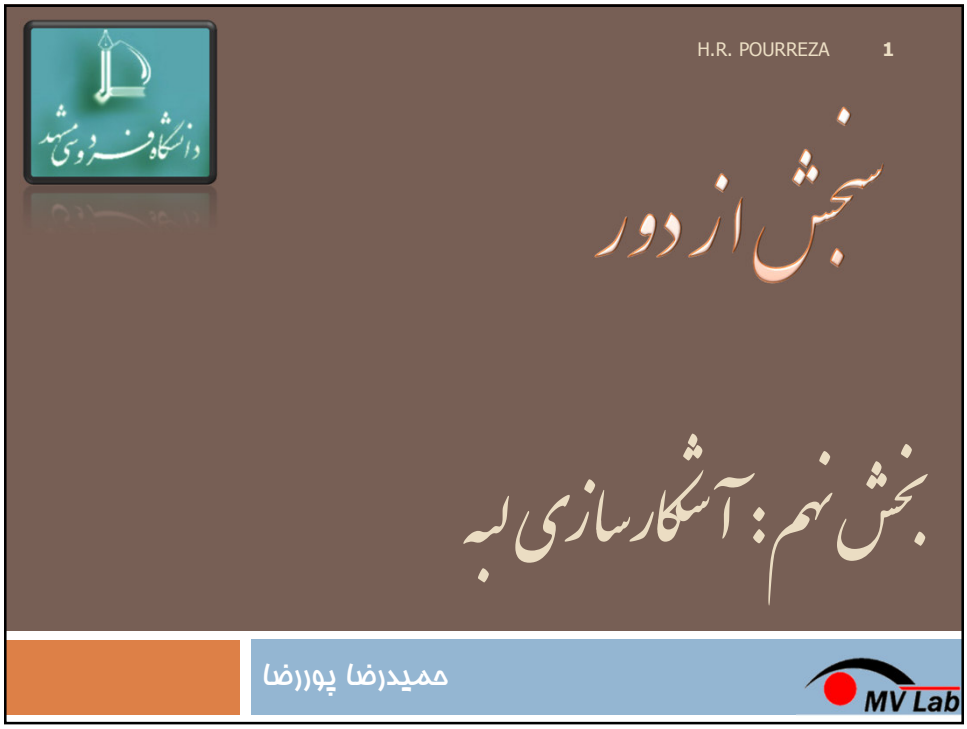
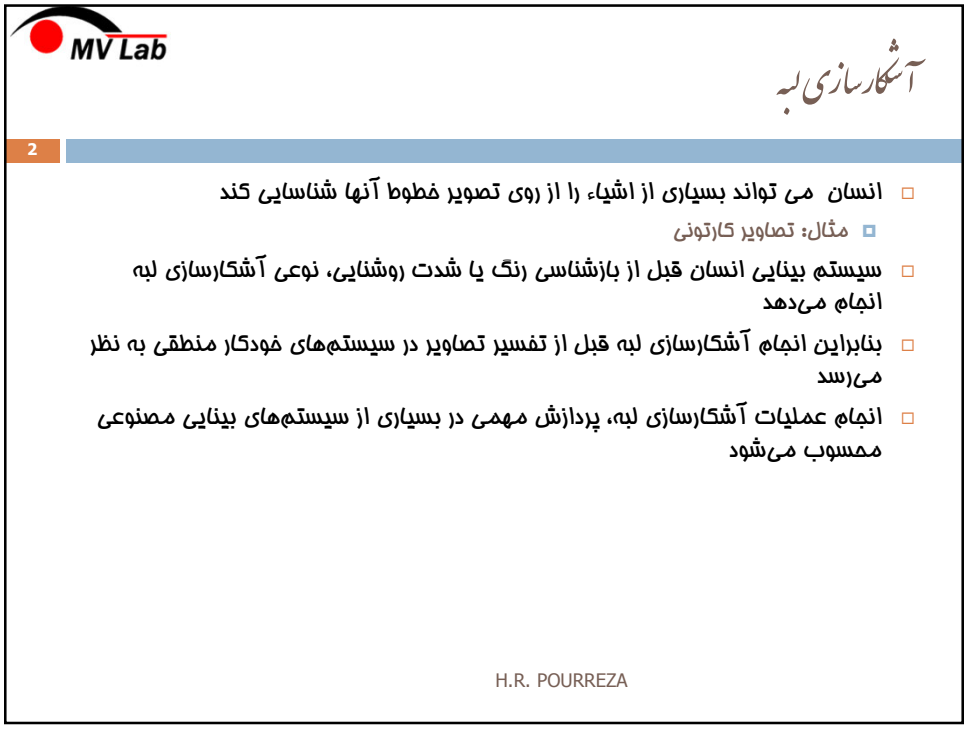
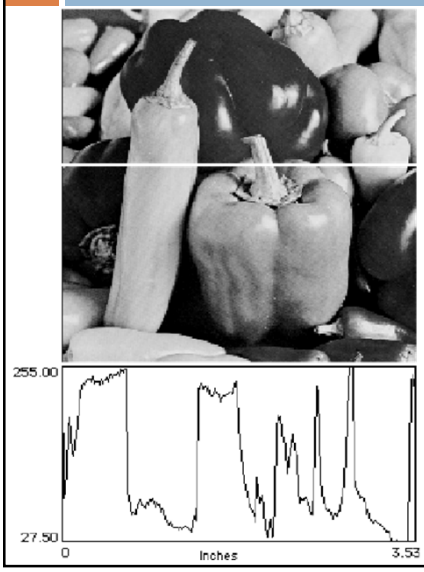

H.R. POURREZA 1
بخش از دور
بخش نهم: آشکارسازی لبه
حمیدرضا پوررضا
MV Lab


MV Lab
آشکارسازی لبه
2
انسان می تواند بسیاری از اشیاء را از روی تصویر خطوط آنها شناسایی کند
مثال: تصاویر کارتونی
سیستم بینایی انسان قبل از بازشناسی رنگ یا شدت روشنایی، نوعی آشکارسازی لبه انجام می‌دهد
بنابراین انجام آشکارسازی لبه قبل از تفسیر تصاویر در سیستم‌های خودکار منطقی به نظر می‌رسد
انجام عملیات آشکارسازی لبه، پردازش مهمی در بسیاری از سیستم‌های بینایی مصنوعی محسوب می‌شود
H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه

3



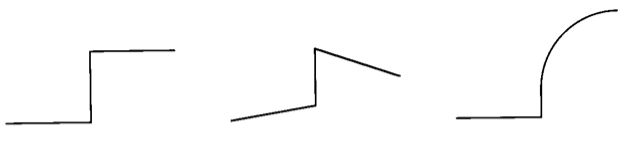
- لبه چیست؟ به تغییرات ناگهانی محلی در روشنایی تصویر لبه گفته می‌شود
- لبه‌ها عموماً در مرز دو ناحیه اتفاق می‌افتند
- لبه‌ها ویژگی مهمی در پردازش تصویر هستند
- تغییرات ناشی از نویز لبه نیستند
  - تصاویر واقعی نویزی هستند
  - آشکارسازی لبه در تصاویر نویزی کار دشواری است
- تغییرات ناشی از سایه نیز لبه نیست

H.R. POURREZA

MV Lab

لبه‌های ایده‌آل

4



Step Edges

Roof Edge

Line Edges

H.R. POURREZA

MV Lab

لبه‌های واقعی

5

H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه

6

- تعاریف
  - یک نقطه‌ی لبه، نقطه‌ای است که در محل آن تغییرات محلی روشنایی وجود دارد
  - یک آشکارساز لبه، الگوریتمی است که لبه‌ها را در یک تصویر محاسبه می‌کند
  - یک کانتور، یک مسیر بسته ناشی از مرزهای یک شی است
  - دنبال کردن لبه، فرایند جستجوی تصویر برای یافتن کانتورها است
- فرایند کشف لبه با دو پدیده مواجه است
  - لبه‌های کشف شده
    - لبه‌های واقعی که اطلاعات مفید تصویر بوده و منطبق بر مرزهای تصویر است
    - لبه‌های کاذب که مطابق لبه‌های واقعی نبوده و ناشی از نویز است
  - لبه‌های گم شده
    - لینک کردن لبه‌ها می‌تواند مشکل لبه‌های گم شده را ترمیم کند
    - دنبال کردن لبه، به کمک لبه‌های کشف و ترمیم شده، کانتورها را پیدا می‌کند

H.R. POURREZA

MV Lab

تعیین محل لبه

7

- مراحل
  - کشف قطعه لبه‌های خطی کوچک (خرده لبه)
  - گردآوری خرده لبه‌ها به منظور ایجاد لبه

- آشکارسازی خرده لبه
  - با استفاده از عملگر تفاضل (از دو کلیشه‌ی عمود بر هم استفاده می‌کنند)
  - با استفاده از کلیشه‌های لبه (از چندین کلیشه استفاده می‌کنند)
  - با انطباق مدلهای پارامتریک

نویز می‌تواند اثر منفی بر روی کشف لبه بگذارد.

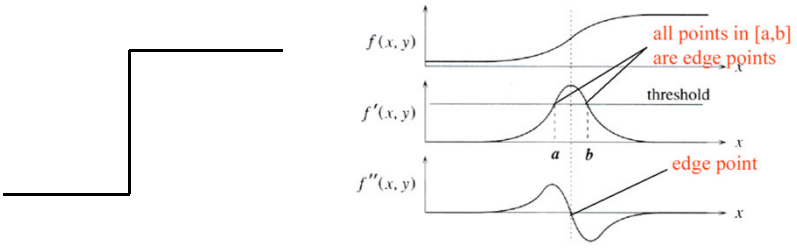
H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل

8

- لبه محلی است که در آن تغییرات رخ می‌دهد
  - اندازه‌گیری تغییرات می‌تواند به کمک مشتق انجام شود
  - بیشترین تغییرات به معنای ماکزیمم شدن مشتق اول و صفر شدن مشتق دوم می‌شود



H.R. POURREZA

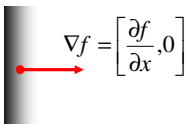
MV Lab

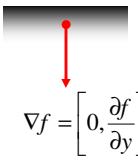
آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل

9

- گرادیان: برداری است که حداکثر نرخ تغییرات روشنایی $f(x,y)$ را ارائه می‌کند

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}\right]$$





H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل

10

- گرادیان

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}\right]$$

- جهت گرادیان:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Big/ \frac{\partial f}{\partial y}\right)$$

- این مقدار چه ارتباطی با جهت لبه دارد؟
- شدت گرادیان با اندازه گرادیان بیان می شود:

$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$

$$\|\nabla f\| \approx \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right| + \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right|$$

$$\|\nabla f\| \approx Max\left(\left|\frac{\partial f}{\partial x}\right|, \left|\frac{\partial f}{\partial y}\right|\right)$$

H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل

11

- چگونه می توان بر روی یک تصویر دیجیتال مشتق گرفت؟
- از تصویر دیجیتال، یک تصویر آنالوگ بسازیم و سپس از آن مشتق بگیریم (می‌توان بصورت عملی یک تابع را روی سطوح خاکستری تصویر برازش کرد)
- از مشتق گسسته استفاده کنیم (Finite Difference)
- از دو کلیشه متعامد استفاده شده و بر اساس آنها راستای لبه مشخص می‌شود

مثلاً

$$G_x \approx \Delta_x f(i,j) = f(i,j+1) - f(i,j)$$
$$G_y \approx \Delta_y f(i,j) = f(i,j) - f(i+1,j)$$

- این روابط متناظر با کانوالو کردن تصویر با ماسک‌های زیر است

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \qquad G_y = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

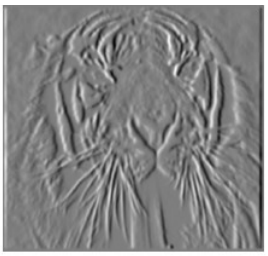
H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل

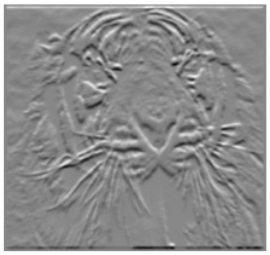
12

$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}$



-1 | 1

$\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}$



1
-1

کدام‌یک تغییرات در جهت X را نشان می‌دهد؟

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل

13

- G_x مشتق را در نقطهٔ $(i,j+1/2)$ بدست می آورد
- G_y مشتق را در نقطهٔ $(i+1/2,j)$ بدست می آورد

