

コロナ画像処理の改良

論文紹介他

13/07/06 伊藤昌尚

紹介する論文

題名

ENHANCING CORONAL STRUCTURES WITH THE FOURIER
NORMALIZING-RADIAL-GRADED FILTER
(FNRGF法によるコロナ構造の強調)

論文誌

The Astrophysical Journal, 737:88 (10pp), 2011 August 20

著者

Hana Druckmullerova, Huw Morgan, and Shadia R. Habbal

概要

FNRGF法とは、

FOURIER

フーリエ変換を使って

NORMALIZING

規格化する (ヒストグラム調整のようなもの)

RADIAL

動径方向の

GRADED

(輝度)傾斜

FILTER

(補正)フィルタ

- ・コロナの画像はダイナミックレンジが広く、構造を見るのが難しい。
- ・従来用いられた画像処理方法に、normalizing-radial-graded filter (NRGF) がある。
- ・これを改良してFNRGF法を開発した。
- ・画像処理方法間の得失を議論する。
- ・ + 私の勝手な考察

これまでの画像処理方法

Owaki & Saito	1967	機械式フィルター
Newkirk & Harvey	1968	ニューカークフィルター
Koutchmy et al.	1988	複数の画像をコンポジット
Espenak	2000	ソフトウェアによる画像処理
Morgan et al.	2006	NRGF法
Druckmuller et al.	2006	adaptive circular high-pass filter (ACHF)
Byrne et al.	2009	<u>wavelet decomposition</u>

コロナ画像は、

- ・動径方向に急激な輝度変化がある。
- ・動径方向で、コントラストも変化する。 → これらを補正するための方法
(太陽から遠いほどコントラストが弱い)

NRGF法

$$Y(r, \phi) = \frac{X(r, \phi) - EX(r)}{\sqrt{DX(r)}}$$

X: 元画像の輝度

Y: 処理後の画像の輝度

EX: あるrでの輝度の平均

DX: あるrでの輝度の分散 (≒ヒストグラムの幅)

(r, ϕ) 極座標表示

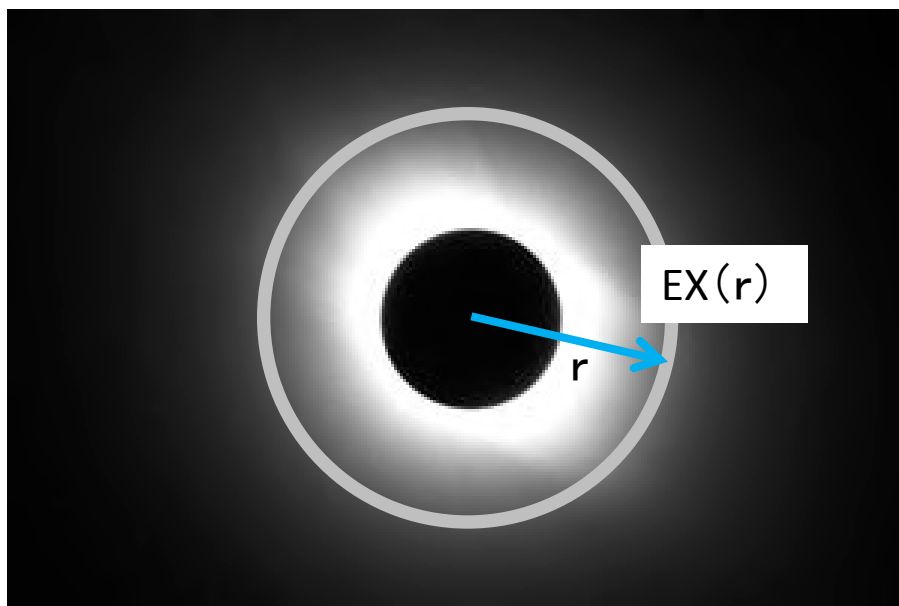
r 太陽中心からの距離

ϕ 角度座標

→要は、全周回転させたR-USM法

(+ 太陽中心からの距離に応じて、ヒストグラム調整を行う。)

