

注視点計測を用いた画像から自己相似構造の抽出

古賤 友規[†] 櫻井 大督[‡] 吳 湘筠[‡] 高橋 成雄[‡]

東京大学大学院情報理工学系研究科[†]

東京大学大学院新領域創成科学研究科[‡]

1 背景と目的

画像が自己相似構造をもつかどうかを判別することは、その画像を模倣作成する際に潜在する特徴を理解する上で重要である。一般的に明確に定義された自己相似構造を内在する画像を作成することは容易であるが、対応する自己相似構造を画像から抽出することは、自己相似構造を明示的に判別するアルゴリズムがないこともあり困難であった。

一方、人が自己相似構造が内在する画像を注視する際に、その画像における自己相似構造を発見できる場合がある。本研究では人が画像を注視する際に得られる視線停留時間分布を解析することで、画像に内在する自己相似構造を抽出する新たな手法を示す。

本研究では自己相似構造を内包するとされるドラゴン曲線を例にとり、注視点計測結果を解析し、フラクタル構造がどれだけ空間を満たしているかの指標であるフラクタル次元の値が結果にどのように現れるか調べる。また、ドラゴン曲線においてフラクタル次元が高いほど自己相似性がよく見てとれるため、フラクタル次元の差に対する結果をもとに一般の画像に自己相似性が内在するかも検討していく。

2 関連研究

Jiang ら[1,2]は地理的空間における道路の長さや道路によって分けられたブロックの大きさの数量分布を解析することで地理空間に heavy tailed distribution という裾の重い分布が存在することを示した。さらにその研究において自己相似構造には何らかの heavy tailed distribution 性が存在することをもとに border number モデルという新しいモデルを作成することで地理的空間における自己相似構造を示している。

Extracting Image Self-similarity through Eye Movement Analysis

[†]Tomonori Kozai, [‡]Daisuke Sakurai, [‡]Hsiang-Yun Wu, [‡]Shigeo Takahashi

[†]Grad. School of Information Science and Technology, The Univ. of Tokyo

[‡]Grad. School of Frontier Science, The Univ. of Tokyo

3 提案手法

一般に人が自己相似構造を内包する画像を見る際には同様の構造の箇所を連続的に視線を巡らすことがあるため、自己相似構造を含まない画像を見るときに比べ、注視点が分散すると仮定される。本手法では、注視点の集中度合を測定するために、注視点をもとに領域分割を行い、領域内の単位面積当たりの注視時間を計算する。

画像上の特定の箇所に視線が特に集中した場合の単位面積当たりの注視時間の値の分布は、値の大きい領域数が少なく値の小さい領域数が多くなる。このように値が大きいものの割合が非常に少なくなる分布は Jiang らの研究でみられた heavy tailed distribution と性質が一致する。

本手法では、図 1 のような自己相似構造を含む画像において、フラクタル次元が小さいほど heavy tailed distribution 性がみられることを示す。そして、その結果をもとに、図 2 のような一般的な画像の自己相似構造について評価を行う。