- ماسک ۲*۲ برای بدست آوردن لبه در $(i+1/2,j+1/2)$

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \qquad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$$

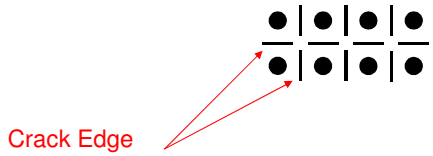
H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل

14

به لبه هایی که بین پیکسلها قرار گرفته Crack Edge گفته می‌شود. در این حال پیدا کردن لبه‌ها ساده است اما امتداد لبه‌ها تنها می‌تواند افقی یا عمودی باشد



H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل — اپراتور Robert

15

- لبه را در $(i+1/2,j+1/2)$ بدست می‌آورد

$$G_x = \begin{bmatrix} \textcircled{1} & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \qquad G_y = \begin{bmatrix} \textcircled{0} & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- برای بدست آوردن نرخ تغییرات در واحد طول بایستی مقادیر G_x و G_y بر رادیکال ۲ تقسیم شود (محاسبه‌ی گرادیان قطری انجام شده)

ایراد: حساسیت بالا به نویز به دلیل استفاده از نقاط کم در تخمین مشتق

H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل — اپراتور Prewitt

16

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & \textcircled{0} & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & \textcircled{0} & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل — اپراتور Sobel

17

- بهترین و عمومی‌ترین اپراتور آشکارساز لبه است
- لبه را در (∇f) بدست می‌آورد
- همزمان عمل هموارسازی نیز انجام می‌دهد
- تاکید بر نقاط نزدیک به (∇f) است

$$G_x = \frac{1}{8}\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & \textcircled{0} & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad G_y = \frac{1}{8}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & \textcircled{0} & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

- عموماً از ضریب 1/8 صرفنظر می‌شود، ولی برای محاسبه مقدار درست گرادیان این ضریب بایستی وجود داشته باشد

H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل — اپراتور Robinson

18

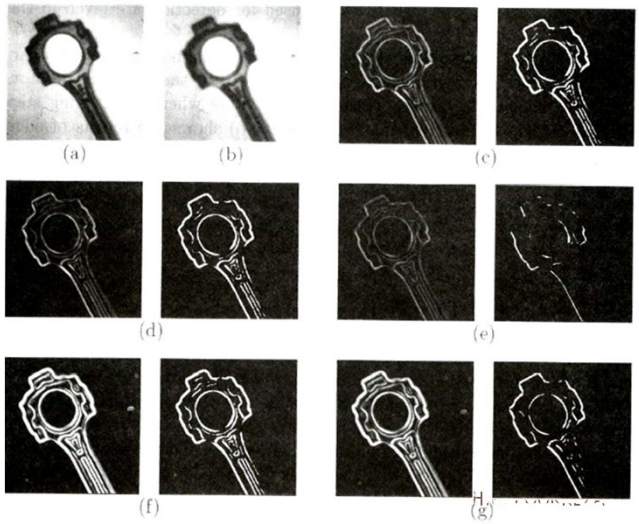
$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & \textcircled{-2} & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \qquad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \textcircled{-2} & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه و هموارسازی به عنوان پیش پردازش

19



a. Original
b. Smoothed image
c. Gradient with 1x2, 2x1 masks (T=32)
d. Gradient with 2x2 masks (T=64)
e. Roberts operator (T=64)
f. Sobel operator (T=128)
g. Prewit operator (T=128)

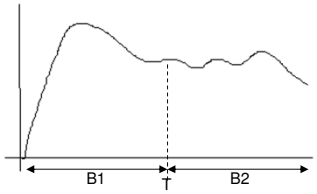
MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل

20

- بر مبنای Global Thresholding (استخراج لبه ها بر اساس نواحی)

سطوح خاکستری به دو باند تقسیم شده و مقدار آستانه‌ای بین دو باند تصویر را به دو ناحیه بخش‌بندی می‌کند



مقدار T باید طوری انتخاب شود که نقاط B_1 متعلق به زمینه و نقاط B_2 متعلق به اشیاء باشد.

تصویر را جاروب کنید. هرگاه در رفتن از یک نقطه به نقطه دیگر از یک باند به باند دیگر رفتید، به این معنی است که نقطه متعلق به مرز شیء است. بدین ترتیب تصویر در دو نوبت جاروب می‌شود. سپس از نتیجه دو بار جاروب، مرز اشیاء بدست می‌آید.

H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل

21

- بر مبنای Global Thresholding (ادامه)

نوبت اول:

$$g_1(i,j)=\begin{cases} L_E & if\ f(i,j-1)\in B_1, f(i,j)\in B_2 \quad or \quad f(i,j-1)\in B_2, f(i,j)\in B_1 \\ L_B & otherwise \end{cases}$$

نوبت دوم:

$$g_2(i,j)=\begin{cases} L_E & if\ f(i-1,j)\in B_1, f(i,j)\in B_2 \quad or \quad f(i-1,j)\in B_2, f(i,j)\in B_1 \\ L_B & otherwise \end{cases}$$

مرز تصویر:

$$g_3(i,j)=\begin{cases} L_E & if\ g_1=L_E \quad or \quad g_2=L_E \\ L_B & otherwise \end{cases}$$

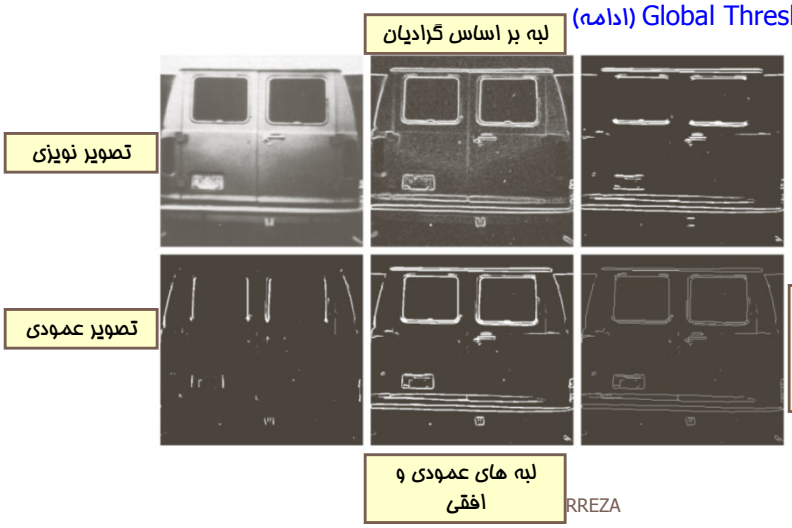
این روش برای مقادیر مختلف دو باند می‌تواند تکرار شود و مطلوبترین نتیجه انتخاب گردد. این روش برای چند سطح هم می‌تواند استفاده شود.

