

## 陰陽格子法を用いた全天周顕著性マップ生成手法

岡崎, 大暉  
九州大学大学院芸術工学研究院

原, 健二  
九州大学大学院芸術工学研究院

井上, 光平  
九州大学大学院芸術工学研究院

浦浜, 喜一  
九州大学大学院芸術工学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/1935648>

---

出版情報 : The transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers. A. J101-A (5), pp.105-109, 2018-05-01. The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers

バージョン :

権利関係 : (c) 一般社団法人電子情報通信学会 2018

THE IEICE TRANSACTIONS ON FUNDAMENTALS OF ELECTRONICS, COMMUNICATIONS AND COMPUTER SCIENCES (JAPANESE EDITION)

**IEICE** | **電子情報通信学会**  
**A** | **論文誌** 基礎・境界

VOL. J101-A NO. 5  
MAY 2018

本PDFの扱いは、電子情報通信学会著作権規定に従うこと。  
なお、本PDFは研究教育目的（非営利）に限り、著者が第三者に直接配布することができる。著者以外からの配布は禁じられている。

**基礎・境界ソサイエティ**

一般社団法人 **電子情報通信学会**

THE ENGINEERING SCIENCES SOCIETY

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

## 陰陽格子法を用いた全天周顕著性マップ生成手法

岡崎 大暉<sup>†a)</sup>                      原 健二<sup>†</sup> (正員)  
井上 光平<sup>†</sup> (正員)                浦浜 喜一<sup>†</sup> (正員)

Omni-directional Saliency Map Generation Using Yin-Yang Grid Method

Daiki OKAZAKI<sup>†a)</sup>, *Nonmember*, Kenji HARA<sup>†</sup>,  
Kohei INOUE<sup>†</sup>, and Kiichi URAHAMA<sup>†</sup>, *Members*

<sup>†</sup>九州大学大学院芸術工学研究院, 福岡市

Department of Communication Design Science, Kyushu University, 4-9-1 Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka-shi, 815-8540 Japan

a) E-mail: 2DS17097P@s.kyushu-u.ac.jp

あらまし 本論文では、二つの緯度経度格子からなる重合格子を用いて、既存の顕著性マップ生成手法を全天周画像にも適用できるように拡張する。実際の全天周画像を用いた実験を行い、提案手法の有効性を示す。

キーワード 顕著性マップ, 全天周画像, 陰陽格子

### 1. まえがき

顕著性マップは、静止画像やビデオ画像から人の興味を引く領域や物体領域を抽出するために画素ごとに顕著性を評価したものである。顕著性マップ生成は、視線解析、物体検出、ロボットビジョンなど様々な分野に応用できるため、盛んに研究が行われてきている [1]~[6]。本報告では、全天周画像の顕著性マップを推定する問題を扱う。これまで顕著性マップ生成手法が多数提案されているが、これらの手法の多くは解像度が空間的に均一な通常視野角の画像を対象としており、周囲 360 度の広範囲の輝度情報を 1 枚に収めた全天周画像のように解像度が空間的に不均一な広視野角画像にそのまま用いることは適切ではない。また、全天周画像の特異点である極や極付近では、通常の画像処理の計算が不可能または不安定になる極問題もある。更に、ヒトの目の視野角は 200 度程度しかなく、360 度の全天周画像を用いた視線計測による学習データの収集は難しい。そのため、全天周画像を対象とする場合、deep learning などの学習アプローチは困難である。

本報告では、通常の狭視野画像を対象とする既存の顕著性マップ生成手法を全天周画像にも適用できるように拡張する。提案手法では、全天周画像における解像度不均一性と極問題に対応するために、二つの緯度経度格子からなる重合格子 [7] を用いて、全天周画像から幾何ひずみが少なく解像度が空間的に均一な 2 枚

の矩形平面画像を生成する。本手法の利点は、任意の顕著性マップ生成手法の既存コードを修正することなくそのまま再利用できる点である。提案手法を実際の全天周画像に適用し、その有効性を示す。

### 2. 関連手法

これまで多くの顕著マップ生成手法が報告されている。例えば、Itti らの特徴理論に基づく顕著性マップの計算モデル [2] に始まり、近年提案されている学習ベースのアプローチによるモデル [3] に至るまで数多くの手法が存在する [4]~[6]。しかし、これらの手法を全天周画像に直接適用すると、全天周画像の解像度不均一性と極問題のため正確な顕著性マップを生成することができない。

これらの手法に対し、Bogdanova らの顕著性マップ生成手法 [8] は、Itti らの手法 [2] を全天周画像に自然に拡張したもので、幾何ひずみのない球面上での処理のため、正確な顕著性マップの生成が可能である。しかし、彼らの手法は球面上での処理のため計算が複雑で、推定精度も Itti らの手法と同程度にとどまる。提案手法は、全天周画像の解像度不均一性と極問題に対応しつつ、既存手法を再利用して顕著性マップを容易に生成できるという利点をもっている。

### 3. 提案手法

周囲 360 度全方位を撮影して得られた全天周輝度データから顕著性マップを生成する手法の詳細について述べる。図 1 に提案手法の手順を示す。以下では図 1(a) のように、球面座標系への座標変換により得られた  $\theta \in [0, \pi]$ ,  $\phi \in [0, 2\pi]$  の矩形画像 (以下、全天周画像) を取り扱う。ただし、画像サイズは  $1024 \times 1024$  で表示している。

#### 3.1 陰陽格子

提案手法では、Kageyama ら [7] の陰陽格子 (Yin-Yang grid) を用いる。陰陽格子は近年、地球科学分野において、地球が球面状であることから生じる極問題の解決策の一つとして考案されたもので、緯度経度格子の低緯度領域からなる陰格子 (Yin-grid) と、陰格子を高緯度領域を覆うように回転させた陽格子 (Yang-grid) の二つの格子に、球面を一部重複を許して分割した重合格子である (図 2)。この陰陽格子を全天周パノラマ画像処理に用いることにより、地球科学の分野と同様、極問題を回避する。図 1(b) に図 1(a) の陰格子に対応する陰格子画像 (図 1(b) 上) と陽格子に対応する陽格子画像 (図 1(b) 下) を示す。この 2 枚の画像は幾何ひずみが補正された矩形画像であるた

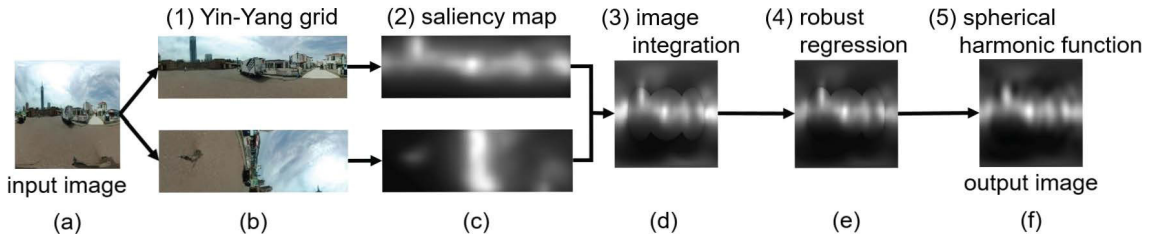


図1 提案手法の手順

Fig.1 Flow of our method.

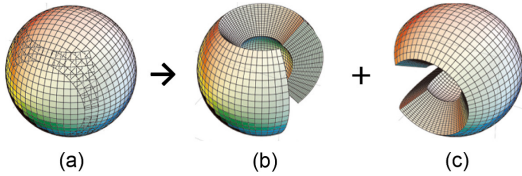


図2 陰陽格子. (a) 陰陽格子, (b) 陰格子, (c) 陽格子 ([7])

Fig.2 Yin-Yang grid. (a) Yin-Yang grid, (b) Yin-grid, (c) Yang-grid. ([7])

め、既存の顕著性マップ生成手法がそのまま適用できる (図1(c)).

