九州大学学術情報リポジトリ Kyushu University Institutional Repository

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)



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。



一般社团法人 電子情報通信学会

THE ENGINEERING SCIENCES SOCIETY THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

研究速報·

| 陰陽格子法 | を用い | た全天 | 周顕著性マ | … プ牛 | :成手法 |
|-------|--------|-----|-------|------|------|
| | C /H V | ルエハ | | /// | |

 岡崎
 大暉[†]a)
 原
 健二[†](正員)

 井上
 光平[†](正員)
 浦浜
 喜一[†](正員)

 Omni-directional Saliency Map Generation Using Yin-Yang Grid

 Method

Daiki OKAZAKI^{† a)}, Nonmember, Kenji HARA[†],

Kohei $INOUE^{\dagger}$, and Kiichi URAHAMA^{\dagger}, Members

[†]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1024×1024 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 2 陰陽格子. (a) 陰陽格子, (b) 陰格子, (c) 陽格子 ([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.

$$\min_{p_1, p_2} \|\mathbf{x}_1 - p_1 \mathbf{x}_2 - p_2 \mathbf{1}\|_1
s.t. \quad p_1 > 0, 0 \le p_2 \le T$$
(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, 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



調増加関数でなければならないためである.また、切 片 p2 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 p2 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 x2 と陰格子画像の重複領域の画素値 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 p1, p2 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

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

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.

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

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 (θ, ϕ) 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 (θ, ϕ) 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.

$$S(\theta,\phi) = \sum_{l=0}^{L} \sum_{m=-l}^{m=l} c_m^l Y_m^l(\theta,\phi)$$
(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 (θ, ϕ) 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.次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1024×2048(ピクセル)であるが,ここでは 1024×1024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) panoramatic representation of original image, (c) ours-Harel(spherical representation), (d) Harel, (e) ours-Harel(panoramatic representation), (f) Fang, (g) ours-Fang, (h) Tavakoli, (i) ours-Tavakoli, (j) spherical representation of original image, (k) panoramatic representation of original image, (l) ours-Harel(spherical representation), (m) Harel, (n) ours-Harel (panoramatic 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 | correlation | AUC |
|----------|------------|-------|-------|-------------|------|
| | | | [dB] | coefficient | |
| Fig.1(a) | Harel | 10.69 | 16.04 | 0.63 | 0.70 |
| | ours-Harel | 10.07 | 22.69 | 0.94 | 0.94 |
| Fig.4(b) | Harel | 9.94 | 14.05 | 0.47 | 0.61 |
| | ours-Harel | 8.27 | 24.38 | 0.88 | 0.66 |
| Fig.4(k) | Harel | 8.19 | 24.28 | 0.87 | 0.69 |
| | ours-Harel | 3.16 | 34.68 | 0.97 | 0.88 |

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

- 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)