NRGF法

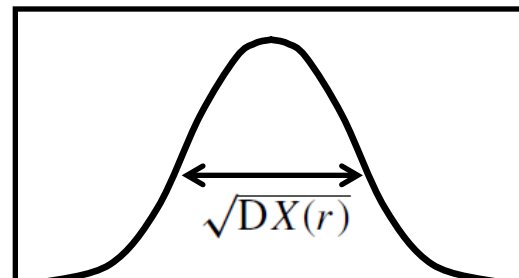


→ EXで輝度を補正し、
DXでコントラストを補正している。

$$Y(r, \phi) = \frac{X(r, \phi) - EX(r)}{\sqrt{DX(r)}}$$

EX(r)とは、
太陽中心から同じ距離
にあるピクセルの輝度
の平均値

$\sqrt{DX(r)}$ とは、
太陽中心から同じ距離
にあるピクセルの
ヒストグラムの幅



FNRGF法

NRGF法:
$$Y(r, \phi) = \frac{X(r, \phi) - EX(r)}{\sqrt{DX(r)}}$$

FNRGF法:
$$Y(r, \phi) = \frac{X(r, \phi) - F_E(r, \phi)}{F_\sigma(r, \phi)}$$

X: 元画像の輝度

Y: 処理後の画像の輝度

NRGF法は、同一円周上なら、補正係数は同じ。

FNRGF法は、同一円周上でも 角度座標により、補正係数が異なる。

FNRGF法

$F_E(r, \phi)$ の計算方法

$$a_{r,0} = \frac{2}{n} \sum_{s=0}^{n-1} E_s X(r),$$

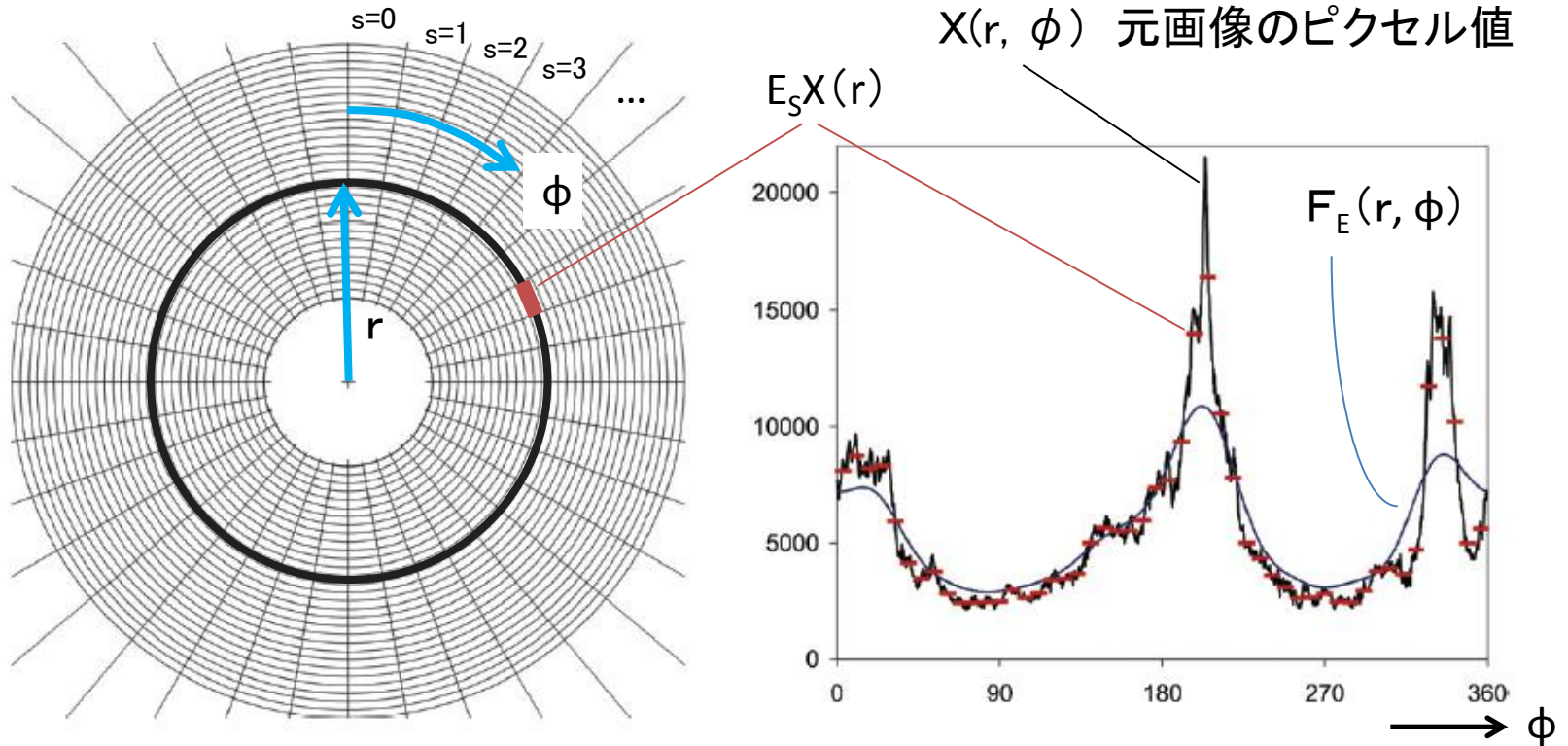
$$a_{r,k} = \frac{2}{n} \sum_{s=0}^{n-1} E_s X(r) \cos \frac{2\pi k(s + 0.5)}{n} \quad k = 1, 2, \dots, 10,$$

$$b_{r,k} = \frac{2}{n} \sum_{s=0}^{n-1} E_s X(r) \sin \frac{2\pi k(s + 0.5)}{n} \quad k = 1, 2, \dots, 10.$$

$$F_E(r, \phi) = A_0 \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{10} A_k (a_{r,k} \cos k\phi + b_{r,k} \sin k\phi)$$

