

Title	Poisson-Disk Sampling を用いた対話的離散エレメントテクスチャ生成
Author(s)	北, 直樹; 宮田, 一乗
Citation	Visual Computing/グラフィクスとCAD合同シンポジウム予稿集, 2012: #27
Issue Date	2012-06-23
Type	Conference Paper
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/12075">http://hdl.handle.net/10119/12075</a>
Rights	北直樹, 宮田一乗, Visual Computing/グラフィクスとCAD合同シンポジウム予稿集, 2012, #27. 本著作物は画像電子学会の許可のもとに掲載するものです。
Description	

# Poisson-Disk Sampling を用いた対話的離散エレメントテクスチャ生成

## -An Interactive generation of Discrete Element Textures using Poisson-Disk Sampling-

北直樹 †

宮田一乗 †

Naoki KITA† and Kazunori MIYATA‡

† 北陸先端科学技術大学院大学 † Japan Advanced Institute of Science and Technology

E-mail: †{naoki-kt,miyata}@jaist.ac.jp

## 1 はじめに

サンプリングはコンピュータグラフィックスの分野の核を成す技術の一つである．特に Poisson-Disk Sampling は Blue Noise 特性を備えており，レンダリングにおけるアンチエイリアシング等に利用されている重要なサンプリング手法の一つである．Poisson-Disk Sampling の一手法である DartThrowing 法では各サンプル点に半径  $r$  の排他領域 (Disk) を設定することで各点は互いに最小  $r$  離れた分布となり，Blue Noise 特性を持った分布を生成できる．このような特性からレンダリング以外にも，例えばオブジェクト分布に利用することでオブジェクトが互いにオーバーラップしないようなテクスチャ等を生成することが可能である．

本稿では，Poisson-Disk 分布を利用することで離散エレメントテクスチャを生成する手法を提案する．通常の Poisson-Disk Sampling では Isotropic な Disk を用いるが，本手法では Isotropic Disk のほかに Anisotropic Disk をサポートすることで，円形状で上手く近似できない場合でも楕円形 Disk で近似することが可能となる．また，Multi-class 分布をサポートすることで，複数エレメントを分布させる際，どのエレメントも視覚的に一様に分布させることが可能となる．また，ユーザが指定した閉領域に離散エレメントを分布させる手法の提案も行う．既存のペイントソフトやイラスト作成ソフトでは任意の領域を離散エレメントで視覚的一様性を保った状態で充填することは手間がかかり困難である．本手法を用いることで容易にこのような充填を生成することができるため，例えば，Web サイトの素材作成や文様・パッケージなどのデザイン，装飾デザインに有効であると考えられる．

## 2 関連研究

Poisson-Disk 分布：DartThrowing を用いて生成されるサンプル点の集合  $\mathcal{S}$  においては，相異なる 2 つの点の点間距離も  $r$  以上である．すなわち，

$$\forall p, q \in \mathcal{S}, p \neq q: |p - q| \geq r \quad (1)$$

しかし，*naïve* な DartThrowing の実装は計算コストが高く，サンプリングの終了条件も明確でないなどの問題点が指摘されている．そこで，これまでにターゲットドメインをグリッド分割し干渉チェックを効率化する手法 [2, 3, 4] や，GPU を利用した手法 [5, 6] など，多くの高速化手法が提案されている．また，多くの Poisson-Disk Sampling 手法が Distance Metric にユークリッド距離を用いているのに対して，Anisotropic な分布を生成するために Distance Metric に Geodesic 距離 (の近似) を用いたサンプリング手法もいくつか提案されている [7, 8]．さらに単一の種類のサンプリングを複数種類のサンプリングに拡張した，Multi-class サンプリング手法も提案されている [9]．Multi-class サンプリングでは，例えば  $\mathcal{C}_i, \mathcal{C}_j, \mathcal{C}_k$  の 3 つのクラスの分布がある場合， $\mathcal{C}_i, \mathcal{C}_j, \mathcal{C}_k$  のそれぞれの単体での分布が Blue Noise 特性を示すと同時に  $\mathcal{C}_i \cup \mathcal{C}_j \cup \mathcal{C}_k$  も Blue Noise 特性を示す．すなわち，どのクラスのエレメントも離散的でありかつ，視覚的に一様に見える分布を生成可能である．

