

A Pseudo Cross Bilateral Filter for Image Denoising Based on Laplacian Pyramid

Wu Meng , Zhang Huisheng, Huang He

College of Electronic Information
Northwestern Polytechnic University
Xi'an, China

Filtrul bilateral pseudo-cross bazat pe piramida Laplaciana este propus pentru a conserva marginile si a elimina zgomotul din imagini. Folosindu-se de piramida Laplaciana algoritmul mai intai descompune imaginea si versiunea filtrata in mai multe niveluri, versiunea filtrata este obtinuta cu filtrul adaptiv Wiener. Dupa care pentru fiecare nivel se aplica filtrul bilateral, considerand versiunea filtrate ca fiind imaginea reala. Pentru optimizare, se decide variatia zgomotului per nivel. Conform rezultatelor experimentale, se pare ca aceasta abordare este superioara filtrului Wiener adaptiv si filtrului bilateral traditional.

In contextul utilizarii extinse a dispozitivelor de imagistica in diferite domenii, problema extragerii detaliilor cum ar fi marginile din imaginile afectate de zgomot in generarea lor este extrem de important. Pentru prelucrarea imaginilor, reducerea zgomotului in imagine are un rol indispensabil. In trecut, au fost facute eforturi substantiale pentru eliminarea zgomotului din imaginile din domeniul spatial, de exemplu, filtrul trece-jos Gaussian are rezultate mai bune decat un filtru oarecare, calculand o medie a pixelilor din jur. Totusi, aceste doua filte in timp cee limina zgomotul estompeaza si marginile imaginii. Pentru a pastra si marginile s-a propus filtrul bilateral, acesta fiind folosit la reducerea zgomotului deoarece este non-iterativ, stabil si simplu. Cu toate acestea dezavantajul sau este timpul de executie, dar tinanduse cont de celelalte avantaje s-a lucrat considerabil de mult pentru a imbunatati acest aspect.

BILATERAL FILTER

Data fiind o imagine I , un filtru trece jos Gaussian este definit de:

$$\hat{I}_p = \frac{1}{k_p(p)} \sum_{q \in S} c(p-q) I_q \quad (1)$$

\hat{I} = imaginea filtrata

$c(p-q)$ = similaritatea geometrica intre pixelul central p si un altul vecin q

$k_d(p)$ = factorul de normalizare ($\sum_{q \in S} c(p-q)$)

Se presupune similitudinea spatiala in vecinatatea paxeului, Ec.(1). Doar ca in realitate nu se aplica pentru margini, iar filtrul bilateral este definit astfel:

$$\hat{I}_p = \frac{1}{k_p(p)} \sum_{q \in S} c(p-q) s(I_p - I_q) I_q \quad (2)$$

$s(I_p - I_q)$ = similitudinea fotometrica dintre pixeli
 $k_d(p)$ = factorul de normalizare ($\sum_{q \in S} c(p - q) s(I_p - I_q)$)

Ec2. Arata faptul ca filtrul bilateral tine cont atat de similaritatea geometrica, cat si de similaritatea fotometrica a pixelilor vecini, calculand o metrica ponderata care scade cu diferenta spatiala, dar si cu diferenta de intensitate fata de pixelul central. Datorita filtrarii selective, filtrul bilateral suprima efficient zgomotul.

Similitudinea geometrica si fotometrica este definite folosind o metrica gaussiana invariata la deplasarea distantei euclidiene.

$$c(p - q) = e^{-1/2(\|p-q\|/\sigma_q)^2}, \quad s(p - q) = e^{-1/2(\|I_p-I_q\|/\sigma_p)^2} \quad (3)$$

σ_g = parametrul de raspandire geometrica
 σ_p = parametrul de raspandire fotometrica

PSEUDO CROSS BILATERAL FILTER BASED ON LAPLACIAN PYRAMID

A. Laplacian pyramid

Data fiind o imagine I, algoritmul descompune imaginea prin intermediul piramidei Gaussian-Laplacian. Piramida Gaussiana este calculata astfel: pe imaginea originala este aplicata convolutia cu un nucleu Gaussian $\omega(m,n)$ si se subesantioneaza cu 2. Procesul acesta se repeta pentru a construi in mod crescator nivelurile piramidei:

$$G_l = \begin{cases} I, & l = 0 \\ \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \omega(m,n) G_{l-1}(2i + m, 2j + n), & l \leq N \end{cases} \quad (4)$$

N = nivel de decompozitie

$$\omega(m,n) = \omega(m) \omega(n) \quad (5)$$

$\omega(m,n)$ este o matrice de 5x5, iar $\omega(n) = \{0.6, 0.25, -0.05, 0.25, 0.6\}$.