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک عملگر تفاضل

22

- Global Thresholding (ادامه)



MV Lab

آشکارسازی لبه با روشهای مبتنی بر کلیشه

23

- در این روش از تعدادی (۴ یا ۸) کلیشه می‌شود
  - هر کدام از این کلیشه‌ها لبه را در یک راستا مشخص می‌کند
  - نتایج اعمال کلیشه‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند
  - کلیشه‌ای که بیشترین مقدار را ارائه کند، دامنه و راستای لبه را مشخص خواهد کرد
  - به Thresholding هنوز هم احتیاج است

MV Lab

آشکارسازی لبه با روشهای مبتنی بر کلیشه — اپراتور Kirsch

24

A_0	A_1	A_2
A_7	$f(j,k)$	A_3
A_6	A_5	A_4

$$S_i = A_i + A_{i+1} + A_{i+2}$$
$$T_i = A_{i+3} + A_{i+4} + A_{i+5} + A_{i+6} + A_{i+7}$$

اندیس A ها بصورت Modula-8 است.

$$\underset{i=0}{\overset{7}{Max}}\left[\left|3T_i - 5S_i\right|\right]$$

MV Lab

آشکارسازی لبه با روشهای مبتنی بر کلیشه — اپراتور Kirsch

25

$$G_1=\begin{bmatrix}-5 & 3 & 3\\ -5 & 0 & 3\\ -5 & 3 & 3\end{bmatrix} \quad G_2=\begin{bmatrix}3 & 3 & 3\\ 3 & 0 & 3\\ -5 & -5 & -5\end{bmatrix} \quad G_3=\begin{bmatrix}3 & 3 & 3\\ -5 & 0 & 3\\ -5 & -5 & 3\end{bmatrix}$$

- با اعمال ۸ اپراتور مختلف، اپراتوری که پاسخ آن حداکثر است تعیین کننده‌ی راستای لبه است
- یک کد ۳ بیتی می‌توان برای مشخص کردن امتداد لبه در نظر گرفت
- استفاده از پنجره‌ی بزرگتر
  - تعداد جهت‌های قابل تفکیک بیشتر می‌شود
  - اثر نویز کاهش می‌یابد
  - لبه‌های نزدیک به هم قابل تشخیص نیستند
- با استفاده از دیگر اپراتورها نظیر Sobel نیز می‌توان کلیشه‌های لبه را ایجاد کرد

H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه با روشهای مبتنی بر کلیشه — با استفاده از اپراتور SOBEL

26

$$G_0=\begin{bmatrix}1 & 2 & 1\\ 0 & 0 & 0\\ -1 & -2 & -1\end{bmatrix} \quad G_1=\begin{bmatrix}2 & 1 & 0\\ 1 & 0 & -1\\ 0 & -1 & -2\end{bmatrix} \quad G_2=\begin{bmatrix}1 & 0 & -1\\ 2 & 0 & -2\\ 1 & 0 & -1\end{bmatrix} \quad G_3=\begin{bmatrix}0 & -1 & -2\\ 1 & 0 & -1\\ 2 & 1 & 0\end{bmatrix}$$

$$G_4=\begin{bmatrix}-1 & -2 & -1\\ 0 & 0 & 0\\ 1 & 2 & 1\end{bmatrix} \quad G_5=\begin{bmatrix}-2 & -1 & 0\\ -1 & 0 & 1\\ 0 & 1 & 2\end{bmatrix} \quad G_6=\begin{bmatrix}-1 & 0 & 1\\ -2 & 0 & 2\\ -1 & 0 & 1\end{bmatrix} \quad G_7=\begin{bmatrix}0 & 1 & 2\\ -1 & 0 & 1\\ -2 & -1 & 0\end{bmatrix}$$

- اپراتورهای Sobel و Kirsch عموماً بهتر از دیگر اپراتورها عمل می‌کنند
- اپراتور Kirsch به تغییرات کوچک گرادیان بسیار حساس است
- اپراتورهای با پنجره‌ی کوچکتر، بدلیل حجم محاسبات کمتر، بیشتر استفاده می‌شوند