離散エレメントテクスチャ．互いにオーバーラップしないオブジェクト (エレメント) が配置されているテクスチャを離散エレメントテクスチャと呼ぶ．Lagae と Dutré は Poisson-Disk Sampling を用いた離散エレメントテクスチャ生成手法を提案した [1]．しかし，ユークリッド距離による Isotropic な Distance Metric を用いているため，離散エレメントの排他領域は円形状となる．そのため，細長い形状のエレメントを分布させようとすると上手く近似できず，意図しない隙間ができてしまうことが考えられる．また，Ma らは Texture Synthesis を用いて離散エレメントテクスチャを生成する手法を提案した [10]．Texture Synthesis を利用しているため，Exemplar を用意する必要があり，必ずしも容易であるとは言えない．

本提案の寄与．本提案では，Poisson-Disk Sampling を用いて離散エレメントテクスチャを容易に作成するための手法を提案する．Ma らのように Exemplar を必要としないため，手間なく容易に離散エレメントテクスチャを作成することができる．また，Lagae と Dutré らの手法では上手

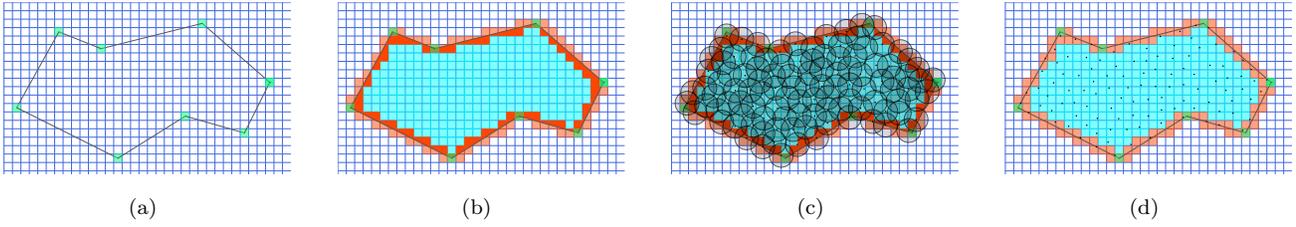


図 1: (a) ユーザ指定閉領域 . (b) line-drawing algorithm & Flood-Fill . (c) サンプリング結果 (w/ Disk) . (d) サンプリング結果 (w/o Disk) .

---

**Algorithm 1**  $\mathcal{O} \leftarrow \text{ElementDistribution}(\mathcal{G}^0, \mathcal{P}, \mathbf{x})$

---

```

1: //  $\mathcal{O}$  : output distribution
2: foreach edge of  $\mathcal{P}$ 
3:    $\mathcal{G}^{0'}$   $\leftarrow$  check intersection between  $\mathcal{G}^0$  and edge
4: end
5:  $\mathcal{G}^{0''}$   $\leftarrow$  Flood-Fill( $\mathcal{G}^{0'}$ ,  $\mathbf{x}$ )
6:  $\mathcal{O} \leftarrow$  Poisson-DiskDistribution( $\mathcal{G}^{0''}$ )
7: return  $\mathcal{O}$ 

```

---

く近似ができない細長い形状のエLEMENTにも対応するため、Anisotropic サンプリングで用いられている Distance Metric を取り入れる。さらに Multi-class サンプリングにも対応する。これらに対応することで、より汎用的に様々なELEMENTを分布させることが可能となる。また矩形ドメインだけでなくユーザが指定した閉領域への分布も考慮したアルゴリズムを構築することで、応用の幅が一層広がることを期待される。本提案を統合的に実装したアプリケーションを開発中であるが、このようなアプリケーションによって、誰もが容易に離散ELEMENTテクスチャを作成することができる。本アプリケーションは例えば、Web サイトの素材作成や文様・パッケージなどのデザイン、装飾デザインに有効であると考える。

### 3 アルゴリズム

本手法では効率的な計算を行うため、サンプリング対象ドメイン  $\Omega$  をグリッドに分割する。グリッドの各セルが多くのサンプル点を保持するよう、一辺が  $r/\sqrt{2}$  のグリッド  $\mathcal{G}^0$  を用いる。ここで  $r$  は Disk の半径である。ア

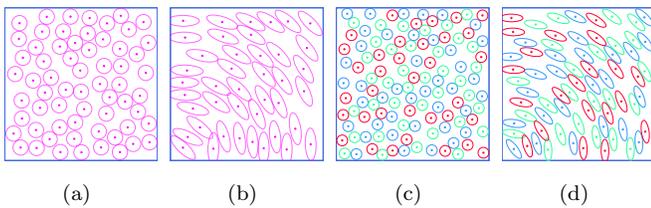


図 2: (a) Isotropic . (b) Anisotropic (whirl). (c) Isotropic Multi-class. (d) Anisotropic Multi-class (whirl) .

ルゴリズムは Algorithm 1 の通りである。ユーザ指定の閉領域にELEMENTを分布させるため、システムがバックグラウンドで生成するグリッド  $\mathcal{G}^0$ 、ユーザが矩形あるいはポリゴン領域指定ツールを用いて作成するポリゴン  $\mathcal{P}$ 、そして”塗りつぶし”の要領でELEMENTを分布するため、その起点としてマウスクリックされた位置  $\mathbf{x}$  を入力とする。以下、ポリゴン  $\mathcal{P}$  からドメイン  $\Omega$  を生成する方法、Poisson-Disk 分布を生成する方法について説明する。

#### 3.1 サンプリングドメイン

サンプリング対象となるドメイン  $\Omega$  はユーザがツールを利用して矩形やポリゴンなどとして指定する。矩形はポリゴンの特殊な場合とし、以下では一般化して矩形あるいは任意のポリゴン形状を  $\mathcal{P}$  とする。まず、 $\mathcal{P}$  を構成する各エッジが  $\mathcal{G}^0$  のどのセル上にあるのかを特定するため、line-drawing algorithm をピクセルではなく、 $\mathcal{G}^0$  ベースで用いる。これらの操作によって求められる  $\Omega$  の境界上のセルを境界セルと呼ぶことにする。そして  $\mathbf{x}$  を起点として Flood-Fill を行う。この操作によって求められる  $\Omega$  内部のセルを内部セルと呼ぶことにする。点分布はこれらのセルに対して行う。

#### 3.2 サンプリングアルゴリズム

本手法では、Ebeida らの手法 [4] をベースに Distance Metric と近隣のサンプル点との干渉チェックに対して変更を加え、より汎用的なサンプリング手法を構築する。Ebeida らの手法は 2 つのステップからなる。まず、グリッド  $\mathcal{G}^0$  で Active List を初期化する。Active List  $\mathcal{C}^i$  はサンプルを保持可能なセルのリストである。ステップ 1 で Active List からランダムにセルを選択し、干渉チェックを行い、アクセプト可能であればサンプル点としてアクセプトする。さもなければ、選択中のセルをリストから除外する。指定回数試行を行い、ステップ 2 に以降する。ステップ 2 では、Active List の各セルを 4 つのサブセルに分割し、近隣のアクセプト済みのサンプル点と干渉チェックを行い、依然としてア

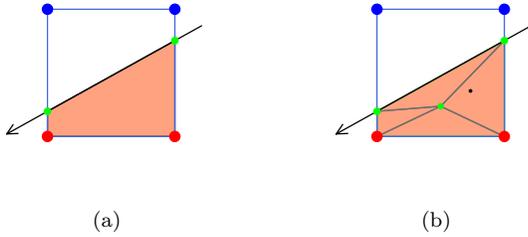


図 3: (a) 境界セル . (b) ポリゴン領域のサンプリング .

クセプト可能なセルで Active List を更新する . 再びステップ 1 に戻り , この過程を繰り返す .

本手法は Ebeida らと異なり , 任意のユーザ指定領域のみサンプリング対象とするため , ユーザが閉領域を指定した際に  $g^0$  との交差を計算し境界セルと内部セルを求めた . これらのセルで Active List を初期化する . そして , 我々の場合は下記項目を考慮する必要がある :

- 境界セルのサンプリングはセル  $C_c^i$  のエッジと  $P$  とで形成されるポリゴン領域  $P_c^i$  となる .
- Isotropic な場合だけでなく Anisotropic, Multi-class を考慮した Distance Metric , そして
- 近隣との干渉チェックの方法

以下では , これらの項目について詳述する .

境界セルのサンプリング . 内部セルと異なり , 境界セルのサンプリングの場合は , グリッドセル  $C_c^i$  と  $P$  とで形成されるポリゴン領域がサンプリング対象領域となる . ここで ,  $P$  の各エッジにおいて始点から終点の向きに対してその左側の半平面と  $C_c^i$  のエッジとで構成されるポリゴン領域  $P_c^i$  をサンプリング対象とする . まず ,  $P_c^i$  の中心に新たに頂点を追加し ,  $P_c^i$  を三角形分割する . そして , 三角形の大きさを考慮して確率的にその内の 1 つを選択し , 文献 [11] の手法を用いて三角形領域にサンプル点を生成する .

Distance Metrics . 文献 [4] では Isotropic な分布のみを対象としているため Disk 形状は半径  $r$  の円形状であり , Distance Metric にはユークリッド距離を用いている . 本手法では Anisotropic な分布に Li らの手法 [8] を利用しており , 干渉チェック等には Jacobian  $J(\cdot)$  の計算を行う . また , Multi-class [9] の場合は r-Matrix( $\hat{r}$ ) を用いる .

2 点  $s_1$  と  $s_2$  の Distance Metric は , Isotropic な場合と Multi-class , Anisotropic な場合に分けて , 干渉チェックは以下のように行う :

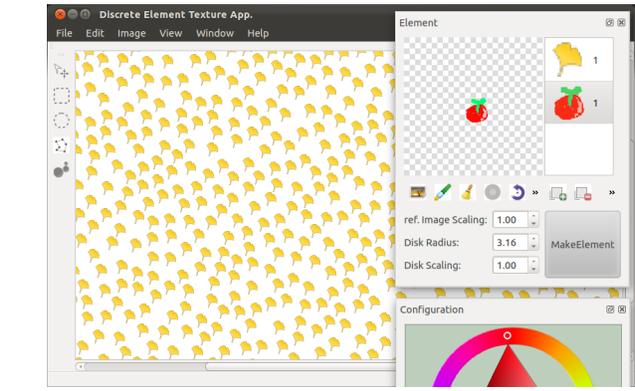


図 4: プロトタイプアプリケーション

$$conflicted \leftarrow \begin{cases} |s_2 - s_1| < r, & \text{Isotropic} \\ |s_2 - s_1| < \hat{r}(s_1, s_2), & \text{Multi-class} \\ d(s_1, s_2) < 1 \parallel d(s_2, s_1) < 1, & \text{Anisotropic} \end{cases} \quad (2)$$

ここで ,

$$d(s_1, s_2) = \sqrt{(J(s_1)(s_2 - s_1))^T (J(s_1)(s_2 - s_1))} \quad (3)$$

干渉チェック . 干渉チェックは Disk の Axis-Aligned Bounding Box(AABB) を計算し , AABB と交差するセルをチェックすべきセルとし , それらに対して行う . さらに Multi-class の場合は r-Matrix を用いてユークリッド距離を計算することで Isotropic な分布 ,  $J(\cdot)$  を組み合わせることで Anisotropic な分布を生成することができる . このような Anisotropic Multi-Class 分布はそれぞれの分布の素直な組み合わせにすぎないが , 著者の知る限りこれまでに報告されていない . しかしながらこのような分布は離散エレメントテクスチャ生成のみならず , 分布を扱う上で強力なツールに成り得ると考える .

## 4 結果

プロトタイプアプリケーション . アプリケーションのユーザインターフェースとして Figure 4 に示すプロトタイプを作成した . 本アプリケーションは領域内へのエレメントの分布に特化しており , ユーザは次のような手順でテクスチャ生成を行う : (1) 背景画像を新規に作成するか参照画像を読み込む . (2) Element 作成 Widget(図中右上) で分布させるエレメントを新規に作成するか参照画像を読み込む . (3) エレメントに Disk 領域の設定を行う . Disk 領域は Isotropic な場合は円形状の Disk , Anisotropic な場合には楕円形状の Disk を設定する . そして (4) ユーザはエレメ