### 3.2 重複領域に基づく顕著度補正

陰格子画像と陽格子画像の顕著性マップの重複領域をもとに、イメージスティッチング (image stitching) を行う。まず、各格子画像の顕著性マップを各格子の座標系からパノラマ画像の座標系の表現に戻して統合する。このとき、重複領域には、陽格子画像の顕著性マップの画素値を用いている。統合後の結果を図1(d)に示す。次に、陽格子画像の顕著度レベルを陰格子画像に合わせるために、陰格子画像の座標系に合わせたときの対応する重複領域の画素値をもとにロバスト回帰を行う。提案手法では、L1 ノルムでトーンマッピング関数を推定する最適化モデルを次式のように定式化する。

$$\begin{aligned} \min_{p_1, p_2} & \| \mathbf{x}_1 - p_1 \mathbf{x}_2 - p_2 \mathbf{1} \|_1 \\ \text{s.t.} & \quad p_1 > 0, 0 \leq p_2 \leq T \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{x}_1 \in \mathbb{R}^N$  は陰格子画像の重複領域の画素値のベクトル、 $\mathbf{x}_2 \in \mathbb{R}^N$  は陽格子画像の重複領域の画素値のベクトル、 $\mathbf{1}$  は要素が全て1の  $N$  次元ベクトル、 $N$  は重複領域の画素数、 $p_1$  はトーンマッピング関数の一次係数、 $p_2$  はトーンマッピング関数の切片である。各重複領域の画素値のベクトルは  $[0,1]$  で正規化を行う。ここで、一次係数  $p_1$  が正の値となるような制約を課しているのは、トーンマッピング関数が単

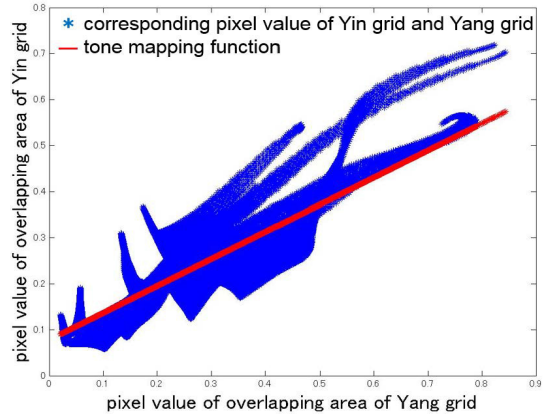


図3 トーンマッピング関数

Fig.3 Tone mapping function.

調増加関数でなければならないためである。また、切片  $p_2$  が負の値や極端に大きくなることを防ぐために、0より大きく、あるしきい値  $T$  よりも小さい値となるような制約を考える。提案手法では、しきい値  $T$  は0.1とすることで切片  $p_2$  が極端に大きくなることを防いでいる。この式(1)は制約付きの最小化問題であるので、そのまま解くことは難しい。そこで、指示関数を導入し、見かけ上制約なしの最小化問題に置き換える。そうすることで、式(1)はADMM (Alternating Direction Multiplier Method) を用いて解くことができる。式(1)の最適化を行うことで、陽格子画像の重複領域の画素値  $\mathbf{x}_2$  と陰格子画像の重複領域の画素値  $\mathbf{x}_1$  との差異が最小化されたパラメータ  $p_1, p_2$  を求めることが可能である。また、L2 ノルムとは異なり、L1 ノルムを用いることで外れ値への過剰な依存を回避することができる。このようにして得られた  $p_1, p_2$  に対応するトーンマッピング関数を図3に示す。図3のトーンマッピング関数をもとに、陽格子画像の輝度値を変換した後、画像の正規化を行う (図1(e))。しかし、陰格子画像と陽格子画像の境目には不自然なエッジがまだ存在するため、次節で述べる球面調和関数を