Apoi, pentru a se produce Piramida Laplaciana, imaginea Gaussiana G_{l+1} este supraesantionata prin interpolarea unor zerouri intre pixele si filtrata prin Ec. (4). Piramida Laplaciana este reprezentata de diferenta dintre imaginea G_l si imaginea extinsa G_{l+1} .

$$L_l = \begin{cases} G_l - \text{Expand}(G_{l+1}), & l < N \\ G_N, & l = N \end{cases} \quad (6)$$

Expand este $G_{l+1}(i,j) = 4 \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \omega(m,n) G_l(\frac{i-m}{2}, \frac{j-n}{2})$

Reconstruirea imaginii originale se poate obtine extinzand nivelul superior G_N si adaugandu-l la L_{N-1} , se repeta acest proces pana cand se recupereaza partea inferioara G_0 .

$$G_l = L_l + \text{Expand}(G_{l+1}), \quad 0 \leq l < N \quad (7)$$

Astfel, Piramida Laplaciana este utilizata pentru a decompune imaginea intr-un set de imagini filtrate prin trece-banda la diferite scari, evidentiind marginile, devenind mai distincte cu cresterea scarii. Prin aceasta abordare se permite aplicarea unui filtru bilateral imbunatatit pe diverse niveluri ale piramidei Laplaciene, adaptandu-se la diverse dimensiuni ale ferestrei si reducand eficient cantitatea de zgomot.

B. Pseudo cross bilateral filtering

Filtrul bilateral incrucisat a combinaat 2 fotografii, cu si fara blit in medii intunecate genrand o singura imagine imbunatatita, diferenta de intensitate a imaginii cu blit fiind utilizata ca functie de similaritate fotometrica.

$$\hat{I}_p^{nf} = \frac{1}{k(p)} \sum_{q \in S} c(p-q) s(I_p^f - I_q^f) I_q^{nf} \quad (8)$$

I^f = imagine cu blit

I^{nf} = imagine fara blit

$k_d(p)$ = factorul de normalizare ($\sum_{q \in S} c(p-q) s(I_p - I_q)$)

Pentru o suprimare cat mai buna a zgomotului se utilizeaza o tehnica similara filtrului bilateral incrucisat ce se aplica pe nivelurile imaginii originale si pe versiunea filtrata prin piramida Laplaciana. Marimea ferestrei pentru filtrul pseudo bilateral incrucisat se adapteaza dupa nivelul de descompunere. Cu cat e mai mare nivelul de descompunere, cu atat e mai mica fereastra.

$$\hat{L}_p = \frac{1}{k(p)} \sum_{q \in S} c(p-q) s(L_p - L_q^w) L_q \quad (9)$$

L = nivelul imaginii I originale

L^w = nivelul imaginii \hat{I}^w filtrate

$k_d(p)$ = factorul de normalizare ($\sum_{q \in S} c(p-q) s(I_p - I_q)$)

Imaginea filtrate este obtinuta dupa filtrul Wiener adaptiv pe o matrice 3x3 in vecinatatea lui S_0 .

$$\hat{I}_p^w = \mu + \frac{v^2 - \sigma_0^2}{v^2} (I_p - \mu) \quad (10)$$

$\mu = \frac{1}{9} \sum_{q \in S} I_q$ (media locala)

$V^2 = \frac{1}{9} \sum_{q \in S} I_q^2 - \mu^2$ (varianta)

σ_0 = deviatia standard a zgomotului

C. Determinarea parametrilor și fluxul de lucru

a. Estimarea variației zgomotului și selectarea parametrilor

Se introduce blocul de estimare al sunetului pentru calculul deviatiei standard a zgomotului imaginii originale I .

$$\sigma_0 \approx \sqrt{\frac{\pi}{2} \frac{1}{6CR} \sum_p |H * I_p|} \quad (11)$$