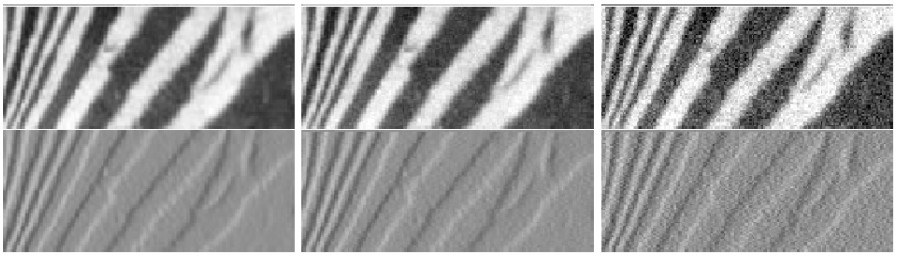
H.R. POURREZA

MV Lab

تاثیر نویز بر آشکارسازی لبه

27

- با توجه به تعریف لبه، نویز نیز می‌تواند به عنوان خرده لبه آشکار شود



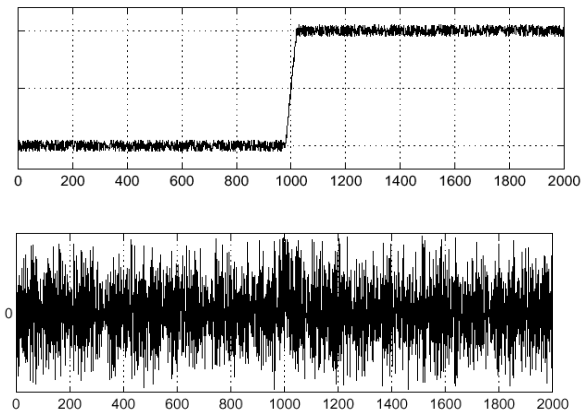
H.R. POURREZA

MV Lab

تاثیر نویز بر آشکارسازی لبه

28

- یک سطر از یک تصویر را در نظر بگیرد



H.R. POURREZA

MV Lab

تاثیر نویز بر آشکارسازی لبه

29

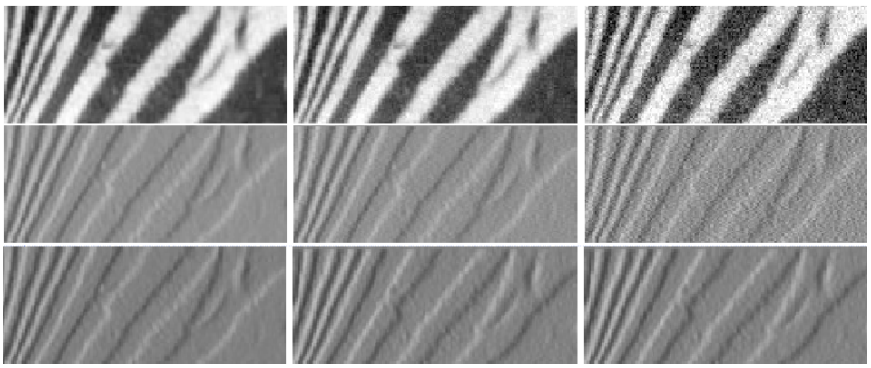
- نویز عموماً به کمک یک تابع چگالی احتمال مدل می‌شود
  - یک روش عمومی برای مدل کردن نویز، استفاده از یک مدل نویز گوسی جمع شونده‌ی ایستا است. در این حال عموماً میانگین نویز صفر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین تنها پارامتر مدل نویز، انحراف معیار آن خواهد بود
  - مزیت استفاده از این مدل، سهولت تخمین پاسخ فیلترها یا عملگرها به آن است
  - برای کاهش اثر نویز از هموارسازی استفاده میشود

H.R. POURREZA

MV Lab

تاثیر هموارسازی در آشکارسازی لبه

30

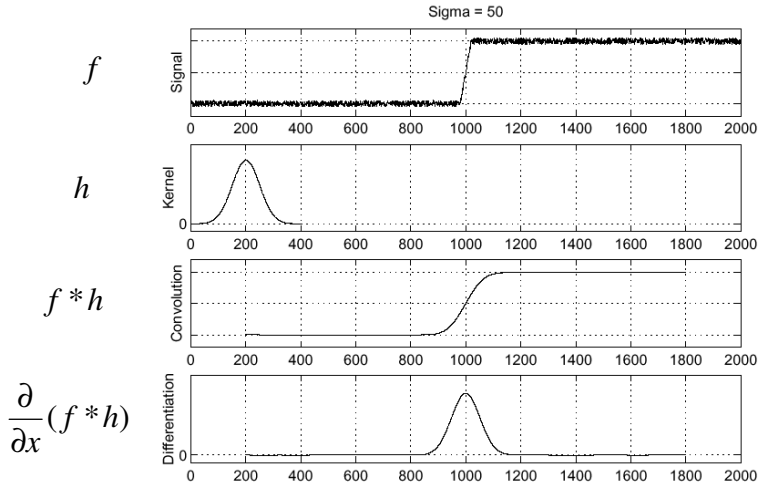


H.R. POURREZA

MV Lab

تاثیر هموارسازی در آشکارسازی لبه

31



H.R. POURREZA

MV Lab

استفاده از مشتق مرتبه دو در آشکارسازی لبه

32

- مشتق دوم دو بعدی

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

- تقریب دیجیتالی

$$\nabla^2 f(i,j) \approx f(i+1,j) + f(i-1,j) + f(i,j+1) + f(i,j-1) - 4f(i,j)$$

- کلیشه‌ی لاپلاسین

$$\nabla^2 \approx \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

H.R. POURREZA

MV Lab

استفاده از مشتق مرتبه دو در آشکارسازی لبه

33

- ماکزیمم شدن مشتق اول (لبه) متناظر با صفر شدن مشتق دوم است
- اشکالات استفاده از مشتق دوم
  - حساسیت بالاتر به نویز
  - از بین رفتن اطلاعات جهت (مشتق دوم ایزوتروپیک است)
- بنابراین عموماً از ترکیب مشتق اول و دوم استفاده می شود
- روش ترکیبی:
  - یک نقطه لبه است اگر

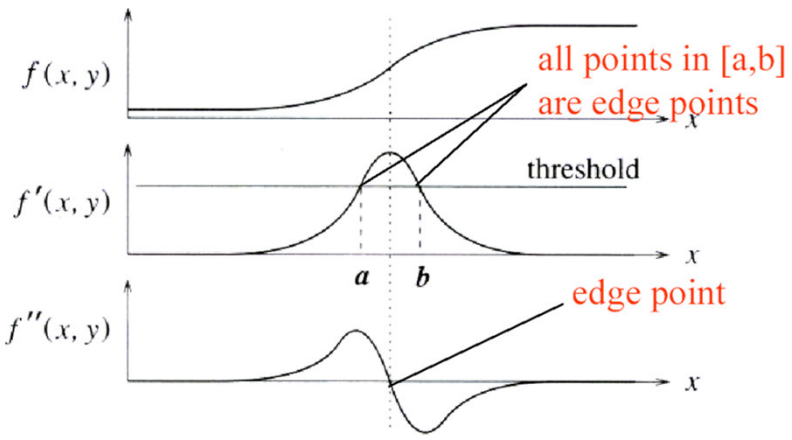
$$\nabla^2 f(x,y) \approx 0 \quad \& \quad |\nabla f(x,y)| > Threshold$$

H.R. POURREZA

MV Lab

استفاده از مشتق مرتبه دو در آشکارسازی لبه

34



H.R. POURREZA

MV Lab

تئوری مشتق کانولوشن

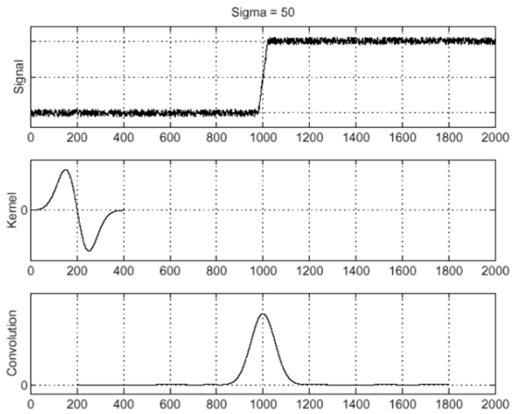
35

$$\frac{\partial}{\partial x}(h * f) = (\frac{\partial}{\partial x} h) * f$$

f

$\frac{\partial}{\partial x} h$

$(\frac{\partial}{\partial x} h) * f$



این مساله باعث صرفه جویی در یک عمل می‌شود

H.R. POURREZA

MV Lab

استفاده از مشتق مرتبه دو در آشکارسازی لبه - لاپلاسین گوسین LOG

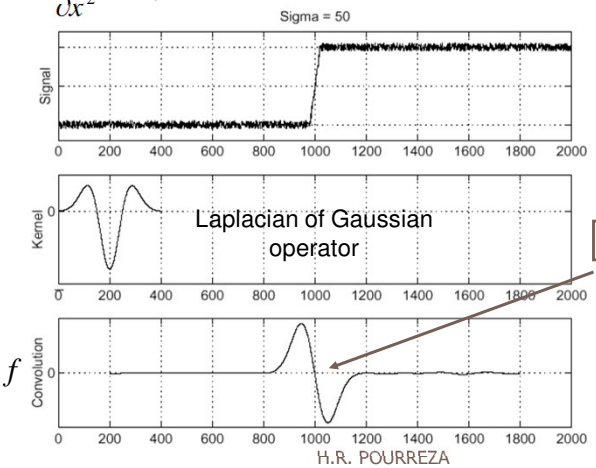
36

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}(h * f)$$

f

$\frac{\partial^2}{\partial x^2} h$

$(\frac{\partial^2}{\partial x^2} h) * f$



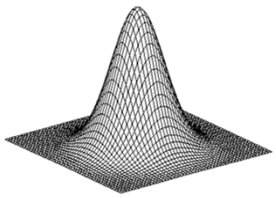
محل لبه

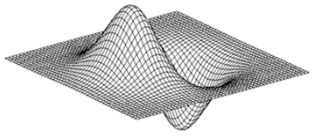
H.R. POURREZA

MV Lab

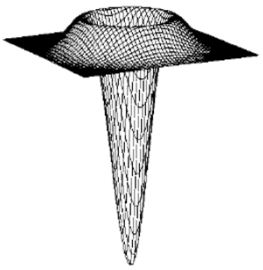
استفاده از مشتق مرتبه دو در آشکارسازی لبه - لاپلاسین گوسین LOG

37





Laplacian of Gaussian



Gaussian

$$h_\sigma(u,v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{u^2+v^2}{2\sigma^2}}$$

Derivative of Gaussian

$$\frac{\partial}{\partial x} h_\sigma(u,v)$$

$$\nabla^2 h_\sigma(u,v)$$

H.R. POURREZA

MV Lab

استفاده از مشتق مرتبه دو در آشکارسازی لبه - لاپلاسین گوسین LOG

38

5 × 5 Laplacian of Gaussian mask

0	0	−1	0	0
0	−1	−2	−1	0
−1	−2	16	−2	−1
0	−1	−2	−1	0
0	0	−1	0	0

تخمین دیجیتالی فیلتر LoG

17 × 17 Laplacian of Gaussian mask

0	0	0	0	0	0	−1	−1	−1	−1	−1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	0	0	0	0
0	0	−1	−1	−1	−2	−3	−3	−3	−3	−3	−2	−1	−1	−1	0	0
0	0	−1	−1	−2	−3	−3	−3	−3	−3	−3	−3	−2	−1	−1	0	0
0	−1	−1	−2	−3	−3	−3	−2	−3	−2	−3	−3	−3	−2	−1	−1	0
0	−1	−2	−3	−3	−3	0	2	4	2	0	−3	−3	−3	−2	−1	0
−1	−1	−3	−3	−3	0	4	10	12	10	4	0	−3	−3	−3	−1	−1
−1	−1	−3	−3	−2	2	10	18	21	18	10	2	−2	−3	−3	−1	−1
−1	−1	−3	−3	−3	4	12	21	24	21	12	4	−3	−3	−3	−1	−1
−1	−1	−3	−3	−2	2	10	18	21	18	10	2	−2	−3	−3	−1	−1
−1	−1	−3	−3	−3	0	4	10	12	10	4	0	−3	−3	−3	−1	−1
0	−1	−2	−3	−3	−3	0	2	4	2	0	−3	−3	−3	−2	−1	0
0	−1	−1	−2	−3	−3	−3	−2	−3	−2	−3	−3	−3	−2	−1	−1	0
0	0	−1	−1	−2	−3	−3	−3	−3	−3	−3	−3	−2	−1	−1	0	0
0	0	−1	−1	−1	−2	−3	−3	−3	−3	−3	−2	−1	−1	−1	0	0
0	0	0	0	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	−1	−1	−1	−1	−1	0	0	0	0	0	0