FNRGF法

$F_E(r, \phi)$ の計算方法



画像を、 r 方向、 ϕ 方向のセグメントに分割 ($n=50$)

セグメント内のピクセル $X(r, \phi)$ の平均値を計算 $\rightarrow E_S X(r)$

$E_S X(r)$ をフーリエ近似して、ローパスをかける $\rightarrow F_E(r, \phi)$

FNRGF法

$F_E(r, \phi)$ の計算方法

$$F_E(r, \phi) = A_0 \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{10} A_k (a_{r,k} \cos k\phi + b_{r,k} \sin k\phi)$$

$$A_0 = 1, A_1 = 0.9, A_2 = 0.8, \dots, A_{10} = 0$$

→ ローパスフィルタをかけている。

(具体的なパラメタは、試行錯誤で決めた模様)

関数の
フーリエ近似

$F_o(r, \phi)$ も $F_E(r, \phi)$ と同様に計算

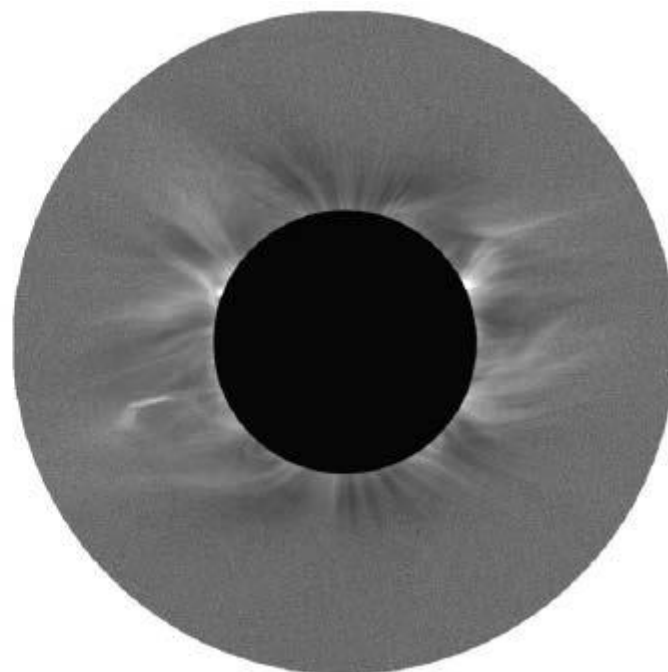
(F_E : 平均値のフーリエ近似 → F_o : 標準偏差のフーリエ近似)

