四角に切れの問題の自動生成への長方形ボロノイ分割の応用

藤澤 祐海 †　　岩田 一貴 †

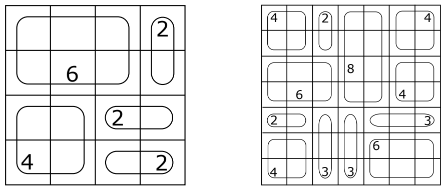
† 広島市立大学 情報科学部 知能工学科

1　はじめに

四角に切れ [1] は長方形の盤面を長方形のピースで敷き詰めるパズルである．図 1(a) の例のように，各ピースはマス目に示された数字を 1 つだけ含み，面積がその数字と等しくなるようにする．ただし，ピースの面積は必ず 2 以上である．パズルの問題を自動で生成することを考えたとき，盤面の左上から右下へ向かって，ランダムに生成したピースを順に敷き詰める方法がまず思い浮かぶ．しかし，この方法には左上に大きい面積のピースが多くなり，右下に小さい面積のピースが多くなる傾向があるという欠点があり，うまく生成できないことが多い．本論文では，この欠点を解消するために，盤面を長方形ボロノイ分割 [2] して得られる長方形をピースとする問題の自動生成の方法を提案する．

2　問題の自動生成

■有限行列式点過程に従う母点　盤面の縦のマス目の数を m，横のマス目の数を n とする．盤面の左上から右下へ向かって各マス目に 1 から mn の番号を振る．ボロノイ分割の母点の番号の集合を L アンサンブル（L-ensambles）[3] によって生成する．母点の集合の生成に行列式点過程を用いることにより，母点間の距離と集合の要素数を確率的に制御することができる．尤度カーネル行列を L と表記し，その (i, j) 要素を $L_{ij} = b/(aD_{ij} + b)$ と定義する．ここで，$i, j \in \{1, \ldots, nm\}$，$a$ は正の定数，b は定数，D_{ij} は i 番のマスと j 番のマスの間のユークリッド距離である．例えば，$m = n = 2$ のとき，$D_{11} = 0$，$D_{12} = D_{13} = 1$，$D_{14} = \sqrt{2}$ である．行列 L は対称な半正定値であるから，カーネル行列 $I - (L + I)^{-1}$ で定まる有限行列式点過程 $\mathcal{P}$ は存在する [3]．なお，I は単位行列である．$\mathcal{P}$ に従う番号の集合で定まる母点の集合に基づいて盤面の長方形ボロノイ分割を求める．ただし，文献 [2] のアルゴリズムは平面 $\mathbb{R}^2$ の有限領域に対するアルゴリズムであるから，そのままでは盤面の分割には使えず，敷き詰めも保証されない．本論文では，盤面のような離散領域に対しても使えるようにアルゴリズムを変更し，さらに長方形が盤面を敷き詰めるように拡張した．



(a) ピース（丸長方形）による敷き詰め　　(b) 提案手法により生成された問題と答え

図 1　四角に切れ問題の盤面．

■実験　提案手法によって生成された 7×7 の盤面（$m = n = 7$）の問題を図 1(b) に示す．定数 a, b は $a = 1$, $b = 4$ とした．各ピースの面積の数字の位置は答えが難しくなるように適当に定めた．盤面の左上に大きい面積のピースが多い，または右下に小さい面積のピースが多いという傾向はないことがわかる．

3　まとめ

有限行列式点過程と長方形ボロノイ分割を用いて，四角に切れの問題を自動生成する方法を提案した．

参考文献

[1] 安福良直, “四角に切れコレクション,” 株式会社ニコリ, 東京, 2022.

[2] S. Choi and C. Kyung, “A floorplanning algorithm using rectangular Voronoi diagram and force-directed block shaping,” *Proc. IEEE Int. Conf. CAD*, pp. 56–59, 1991.

[3] A. Kulesza and B. Taskar, “Determinantal Point Processes for Machine Learning,” *Foundations and Trends in Machine Learning*, v. 5, n. 2–3, pp. 123–286, 2012.