H.R. POURREZA

MV Lab

استفاده از مشتق مرتبه دو در آشکارسازی لبه - لاپلاسین گوسین LOG

39

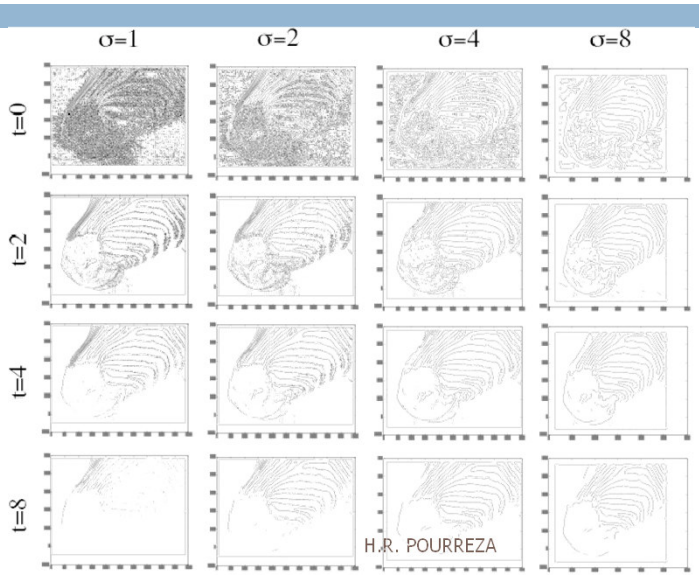
- درجه‌ی هموارسازی را σ تعیین می کند
  - σ بزرگتر موجب می‌شود نویز بهتر فیلتر شود، ولی باعث تار شدن و جابجایی لبه می‌شود
  - σ کوچکتر باعث ایجاد لبه‌های کاذب می‌شود، ولی محل لبه‌ها بهتر تعیین می‌شود
- بهترین مقدار برای اندازه فیلتر نامشخص است

H.R. POURREZA

MV Lab

استفاده از مشتق مرتبه دو در آشکارسازی لبه - لاپلاسین گوسین LOG

40



H.R. POURREZA

MV Lab

استفاده از مشتق مرتبه دو در آشکارسازی لبه - لاپلاسین گوسین LOG

41

- LoG بخوبی توسط DoG تخمین زده می‌شود. DoG کانوالو تفاضل دو ماسک گوسین با σ کاملاً متفاوت با تصویر است

original

smoothed (5x5 Gaussian)

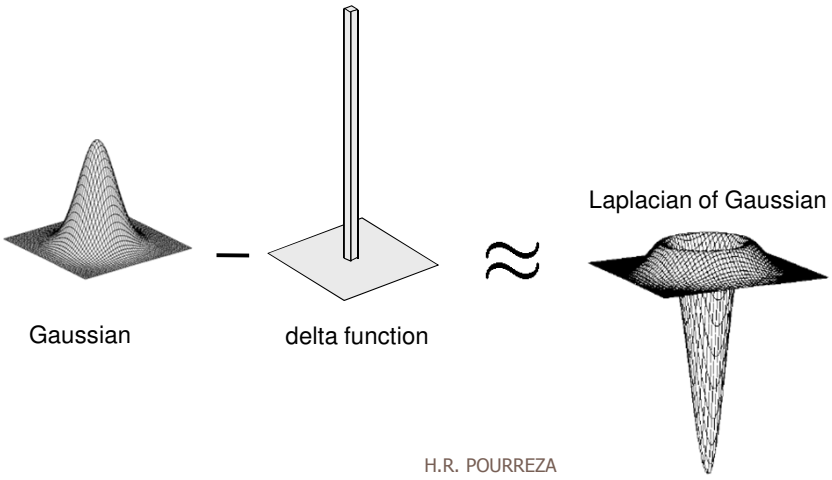
smoothed – original
(scaled by 4, offset +128)

H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی لبه به کمک تفریق

42



H.R. POURREZA

MV Lab

مراحل آشکارسازی لبه

43

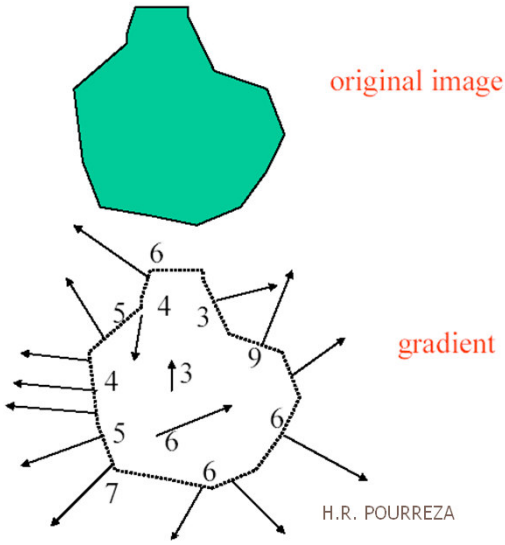
- فیلترینگ: به منظور کاهش نویز و افزایش کارایی کشف لبه
  - مصالحه بین شدت لبه و کاهش نویز انجام می‌شود
  - فیلترها لبه ها را نیز هموار می‌کنند
- بهبود لبه به کمک اپراتور گرادیان
- آشکارسازی لبه: نگه داشتن لبه‌های واقعی و حذف لبه‌های کاذب
  - نگه داشتن لبه‌های قوی با استفاده از یک مقدار آستانه
- تعیین مکان لبه: محاسبه‌ی مکان و راستای لبه

H.R. POURREZA

MV Lab

مراحل آشکارسازی لبه

44

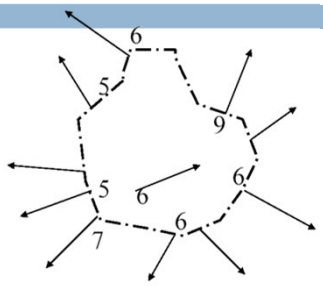


H.R. POURREZA

MV Lab

مراحل آشکارسازی لبه

45



مقدار آستانه T=4

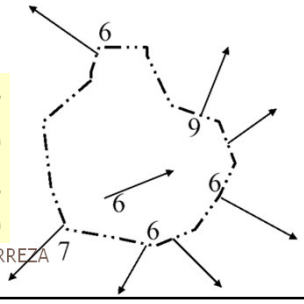
لبه های با قوت بیش از ۴ نگه داشته شده است

نویز کاهش یافته است.

مقدار آستانه T=5

لبه های با قوت بیش از ۵ نگه داشته شده است

نویز حذف شده، اما بخشی از کانتور نیز حذف شده است.