FNRGF法

処理画像の例



元画像 (Fe x 637.4nm)
2010 July 11



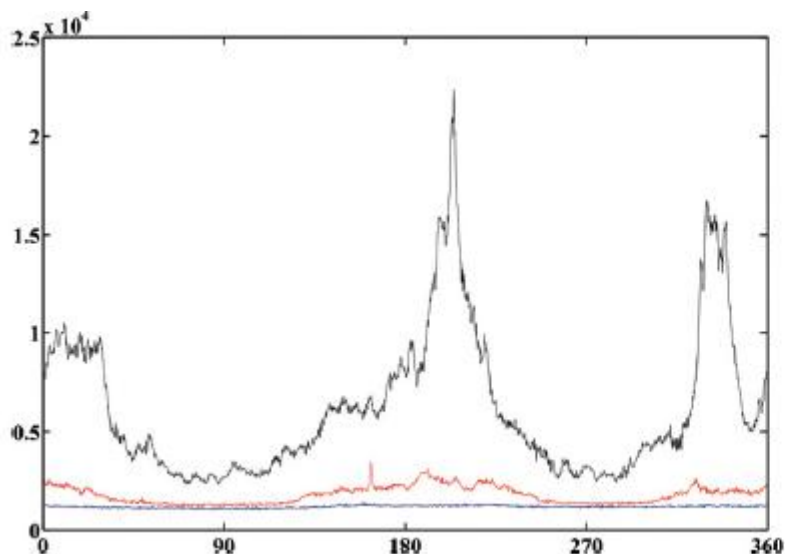
FNRGF法適用

FNRGF法

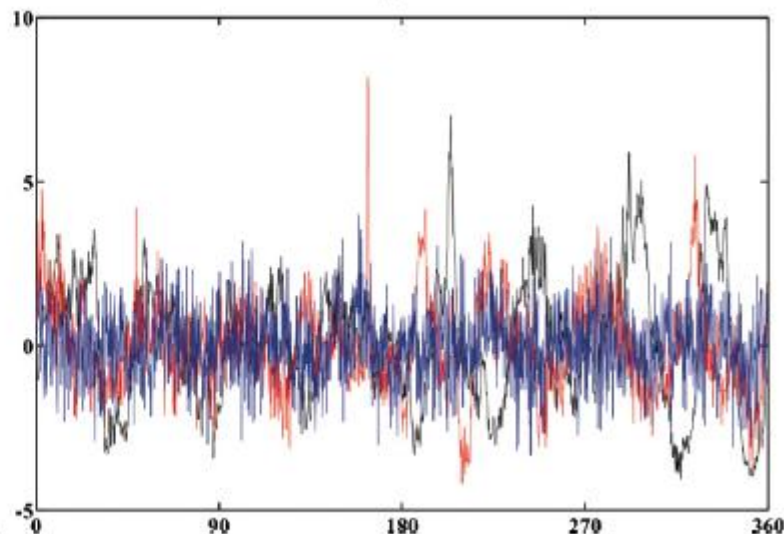
処理画像の例

同一円周上の輝度分布

— 1.3 R ⊙
— 1.6 R ⊙
— 2.2 R ⊙



元画像



FNRGF法適用

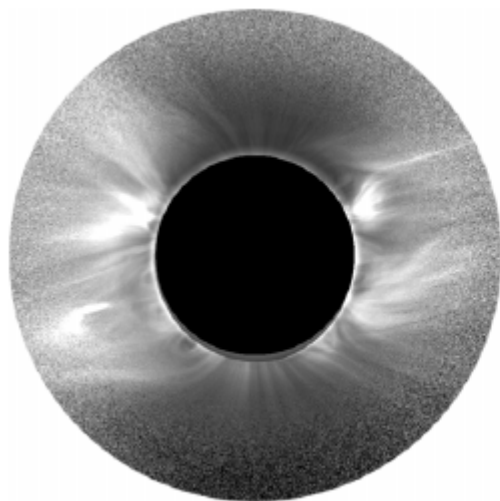
→ φ

- ・動径方向の急激な輝度変化
- ・動径方向のコントラスト変化

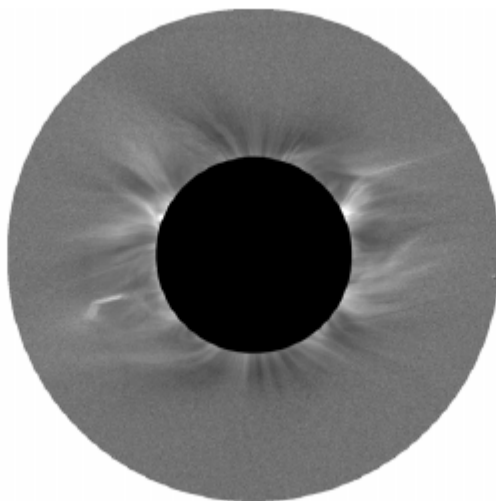
→ 補正できている

比較

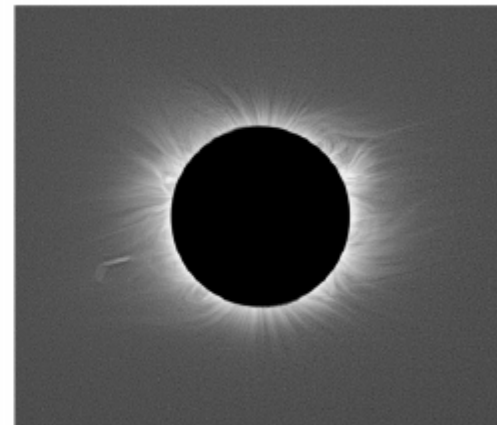
Fe x 637.4nm



NRGF法



FNRGF法



ACHF 法
(by Druckmuller)

FNRGF法は、

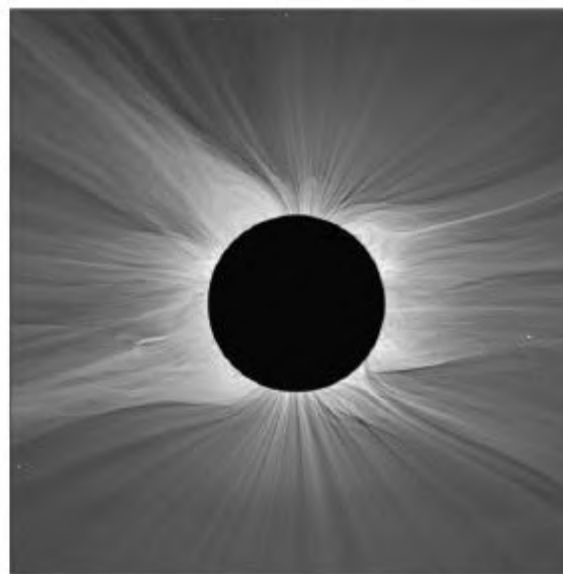
- ・NRGF法に比べて円周方向の輝度変化に適応できている。
- ・ACHF法に比べて大域的構造を見るのに適している。

比較

白色光



FNRGF法



ACHF 法

FNRGF法は、計算時間の点でも優れている。

- FNRGF法： 2～3分（IDLで記述すると数秒）
- ACHF法： 数時間

（論文中ではノイズの影響、パラメタ決定などを議論しているが、省略。）

R-USM法と比較してどうか？

やりたいこと:

FNRGF法を実装して、同じ画像でR-USM法と比較 → TBD
(元々の動機: Druckmullerさんの処理方式のヒントが得られないか?)

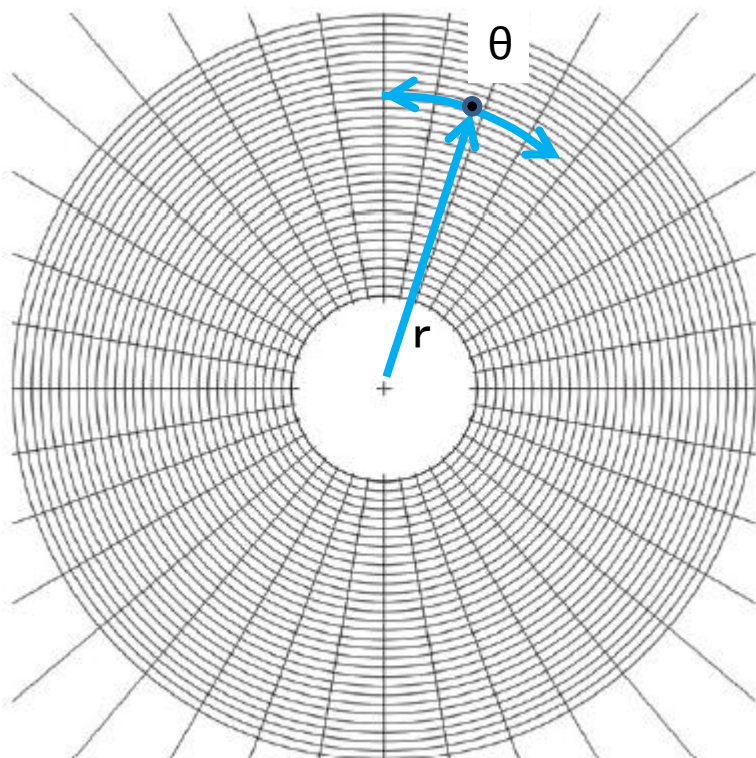
代わりに:

R-USM法を、FNRGF法の定式化と比較してみた。

FNRGF法のフロー

- 1) ピクセル値を円周上の点列としてサンプリング (座標変換)
- 2) 上記点列を関数と見て、これをフーリエ近似
- 3) フーリエ近似にローパスフィルタを適用

R-USM法



R-USM法:

元画像を一定角度(θ)回転させて
足し合わせ、マスクを作成する。

これをフーリエ変換の世界で記述すると
どうなるか？

- 1) ピクセル値を円周上の点列として
サンプリング (座標変換)
- 2) 上記点列を関数と見て、これを
フーリエ近似

R-USM法も、上記手順で行うことができる。
(ここまでは、FNRGF法と同じ)

R-USM法

(フーリエ近似による表現)

相違点:

3) フーリエ近似にローパスフィルタを適用

→ 「ローパスフィルタ」をかけるところまでは同じ。

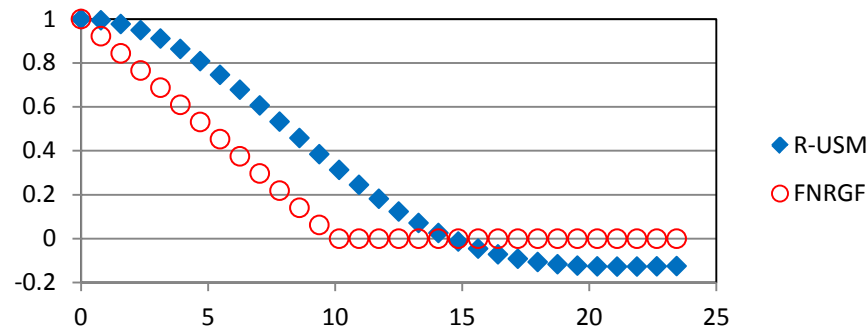
異なっているのは、フィルタの形状。(と、角度方向のセグメント数、 F_σ)

$$F_E(r, \phi) = \underline{A_0} \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{10} \underline{A_k} (a_{r,k} \cos k\phi + b_{r,k} \sin k\phi)$$

FNRGF法: $A_0 = 1, A_1 = 0.9, A_2 = 0.8, \dots, A_{10} = 0$

R-USM法: $A_0 = 1, A_1 = 0.98, A_2 = 0.96, \dots, A_{10} = 0.31, A_{11} = 0.24, \dots$

