

DoG 関数とガボール関数を用いた画像の空間周波数成分低減手法

伊藤謙吾 齋藤豪

東京工業大学 情報理工学院

1 はじめに

人は周辺視野での知覚感度低下に気付きにくい。そのため、道路標識や駅構内の案内の設置の際、より人の目に入るような設置位置や周辺環境とのコントラストを考えることは重要である。より具体的には人の周辺視野での知覚感度低下を認識することが有益である。

そこで著者らは、DoG(Difference of Gaussian) 関数と Gabor 関数の畳み込みを適用して抽出した画像の位置毎の空間周波数特徴を用いて、周辺視野のコントラスト感度関数 (Contrast Sensitivity Function : CSF) に基づいたフィルタを施すことで周辺視野での知覚感度低下を可視化する手法を提案してきた [1, 2]。本稿では、それらの続報として Gabor 関数を用いた周波数検出特性の異方性についての改善方法について述べる。

2 関連研究

CSF を模倣した画像フィルタの手法に関する研究の一つである Peli らの手法 [4] は、画像を周波数領域へ変換し、フィルタリングを施した後に逆変換を行う手法である。この手法は周波数空間での処理のために凝視点からの偏角毎の処理の変化を与えることができず、凝視点からの偏角が大きくなるほど知覚可能な空間周波数とコントラスト感度が低下する [3] という CSF の偏角による変化特性を考慮することができない。また、採用されているフィルタ関数の特性からリングングが生じるという副作用がある。

Watson の手法 [5] は画像上の位置により変化するフィルタを用いる手法 [6, 7] を利用しており、偏角毎に異なる CSF の特性を考慮したフィルタの出力を生成することができる。しかしながら、用いられているフィルタは偏角毎に一つであり、CSF がマルチバンドで構成されている説とは相容れない。また、採用されているフィルタは低周波における CSF の特性を考慮しないことを前提に設計されており、画像の低周波成分のフィルタリング結果は知覚とは異なる。また、設計に用いられた CSF の測定データには偏角が大きい場合のものが含まれておらず、偏角が大きい場合に、

知覚とは異なるフィルタリング結果となることが予想される。

著者らは、CSF を模倣するフィルタとして、上野ら [8] の手法を発展させてきた [1, 2]。DoG(Difference of Gaussian) 関数を使用した再合成可能な原画像の周波数分解画像に対して、Gabor 関数によって検出された周波数毎のコントラストと CSF との比較により決定される重みを使って、分解画像を再合成する手法である。この手法には画像の分解フィルタとコントラスト検出を行うための帯域成分抽出フィルタの二種類を使うことによって生じるフィルタ設計の柔軟性という利点がある。

本稿では、この手法の周波数帯域毎のコントラスト検出に用いられているフィルタの改善に焦点を当てる。

3 コントラスト検出用 Gabor 関数合成フィルタ

我々の手法では CSF と比較するために周波数毎のコントラストを検出する必要がある。本稿でも文献 [1, 2] と同様に、ある周波数のコントラストを検出するために、まず式 (1) と (2) の Gabor 関数を入力画像に畳み込む。

$$G_c(\mathbf{p}, \lambda, \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{p_x'^2 + p_y'^2}{2\sigma^2}} \cos(2\pi \frac{p_x'}{\lambda}) \quad (1)$$

$$G_s(\mathbf{p}, \lambda, \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{p_x'^2 + p_y'^2}{2\sigma^2}} \sin(2\pi \frac{p_x'}{\lambda}) \quad (2)$$

ただし、 p_x', p_y' は $\mathbf{p} = (p_x, p_y)$ として以下で計算する。

$$p_x' = p_x \cos \theta + p_y \sin \theta \quad (3)$$

$$p_y' = -p_x \sin \theta + p_y \cos \theta \quad (4)$$

ここで θ は $\{0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ\}$ の 6 方向である。また、 σ と λ には $\sigma = \frac{4}{3}\lambda$ の関係を持たせ、高周波ほど周波数領域でガウス関数の広がりが大きくなるようにして、Gabor 関数の中心から外れた周波数の成分を漏らさないようにする。

位相によって検出に差が出ないように式 (5) により入力画像 $I(\mathbf{p})$ に余弦波のガボール関数と正弦波のガボール関数を畳み込んだ結果の L_2 norm をとり、方向 θ と波長 λ に相当する周波数 f_λ に関する周波数帯域画像 $M'_{f_\lambda}(\mathbf{p}, \theta)$ を得る。

$$M'_{f_\lambda}(\mathbf{p}, \theta) = \sqrt{(I(\mathbf{p}) * G_c(\mathbf{p}, \lambda, \theta))^2 + (I(\mathbf{p}) * G_s(\mathbf{p}, \lambda, \theta))^2} \quad (5)$$

Spatial frequency component reduction method for images using DoG function and Gabor function
Kengo ITO
Suguru SAITO
School of Computing, Tokyo Institute of Technology

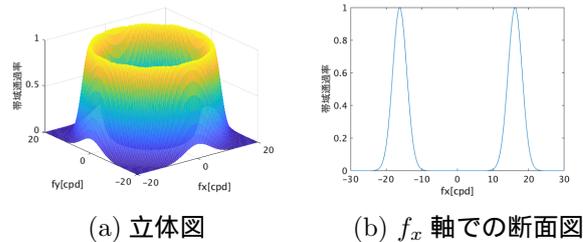
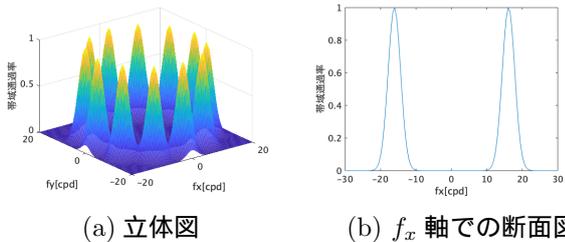


図 1: Gabor 関数の従来法での合成によるフィルタの周波数応答特性

文献 [1, 2] では式 (6) によって 6 方向の和をとることで 1 つの周波数帯域の振幅相当の値を得て、Michelson コントラストを計算している。

$$M_{f_\lambda}(\mathbf{p}) = \sum_{\theta} M'_{f_\lambda}(\mathbf{p}, \theta) \quad (6)$$

ここで、式 (6) のインパルス応答をグラフにすると図 1(a) となり、Gabor 関数の波形の方角からはずれた角度では応答が低くなっていることが分かる。この異方向性を削減するために、今回、式 (5)(6) に代えて、式 (7)(8) を導入する。

$$M'_{f_\lambda}(\mathbf{p}, \theta) = \frac{1}{\beta} \sqrt{(I(\mathbf{p}) * \alpha G_c(\mathbf{p}, \beta\lambda, \theta))^2 + (I(\mathbf{p}) * \alpha G_s(\mathbf{p}, \beta\lambda, \theta))^2} \quad (7)$$

$$M_{f_\lambda}(\mathbf{p}) = \sqrt[\gamma]{\sum_{\theta} \left(M'_{f_\lambda}(\mathbf{p}, \theta) \right)^\gamma} \quad (8)$$

ここで、インパルス応答の等方向性、稜線の周波数位置を f_λ とすること、及び稜線の高さを 1 とすることを理想として α, β, γ の値をそれぞれ 0.6059, 0.9311, 0.1051 とした。

式 (8) のインパルス応答は図 2(a) となり、期待する形状に近いことが分かる。また図 1(b) と図 2(b) を比べると提案法による合成フィルタの応答が幅が広がって居るが、バンドパスとしての特性はほぼ同等であることが分かる。

式 (5)(6) 比べ、式 (7)(8) は式がやや複雑になっているが、最も計算のかかる畳込み演算は同数の 12(6 方向の余弦と正弦の Gabor 関数分) であるため総計算時間に対する今回の変更による計算時間の増加は抑えられている。

4 まとめ

本稿では、我々の提案してきた CSF の視野特性に基いた画像フィルタの手法の中で用いられていた周波数帯域ごとのコントラスト検出用フィルタの異方向性を改善した。定量的な評価は今後行う予定である。また今回の合成フィルタの設計では、Gabor 関数の方角の

図 2: Gabor 関数の提案法での合成によるフィルタの周波数応答特性

数や、 σ と λ の関係は固定としていた。これらを変変とした上でより適した等方的な合成フィルタが設計できる可能性がある。

また今回の変更は周波数空間でのフィルタの同心円方向の特性の改善を目的としていたが、放射方向についての改善も今後の課題である。CSF との比較において適した周波数空間での放射方向の合成フィルタの設計を行っていきたい。

参考文献

- [1] 伊藤謙吾, 齋藤豪. DoG とガボール関数を用いた周辺視野特性を考慮した画像フィルタ. 映像学技報 HI2020-58, Vol. 44, No. 9, pp. 31–34, 2020.
- [2] 伊藤謙吾, 齋藤豪. 周辺視野のコントラスト感度関数を用いた知覚感度低下の可視化手法. VC シンポジウム 2020, pp. 19:1–19:6, 2020.
- [3] Jyrki Rovamo, Veijo Virsu, and Risto Nasanen. Cortical magnification factor predicts the photopic contrast sensitivity of peripheral vision. *Nature*, Vol. 271, pp. 54–56, Jan 1978.
- [4] Eli Peli. Contrast in complex images. *J. Opt. Soc. Am. A*, Vol. 7, No. 10, pp. 2032–2040, Oct 1990.
- [5] A. B. Watson. The field of view, the field of resolution, and the field of contrast sensitivity. *J. Percept. Imaging*, Vol. 1, No. 1, pp. 1–11, Jan 2018.
- [6] J. S. Perry and W. S. Geisler. Gaze-contingent real-time simulation of arbitrary visual fields. In *Proceedings of SPIE*, Vol. 4662, pp. 57–69, May 2002.
- [7] A. B. Watson and A. J. Ahumada. Letter identification and the neural image classifier. *Journal of Vision*, Vol. 15, No. 15, pp. 1–26, 2015.
- [8] 上野真実, 齋藤豪. 広視角域 CSF の計測とその画像へ適用. 情報処理学会全国大会第 80 回, 2018. 3Y-07.