MV Lab

مراحل آشکارسازی لبه

46

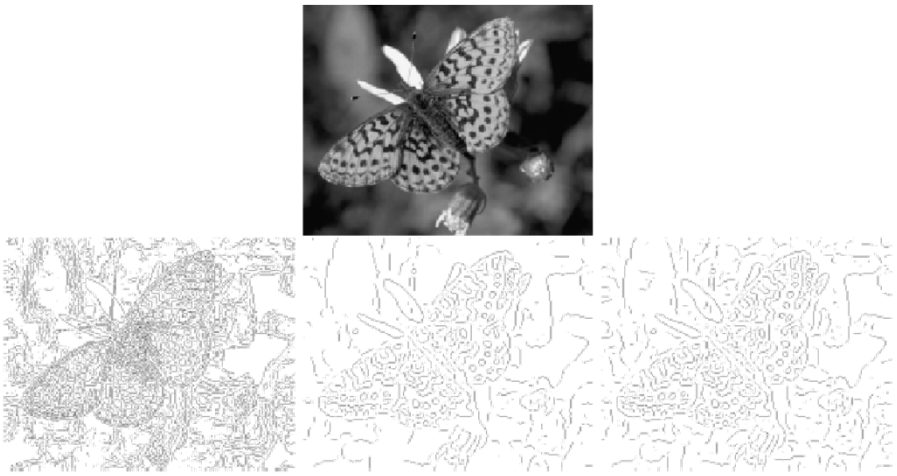
- هموارسازی و Thresholding:
  - هموارسازی:
    - استفاده از درجه‌ی بالای هموارسازی (کلیشه‌های بزرگتر یا استفاده از چند بار هموارسازی) نویز را حذف می‌کند اما باعث تار شدن لبه‌ها نیز می‌شود
    - استفاده از فیلترهای با درجه‌ی پایین هموارسازی، نویز را باقی می‌گذارد
  - Thresholding:
    - استفاده از مقدار آستانه بزرگ علاوه بر نویز بخشی از لبه را نیز حذف می‌کند
    - آستانه‌ی کوچک موجب باقی ماندن نویز می‌شود

در هموارسازی بایستی یک مصالحه (Trade-off) بین آشکارسازی و دقت تعیین محل لبه صورت گیرد

MV Lab

اثر حد آستانه بر آشکارسازی لبه

47



H.R. POURREZA

MV Lab

مراحل آشکارسازی لبه

48

- تعیین حد آستانه:
  - آستانه‌ی ثابت
    - با استفاده از متوسط تصویر گرادیان
    - با استفاده از هیستوگرام تصویر گرادیان
  - آستانه‌ی وفقی (Adaptive)
    - استفاده از متوسط محلی تصویر گرادیان

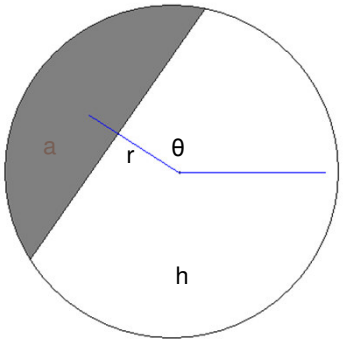
H.R. POURREZA

MV Lab

استفاده از مدل لبه

49

- اپراتور هیوکل (Hukel):
  - از یک همسایگی دایره‌ای و چهار پارامتر لبه تعیف می‌شود. سپس در یک همسایگی دایروی پارامترهای چهارگانه چنان تخمین زده می‌شوند، که بهترین انطباق بین تصویر و مدل بدست اید. در این حال مجموع مربعات تفاضل تصویر و مدل می‌تواند برای تابع هزینه (Cost Function) استفاده شود.



H.R. POURREZA

MV Lab

آشکارسازی خطوط در تصویر

50

- کشف خطوط می‌تواند به کمک تعدادی کلیشه و رابطه‌ی زیر انجام شود:

$$f(i,j) = \max[0, \max_k (g, h_k)]$$

$$h_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad h_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$h_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad h_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad h_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$h_7 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

H.R. POURREZA

MV Lab

نازک سازی خطوط

51

- Non-maximal Suppression (قبل از آستانه‌گیری)
- استفاده از تعدادی کلیشه (بعد از آستانه‌گیری)

$$\begin{bmatrix}1 & x & 0\\1 & 1 & 0\\x & 0 & 0\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}x & 1 & 1\\0 & 1 & x\\0 & 0 & 0\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}x & 1 & x\\1 & 1 & x\\x & x & 0\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}x & 1 & x\\x & 1 & 0\\0 & x & 0\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\x & 1 & 0\\1 & 1 & x\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}0 & 0 & x\\0 & 1 & 1\\0 & x & 1\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}x & x & 0\\1 & 1 & x\\x & 1 & x\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}0 & x & x\\x & 1 & 1\\x & 1 & x\end{bmatrix}$$

پس از انطباق Seed Pixel با صفر جایگزین می‌شود

MV Lab

پرکردن لبه‌ها (Edge Filling)

52

- استفاده از تعدادی کلیشه (بعد از آستانه‌گیری)

$$\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\0 & 0 & 0\\0 & 1 & 0\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\1 & 0 & 1\\0 & 0 & 0\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\0 & 0 & 0\\0 & 1 & 0\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}0 & 0 & 1\\1 & 0 & 0\\0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\0 & 0 & 0\\0 & 0 & 1\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\0 & 0 & 1\\1 & 0 & 0\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\0 & 0 & 0\\0 & 0 & 1\end{bmatrix}\quad\begin{bmatrix}0 & 0 & 1\\0 & 0 & 0\\1 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

پس از انطباق، Seed Pixel با یک جایگزین می‌شود

روشهای فوق تضمینی برای یک پیکسل بودن عرض خطوط و یا پیوستگی آن ایجاد نمی‌کند

MV Lab

تناظر

53

- تناظر کاربردهای متعددی دارد مانند تخمین حرکت و تخمین عمق
- در حالت عمومی برای بدست آوردن تناظر بین نقاط دو تصویر، تناظر هر پیکسل با کلیه نقاط تصویر دیگر الزامی است که البته این کار با محاسباتی بسیار زیادی را ایجاد می‌کند
- کاهش محاسبات می‌تواند به کمک ایجاد تناظر بین نقاط ویژه (مانند گوشه‌ها) حاصل شود

H.R. POURREZA