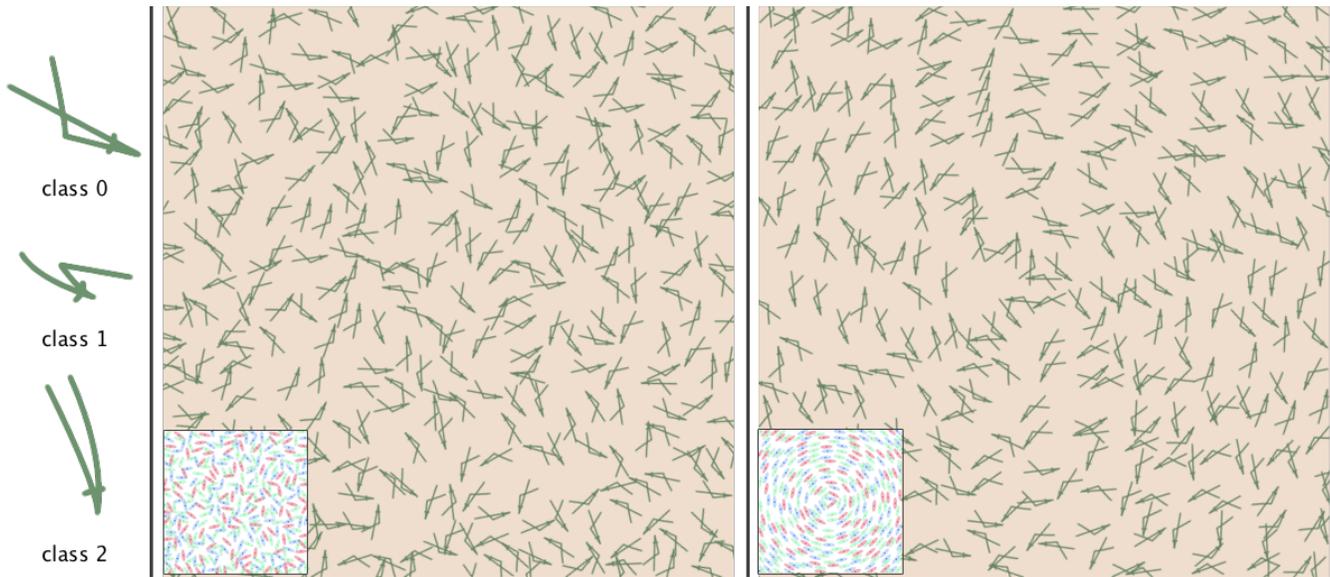


図 5: 離散エレメントテクスチャ生成例．松葉エレメントの Anisotropic Multi-class 分布．

Type	domain size	time [ms]	#accepted	#total trials	element fill-rates		
Matsuba Random	512x512	38.08	332	24482	$c_0 = 0.301205$	$c_1 = 0.298193$	$c_2 = 0.400602$
Matsuba Whirl	512x512	59.753	297	24482	$c_0 = 0.282828$	$c_1 = 0.306397$	$c_2 = 0.410774$

表 1: 図 6 のパラメータ設定．

ントを分布させたい領域を矩形 / ポリゴン領域指定ツール等を用いて指定し, "塗りつぶし"の要領でエレメントを分布させる. Multi-Class の場合は複数のエレメントを選択しておく. またユーザは分布させたエレメントに対して, マウスドラッグで移動させたり, 参照画像を変更したりといった編集が可能である. 現在は開発途上であるが, 大量の要素の編集に特化した機能等を模索していく必要がある.

離散エレメントテクスチャ生成. 図 5 と図 6 に離散エレメントテクスチャ生成例を示す. 図 5 では, 松葉をエレメントとして, 3つの入力画像を各クラスとして, 楕円形の排他領域を設定し分布させたものである. 図 5 左のテクスチャはランダムな方向に回転させて生成したもので, 図 5 右のテクスチャは渦を巻くようなかたちで配置されるようにしたものである. これらの生成結果を得るために用いたパラメータを表 1 に示す.

## 5 まとめと今後の課題

本稿では, 離散エレメント分布によるテクスチャ生成手法を提案した. Poisson-Disk Sampling を用いることでオブジェクト (エレメント) を離散的に分布させることが可能となった. 既存手法では Isotropic Disk を用いていたために円形状で上手く近似できないエレメントの場合に対応するために, 本手法では Anisotropic Disk を用いることで楕

円形状で近似可能にした. また, 単一の種類のエレメントの分布だけでなく, 複数種類のエレメントの分布に対応するため, Multi-class 分布も可能にした.

今後は, 提案手法をユーザが使いやすいようにアプリケーション UI を作り込み, 編集機能等の拡充をはかるとともに, アプリケーションを配布して実際にユーザに使用してもらい評価を行う予定である.