用いてこのエッジの問題を解決する。

### 3.3 球面調和関数

エッジ部の違和感を取り除くために球面調和関数を用いて近似を行う。球面調和関数は、球面上の直交基底関数系で球面上の任意の関数を近似的に表現することができる。使用する球面調和関数ごとに最適なスケーリング係数を求める。スケーリング係数は次式で与えられる。

$$c_m^l = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} f(\theta, \phi) Y_m^l(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \quad (2)$$

ここで、 $l, m$  は球面調和関数の次数で、用いる球面調和関数の数により変化する。 $c_m^l$  は次数  $(l, m)$  に対応するスケーリング係数、 $f(\theta, \phi)$  は入力画像の球面座標  $(\theta, \phi)$  における画素値、 $Y_m^l(\theta, \phi)$  は次数  $(l, m)$  に対応する球面調和関数の球面座標  $(\theta, \phi)$  における関数値である。以下の式のように、式 (2) で求めたスケーリング係数  $c$  と対応する球面調和関数との線形和をとることで近似を行う。

$$S(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^L \sum_{m=-l}^l c_m^l Y_m^l(\theta, \phi) \quad (3)$$

ここで、 $L$  は次数  $l$  の範囲の上限を表す整数、 $S(\theta, \phi)$  は球面座標  $(\theta, \phi)$  における出力画像の画素値、つまり  $S$  は全天周画像の顕著性マップである。最大次数  $L$  を適切に設定することで、精度よく近似を行うことができる。本章で述べる実験では  $L = 12$  とした。図 1(e) を球面調和関数で近似した結果を図 1(f) に示す。

### 4. 実験結果

提案手法を実際の全天周画像に適用した結果を示す。入力に用いた 2 種類の全天周画像のある方向と緯度方向に 180 度回転した二つの方向における球面表示 (図 4(a), (j)) とパノラマ表示 (図 4(b), (k)) をそれぞれ示す。パノラマ画像の元のサイズはいずれも  $1024 \times 2048$  (ピクセル) であるが、ここでは  $1024 \times 1024$  で表示している。各格子における顕著性マップの生成には、Harel ら [3], Fang ら [4], Tavakoli ら [6] のモデルを使用している。各入力画像のパノラマ表示に対して直接 (1) Harel らの手法を適用した場合 (以下, Harel), (2) Fang らの手法を適用した場合 (以下, Fang), (3) Tavakoli らの手法を適用した場合 (以下, Tavakoli) を従来手法として、提案手法の格子分割により得られた高緯度・低経度画像に (4) Harel らの手法を適用した場合 (以下, ours-Harel), (5) Fang らの

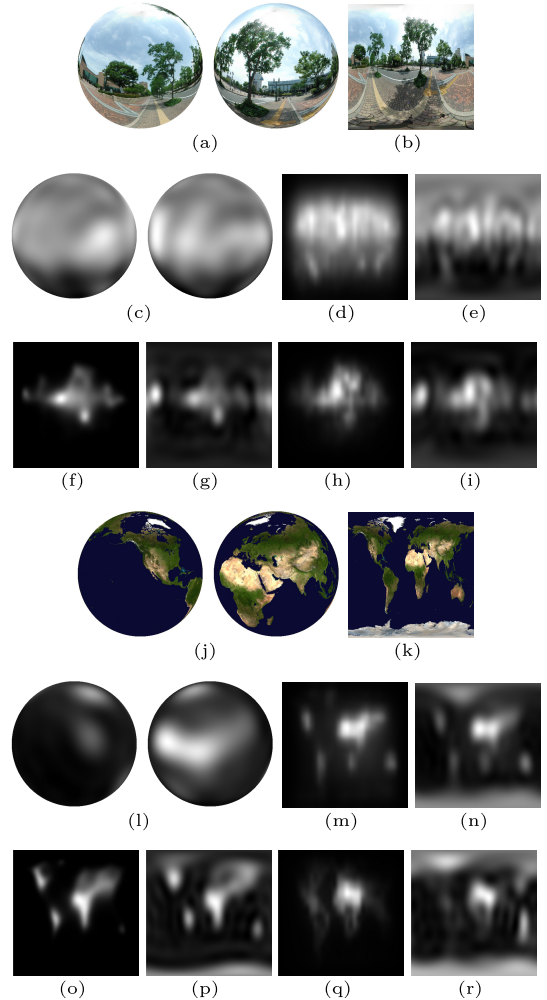


図 4 顕著性マップ生成. (a) 球面表示画像, (b) パノラマ表示画像, (c) ours-Harel (球面表示), (d) Harel, (e) ours-Harel (パノラマ表示), (f) Fang, (g) ours-Fang, (h) Tavakoli, (i) ours-Tavakoli, (j) 球面表示画像, (k) パノラマ表示画像, (l) ours-Harel (球面表示), (m) Harel, (n) ours-Harel (パノラマ表示), (o) Fang, (p) ours-Fang, (q) Tavakoli, (r) ours-Tavakoli

Fig. 4 Saliency map generation. (a) spherical representation of original image, (b) panoramic representation of original image, (c) ours-Harel(spherical representation), (d) Harel, (e) ours-Harel(panoramic representation), (f) Fang, (g) ours-Fang, (h) Tavakoli, (i) ours-Tavakoli, (j) spherical representation of original image, (k) panoramic representation of original image, (l) ours-Harel(spherical representation), (m) Harel, (n) ours-Harel(panoramic representation), (o) Fang, (p) ours-Fang, (q) Tavakoli, (r) ours-Tavakoli.

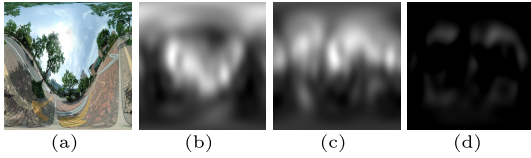


図5 座標不変性に関する評価。(a) 座標変換した入力画像。(b) ours-Harel を用いて生成した図5(a)の顕著性マップ。(c) 図5(b)を元の座標位置に戻した顕著性マップ。(d) 図4(e)と図5(c)の差分画像

Fig.5 Results on coordinate invariance. (a) input image after the coordinate transformation. Result of saliency map generation: (b) ours-Harel, (c) returning to the original coordinate position, (d) difference image between Fig.4(e) and Fig.5(c).

手法を適用した場合（以下, ours-Fang）, (6) Tavakoliらの手法を適用した場合（以下, ours-Tavakoli）との性能比較を行った。

#### 4.1 定性的比較

従来手法で得られた顕著性マップをそれぞれ図4(d), (f), (h), (m), (o), (q)に示す。一方, 提案手法を適用して得られた顕著性マップのパノラマ表示をそれぞれ図4(e), (g), (i), (n), (p), (r)に示す。また, Harelを用いて提案手法を適用して得られた顕著性マップの球面表示を図4(c), (l)に示す。従来手法の場合, 高緯度の物体領域の顕著性が低く評価されていることが分かる。図4(m), (o), (q)の世界地図の画像では, 極付近にある南極や北極付近の領域の顕著性が極問題のため正確に評価できていない。一方, 提案手法では高緯度にある物体領域の顕著性も他の領域同様に正確に評価できている。

#### 4.2 精度評価

提案手法の精度評価の結果を示す。入力画像として図4(b)を用いる。また, 顕著性マップ生成手法としてours-Harelを用いる。座標不変性を評価した結果を図5に示す。評価の方法は, はじめに通常の座標位置で提案手法を適用し顕著性マップを生成する(図4(e))。比較のため, 入力画像の中心が陰陽格子の重複領域の位置になるように座標変換を行い(図5(a)), その座標位置で提案手法を適用し顕著性マップを生成する(図5(b))。得られた結果を元の位置に座標変換し(図5(c)), 各顕著性マップを比較することにより, 提案手法の座標不変性を評価する。図4(e)と図5(c)の画像間の差分をとった画像を図5(d)に示す。この結果より, 誤差は非常に小さく, 座標系の取り方によらず高

