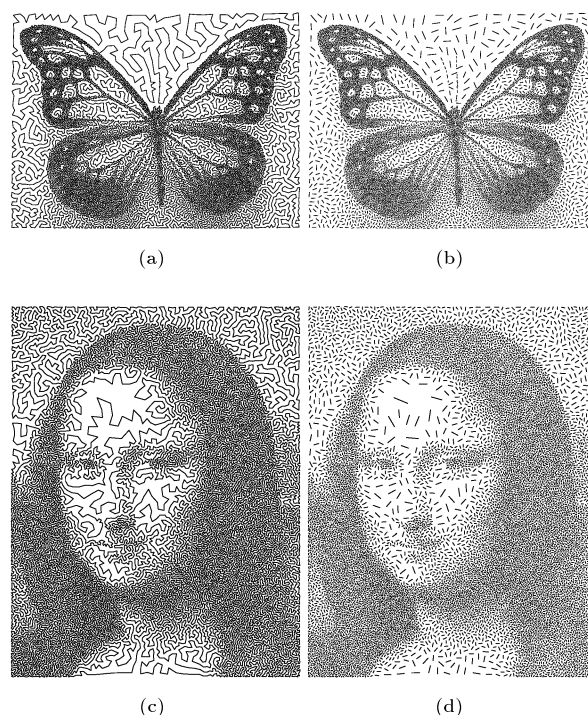


図 4 図 3(a),(c) の画像の TSP アート (a),(c) から線分を間引いた結果 (b),(d)  
TSP arts (a),(c) of Figs. 3 (a),(c) and their thinned line segments (b),(d).

$h = 1$ ,  $\rho_{\min} = 0$ ,  $\rho_{\max} = 0.2$  とした．どちらのハーフトーン画像でも，ランダムな向きの線分の粗密によって入力画像の明暗がうまく再現されているといえる．

比較のために，TSP アートを構成する線分を単純に間引いた結果を図 4 に示す．図 4(a),(c) はそれぞれ図 3(a),(c)

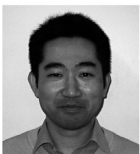
の画像から生成した TSP アートであり、それらから線分を 1 本おきに間引いた結果が図 4(b),(d) である。この例では、TSP アートの明暗が入力画像の明暗に近くなるように補正されているため、そこから線分を間引くと、全体的に明るいハーフトーン画像になり、入力画像の明暗の再現性は低下する。図 3(b) と図 4(b) とを比較すると、例えば、チョウの羽の灰色の模様が、図 4(b) よりも図 3(b) のほうが暗くなっており、図 3(a) の明暗の再現性が高い。また、図 3(d) と図 4(d) とを比較すると、人物の目、鼻、口の陰影が図 4(d) よりも図 3(d) のほうが濃くなっており、図 3(c) の明暗の再現性が高い。

#### 4. む す び

線分を交差しないように画像上に配置してハーフトーン画像を生成する方法を提案し、重心ボロノイ図の六角格子近似に基づく明度補正により、入力画像の再現性を高めた。提案手法により輝度の再現性が向上したが、さらなる再現性の向上が必要である。また、カラー画像への拡張も今後の課題である。

#### 〔文 献〕

- 1) A. Secord, W. Heidrich, and L. Streit: "Fast primitive distribution for illustration," Proc. 13th Eurographics Rendering Workshop, pp. 215-226 (2002)
- 2) C. S. Kaplan and R. Bosch: "TSP art," Proc. Bridges, pp. 303-310 (2005)



いのうえ こうへい  
**井上 光平** 1996 年、九州芸術工科大学画像設計学科卒業。2000 年、同大学大学院博士後期課程修了。現在、九州大学大学院芸術工学研究院助教。パターン認識、画像処理、コンピュータビジョンに関する研究に従事。正会員。



うらはま きいち  
**浦浜 喜一** 1980 年、九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年、同大学助手。1989 年、九州工業大学助教授。現在、九州大学大学院芸術工学研究院教授。パターン認識、画像情報処理の研究に従事。