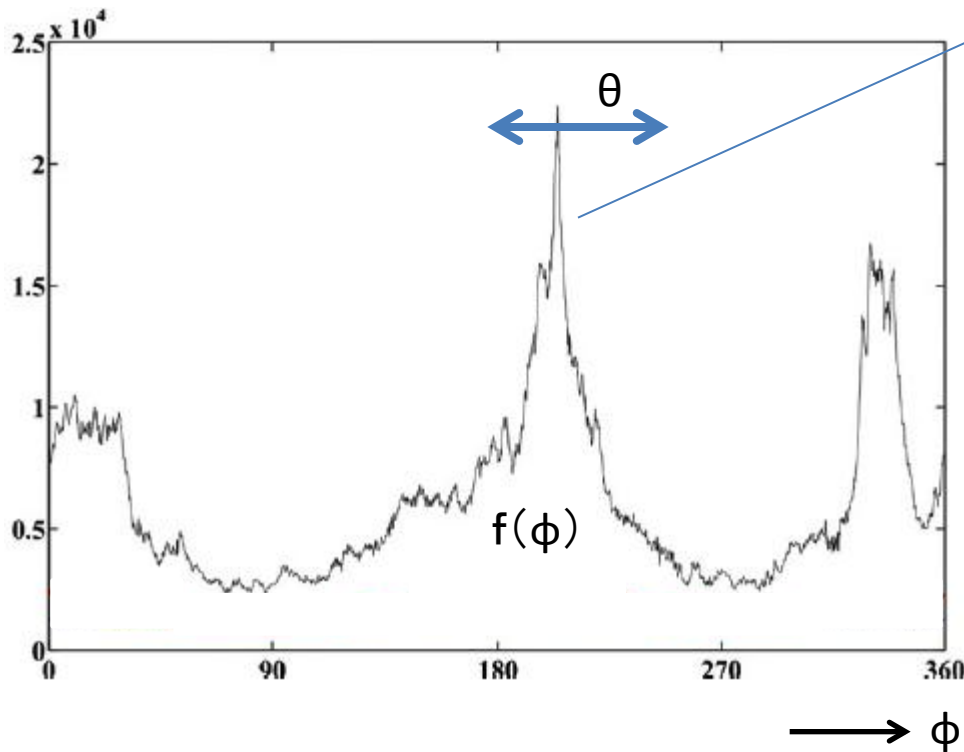
($\theta = 20$ 度)



R-USM法

(フーリエ近似による表現)

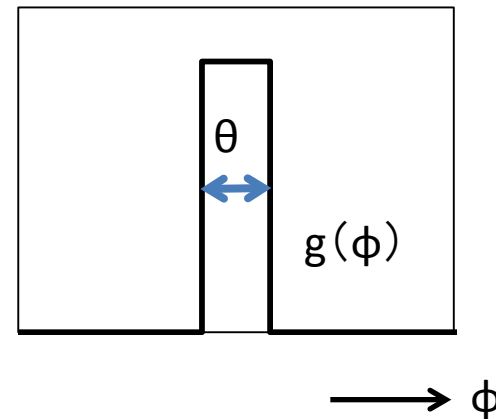
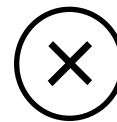
R-USM法の別の表現



画像関数 $f(\phi)$ を幅 θ だけずらして重ね合わせる。



関数 $f(\phi)$ と、矩形関数 $g(\phi)$ との畳み込みをすること。



R-USM法 (フーリエ近似による表現)

フーリエ変換での表現

R-USM法で作成するマスク画像 $m(\phi)$ は、元画像の関数 $f(\phi)$ と、矩形関数 $g(\phi)$ との畳み込み。

$$m(\phi) = f(\phi) \otimes g(\phi)$$

ローパスフィルタ
 A_0, A_1, A_2, \dots

フーリエ変換した世界では、

→ $M(k) = F(k) \cdot G(k)$; FNRGFと同じ式

$M(k)$ は、 $m(\phi)$ のフーリエ変換
 $F(k)$ は、 $f(\phi)$ のフーリエ変換
 $G(k)$ は、 $g(\phi)$ のフーリエ変換

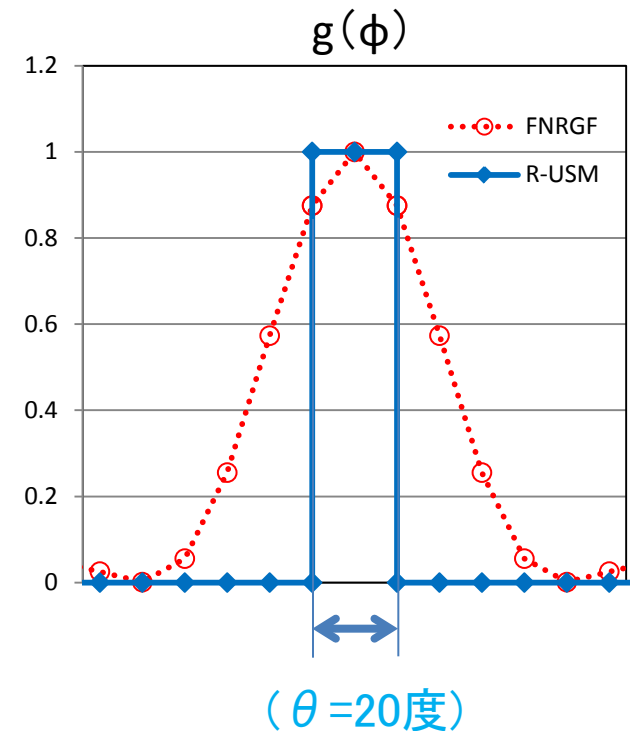
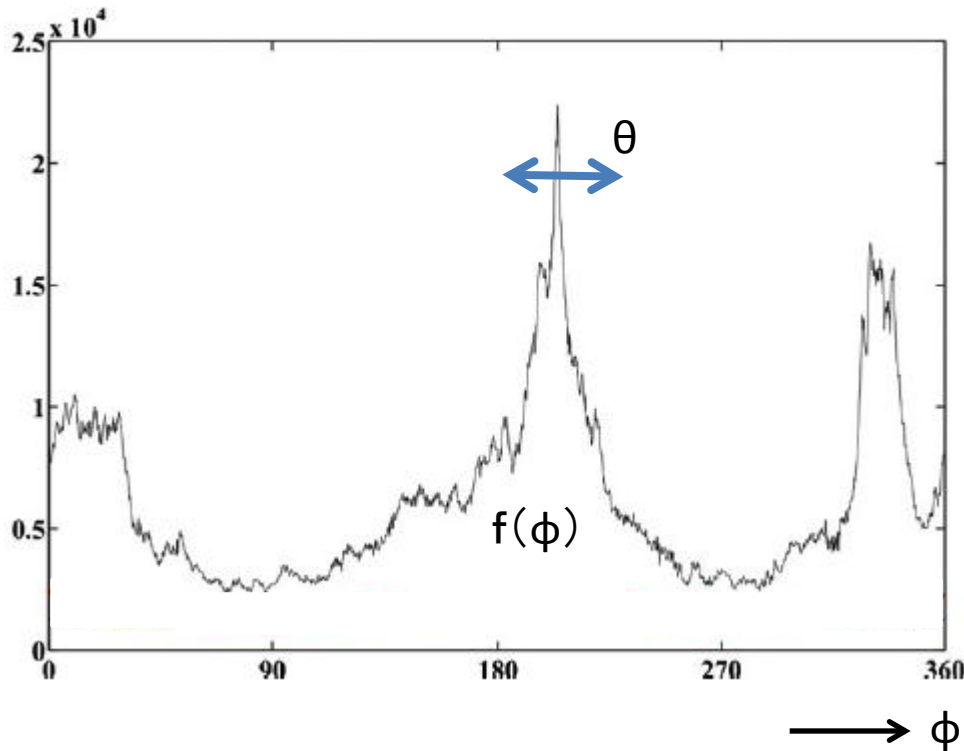
R-USMと、FNRGFの
違いは、 $G(k)$ の形状

FNRGF法 (フーリエ近似によらない表現)

FNRGF法において、 $G(k)$ をフーリエ変換すると、

$$(G(k) : A_0 = 1, A_1 = 0.9, A_2 = 0.8, \dots, A_{10} = 0)$$

→ 畳み込み関数 $g(\phi)$ が得られる。



方式間の相違点

フーリエ変換の世界でのR-USM法は以下のように書くことができる。

(FNRGF法とR-USM法の共通点)

- 1) ピクセル値を円周上の点列としてサンプリング (座標変換)
- 2) 上記点列を関数と見て、これをフーリエ変換
- 3) フーリエ変換に $G(k)$ (sinc関数)を掛けて、逆フーリエ変換

FNRGF法とR-USM法の異なっている点

- ・ $G(k)$ の形状(ローパスフィルタの形状)が異なる。
- ・ FNRGF法は、 $F_0(r, \phi)$ を計算して、コントラスト調整を行っている。
- ・ FNRGF法は、角度方向のセグメント数が粗い。

FNRGF法: $n = 50$

R-USM法: $n \sim$ 数百

今後の課題

R-USM法をフーリエ変換で処理するメリットはあるか？

長所

- ・画像を回転させる手法としては、おもしろいかもしれない。
(実際のところは、具体的にプログラム化してみないと不明。)
- ・ sinc関数をいろいろ変形すれば、Druckmullerさんの処理方式に近づけるのでは？
- ・周期的な1次元フーリエ変換になるので、窓関数が不要。

短所

- ・直交座標と極座標をどう変換するか？
→ 変換するデメリットのほうが大きいかもしれない。
- ・畳み込みの計算は、直接行ったほうが早いかもしれない。
(パラメタ変更を試すなら、この短所は気にしなくてもよい?)