3.1 領域分割

はじめに、得られたそれぞれの注視点が占める範囲を近似するために、ボロノイ分割を用い

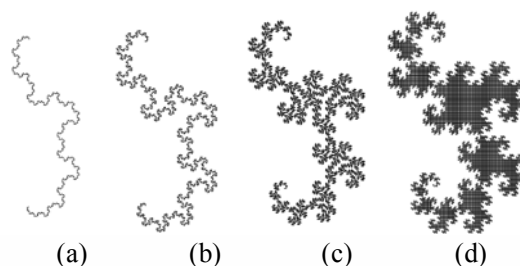


図 1 ドラゴン曲線. それぞれのフラクタル次元は(a)1.25, (b)1.50, (c)1.75, (d)2.00

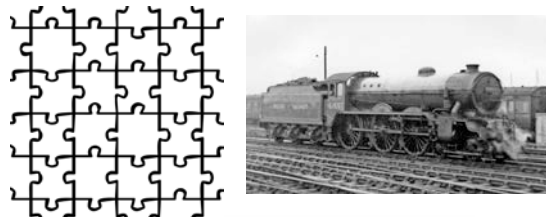


図 2 実験時使用した画像.
左：パズル模様，右：SL

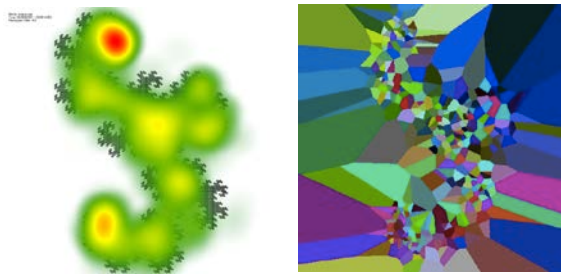


図3 図1(d)注視点に対するボロノイ分割
左：注視点の heatmap, 右：ボロノイ分割

て領域分割を行う。ボロノイ分割を適用する際の母点をそれぞれの注視点とすると、各領域に注視点が一つのみ含まれるため、それぞれの注視点に対応している画像中の範囲を近似することができる。図3左は得られた視線停留時間分布を heatmap 表示したもので、図3右は図1(d)のドラゴン曲線を見る際の注視点に、ボロノイ分割を施した結果である。

3.2 各領域の値の計算

ボロノイ分割によって分けられたそれぞれの領域において、各注視点に集まる時間分布を領域に集まる視線停留時間分布とし、単位面積当たりの値を計算する。視線停留時間分布が heavy tailed distribution であることを判断するためにそれぞれの領域の値の平均をとり、平均以上の値の領域数と平均以下の領域数の割合を比較する。

4 実験と結果

注視点計測実験にはアイトラッキングシステムを使用する。本実験で使用した器具は Tobii X120 アイトラッカーである。図1, 2の6枚の画像をに被験者に見せることで視線停留分布を得る。見せる順番はランダムにし、各画像それぞれに8人分の視線停留時間分布データを得た。

図1は、自己相似構造を内包するとされるドラゴン曲線で、フラクタル次元の違いによる結果の差異を測定するためにフラクタル次元が1.25, 1.50, 1.75, 2.00となる4つの画像を用意した。図2は一般に自己相似構造が内在するか明確に判明していない画像例であり、パズル模様とSLの画像を被験者に見せた際の視線を計測する。

各領域における面積当たりの注視時間の平均を基準に、領域数の割合を計測した結果が表1である。表1においてフラクタル次元が(c)1.75や(d)2.0のように大きい場合にはあまり差異はないが(b)1.50, (a)1.25と小さくした場合に平均以上の領域数が大きく減少している。これはフラクタル次元が大きい場合には自己相似構造を目

表1 注視時間分布の平均に対する領域数の割合

画像の種類	平均以上の領域の割合[%]	平均以下の領域の割合[%]
ドラゴン曲線(a)	13.1	86.9
ドラゴン曲線(b)	24.5	75.5
ドラゴン曲線(c)	27.6	72.4
ドラゴン曲線(d)	27.4	72.6
パズル模様	26.5	73.5
SL	22.1	77.9

で追うことが多くなり結果注視点分散するという仮定に合致している。

またその結果を踏まえるとパズル模様画像では平均以上の領域数の割合が多く、何らかの自己相似性が内在しているといえる。一方SL画像では平均以上の値の領域数の割合はドラゴン曲線のフラクタル次元が高いものと比べて低い結果となった。これによりSL画像内には自己相似構造が内在しない、もしくは局所的な箇所のみ存在し、全体像を見た場合には現れていないと判断することができる。

5 結論と今後の課題

本手法により注視点計測を利用し得られた視線停留分布における heavy tailed distribution 性を調べることで画像に自己相似構造が内在する場合に平均以上の値の領域の割合が大きくなるという性質を知ることができ、さらに他の画像の自己相似構造を調べることに適用することができた。今後の課題として他のフラクタル画像についてもフラクタル次元と heavy tailed distribution 性の関係を調べることで本手法が正当であるか詳しく検証するとともに、自己相似構造が画像に含まれている場合に画像内のどの部分が自己相似となっているかを特定する手法を検討する。

謝辞 本研究の一部は、科研費基盤研究(B)24300033の助成により実施された。

参考文献

- [1] B. Jiang and X. Liu. Scaling of Geographic Space from the Perspective of City and Field Blocks and Using Volunteered Geographic Information. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 26, No. 2, pp. 215–229, 2012.
- [2] B. Jiang, X. Liu, and T. Jia. Scaling of Geographic Space as a Universal Rule for Map Generalization. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 103, No. 4, pp. 844–855, 2013.