## 参考文献

- [1] Lagae, A., and Dutré, P., A procedural object distribution function. *ACM Transactions on Graphics*, vol. 24, no. 4, pp. 1442-1461, 2005.
- [2] Bridson, R., Fast poisson disk sampling in arbitrary dimensions. In *ACM SIGGRAPH 2007 Sketches & Applications*, 2007.
- [3] White, K., Cline, D., and Egbert, P., Poisson disk point sets by hierarchical dart throwing. In *Symposium on Interactive Ray Tracing*, 129-132, 2007.
- [4] Ebeida, M. S., Mitchell, S. A., Patnery, A., Davidson, A. A., and Owens, J. D., "A simple algorithm for maximal Poisson-disk sampling in high dimen-

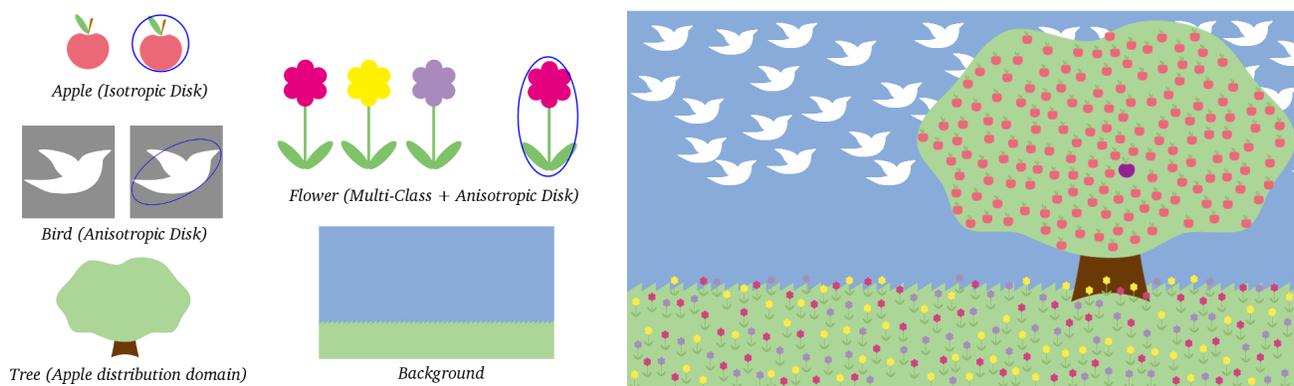


図 6: 離散エレメントテクスチャ生成例．ユーザは参照画像に排他領域 (Disk) を設定し，エレメントを分布させるドメインを選択することでオブジェクトをちりばめたテクスチャを作成することができる．

sions”, *Computer Graphics Forum, Proc. Eurographics*, vol.31, no.2, 2012. To Appear.

- [5] Wei, L.-Y., Parallel Poisson disk sampling. In *ACM SIGGRAPH 2008 papers*, ACM SIGGRAPH '08, 20:1-20:9, 2008.
- [6] Ebeida, M. S., Patnery, A., Mitchell, S. A., Davidson, A., Knupp P. M., Owens J. D., Efficient maximal Poisson-disk sampling. In *ACM SIGGRAPH 2011 papers*, ACM SIGGRAPH '11, 49:1-49:12, 2011.
- [7] Feng, L., Hotz, I., Hamann, B., and Joy, K., Anisotropic noise samples. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol.14, no.2, pp.342-354, 2008.
- [8] Li, H., Wei, L.-Y., Sander, P. V., and Fu, C.-W., “Anisotropic blue noise sampling”, In *ACM SIGGRAPH Asia 2010 papers*, ACM, SIGGRAPH ASIA '10, 167:1-167:12, 2010.
- [9] Wei, L.-Y., “Multi-class blue noise sampling”, In *ACM SIGGRAPH 2010 papers*, ACM, SIGGRAPH '10, 79:1-79:8, 2010.
- [10] Ma, C., Wei, L.-Y., and Tong, X., “Discrete element textures”, In *ACM SIGGRAPH 2011 papers*, ACM, SIGGRAPH '11, 62:1-62:10, 2011.
- [11] Turk. G., Generating random points in triangles. In *Graphics Gems*, A. Glassner, Ed. Academic Press, July, ch. 5, 24-28. 1993.