付録 Druckmüllerさんの処理方法概要

Variable kernel convolution

画像をAとし、畳み込み核(kernel)をCとして、AとCの畳み込み(convolution)を行って、画像Bを得る。

$A = (a_{k,l})$ 、 $C = (c_{i,j})$ として、処理後の画像 $B = (b_{k,l})$ は以下の式で計算される。

$$b_{k,l} = \sum_{i=-r}^r \sum_{j=-r}^r a_{k+i,l+j} c_{i,j}$$

→ 実は、単純なローパスフィルタ等と同じ式畳み込み核Cの具体的な作り方は書かれていない。いくつかの制約条件が記載されている。

畳み込み核

畳み込み核Cの諸条件

- (a) Cのフーリエ変換は、「実」でなければならない
(虚数部があっても小さな値であること)。
このことにより、フィルタ処理で位相が保存され、
画像処理に起因するにせの模様が発生しなくなる。

- (b) ハイパスフィルタで高域を強調し、低域を弱める。
この処理で、ダイナミックレンジも圧縮される。
強調の程度は、ノイズの量によって上限が決まる。

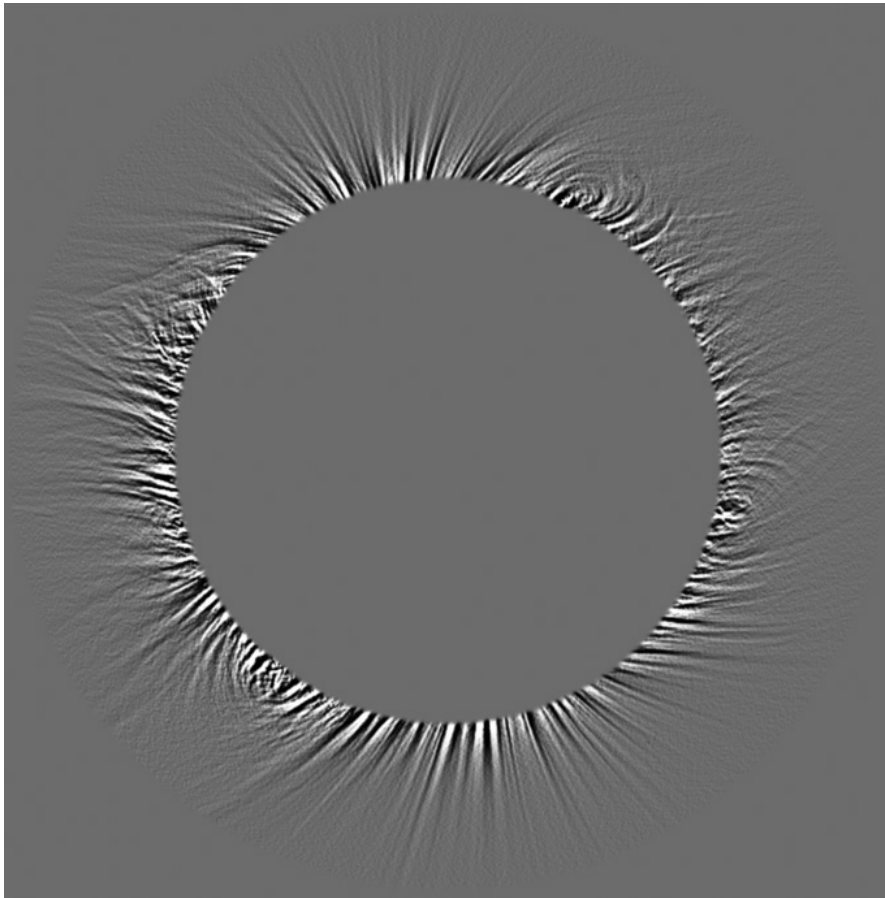
畳み込み核

(c) C のフーリエ変換は、中心対称であること(少なくとも高域ではそうなるように)。これにより、輪郭強調の方向依存性がなくなる。

考察:

- ・極座標系で「 C 」を考えることで、条件(a)、(c)がわかりやすくなるのでは？
- ・Druckmüllerさんは、FNRGFのように極座標やフーリエ変換では直接は計算していないのではないか？
(∵計算時間大。 極座標と直交座標を行ったりきたりして、時間がかかっている?)

ヒント?



マスク作成方法:

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} a(r + \cos(\varphi + \omega), r + \sin(\varphi + \omega)) e^{-\frac{\omega^2}{2\varrho^2}} d\omega$$

誤植?

$a(x,y)$: 元画像、 $\omega_1 = -2\varrho$ 、 $\omega_2 = 2\varrho$
 $\varrho = 8$

出典

PHASE CORRELATION METHOD FOR
THE ALIGNMENT OF TOTAL SOLAR
ECLIPSE IMAGES

Druckmüller, M. 2009, ApJ, 706, 1605