表1 定量的比較  
Table 1 Quantitative comparison.

image	method	RMSE	PSNR [dB]	correlation coefficient	AUC
Fig.1(a)	Harel	10.69	16.04	0.63	0.70
	ours-Harel	<b>10.07</b>	<b>22.69</b>	<b>0.94</b>	<b>0.94</b>
Fig.4(b)	Harel	9.94	14.05	0.47	0.61
	ours-Harel	<b>8.27</b>	<b>24.38</b>	<b>0.88</b>	<b>0.66</b>
Fig.4(k)	Harel	8.19	24.28	0.87	0.69
	ours-Harel	<b>3.16</b>	<b>34.68</b>	<b>0.97</b>	<b>0.88</b>

精度に顕著性を推定できていることが分かる。

次に, 定量評価の結果を表1に示す。入力画像として図1(a), 図4(b), (k)に示す画像を用いる。評価指標には, RMSE, PSNR, 相関係数, AUCを用いる。各入力画像に対して, 図4(d)のような差分画像を従来手法と提案手法で生成する。従来手法にはHarelを用いる。ここで, RMSEとPSNRは差分画像を用いて評価を行い, 相関係数は差分前の2枚の顕著性マップを用いる。AUCは, 横軸と縦軸にそれぞれ差分画像の誤差率と検出率を表すROCカーブの下側面積を用いて評価する。表1では, 全ての評価指標において提案手法が優位であり, 座標変換に対するロバスト性が高いことが分かる。

#### 5. むすび

重合格子を用いて既存の顕著性マップ生成手法を全天周画像に適用できるように拡張する手法を提案した。実験では解像度不均一問題や極問題を回避した結果が得られ, 提案手法の有効性を示した。今後の課題としてロバスト回帰をより精度よく行うための最適化モデルの改善などがあげられる。

謝辞 本研究は, 科学研究費補助金(課題番号: 15K00239)によって行われたものです。

#### 文 献

- [1] M.M. Chang, G.X. Zhang, N.J. Mitra, X. Huang, and S.M. Hu, "Global contrast based salient region detection," Proc. CVPR, pp.409–416, 2011.
- [2] L. Itti, C. Koch, and E. Niebur, "A model of saliency based visual attention for rapid scene analysis," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.20, no.11, pp.1254–1259, 1998.
- [3] J. Harel, C. Koch, and P. Perona, "Graph-based visual saliency," NIPS, vol.19, pp.545–552, 2006.
- [4] S. Fang, J. Li, and Y. Tian, "Learning discriminative subspaces on random contrasts for image saliency analysis," IEEE Trans. Neural Netw. Learning Syst., vol.28, no.5, pp.1095–1108, 2016.
- [5] E. Erden and A. Erden, "Visual saliency estimation by nonlinearly integrating features using region con-

- variances,” *J. Vision*, vol.13, no.4, pp.1–20, 2013.
- [6] H.R. Tavakoli, E. Rahtu, and J. Heikkila, “Fast and efficient detection using sparse sampling and kernel density estimation,” *Proc. SCIA*, pp.666–675, 2011.
- [7] A. Kageyama and T. Sato, “The ‘Yin-Yang grid’: An overset grid in spherical geometry,” *Geochem. Geophys.*, 5, Q09005, 2004.
- [8] I. Bogdanova, A. Bur, and H. Hugli, “Visual attention on the sphere,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol.17, no.11, pp.2000–2014, 2008.
- (平成 29 年 9 月 29 日受付, 12 月 22 日再受付)
-