CR = dimensiunea imaginii originale

$$H = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$$

Variantia de zgomot a imaginii de nivel k in piramida Laplaciana se calculeaza astfel:

$$(\sigma_k^2)^2 = \frac{1}{(4\pi\sigma^2)^k} \sigma_0^2 - \frac{1}{(4\pi\sigma^2)^{k+1}} \sigma_0^2 \quad (12)$$

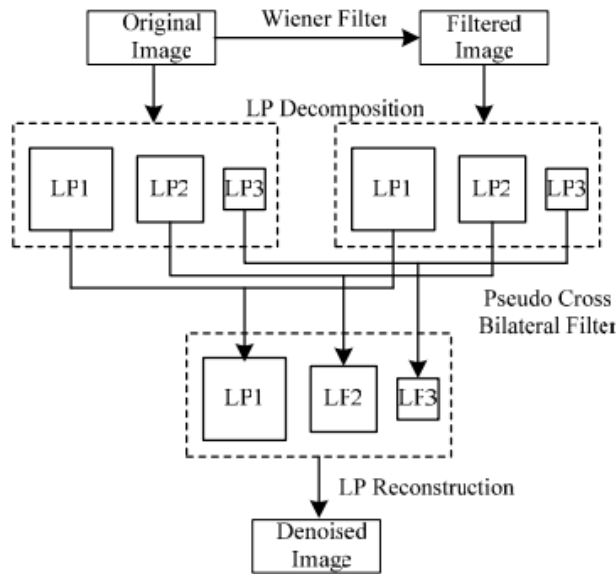
σ = deviatia standard a nucleului Gaussian in Ec.(5).

Parametrul optim se obtine prin fixarea celorlalti parametrii in functie de cea mai mare SNR. Se constata ca parametrul de imprastiere fotometrica σ_p este linear proportional cu abaterea standard a zgomotului de procesare, in timp ce parametrul de dispersie geometrica σ_g este mai putin sensibil la algoritm. Tabelul urmator prezinta SNR pentru diferite variatii de zgomot si multiplii ai variatiei σ_0 cand $\sigma_g = 3$. Astfel, SNR atinge valoarea maxima cand $\sigma_p \approx 2 \sigma_0$, ceea ce confirma ca parametrul de imprastiere fotometrica σ_p este linear proportional cu variatia zgomotului.

$n\sigma_0$ σ_0	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
10	18.71	18.94	18.66	18.16	17.57	16.94	16.31	15.70
20	14.21	15.00	14.91	14.39	13.72	13.06	12.46	11.95
30	11.39	12.36	12.33	11.89	11.38	10.94	10.58	10.30

b. *Fluxul de lucru al algoritmului propus*

Pasii procesului sunt ilustrati in figura urmatoare:



Se da o imagine originala, dupa care versiunea sa filtrata se obtine folosind filtrul adaptive Wiener. Ambele imagini, atat cea originala cat si cea filtrata, se descompun folosind piramida Laplaciana. Pseudo filtrele bilaterale incrucisate sunt aplicate pe 'straturile' piramizii. La final, imagine afara zgomot este rezultata din reconstruirea nivelurilor piramidei.

EXPERIMENTS

Performanta algoritmului este comparata cu filtrul Wiener adaptive si filtrul bilateral traditional. Nivelul de decompozitie al piramidei Laplaciene N este 3. Marimile ferestrei pseudo filtrului bilateral incrucisat sunt 5x5, 7x7, 9x9. Cei doi parametrii pentru filtrul bilateral in nivelul k al piramidei Laplaciene sunt $\sigma_g = 3$ si $\sigma_p = 2 \sigma_L^k$.

Imaginile folosite pentru analiza din urmatorul tabel sunt specificele imagini 'Lena' si 'Pappers'.

σ_0	Lena			Peppers		
	<i>Adaptive Wiener</i>	<i>Bilateral Filter</i>	<i>Our Algorithm</i>	<i>Adaptive Wiener</i>	<i>Bilateral Filter</i>	<i>Our Algorithm</i>
10	19.05	18.71	19.47	20.54	20.26	20.98
15	16.57	16.61	17.63	18.01	18.10	19.00
20	14.47	15.09	16.09	15.74	16.48	17.28
25	12.74	13.95	14.84	13.93	15.10	15.84
30	11.32	12.95	13.74	12.37	13.90	14.56

Comparand imaginile urmatoare este clar ca algoritmul propus este mai precis:

