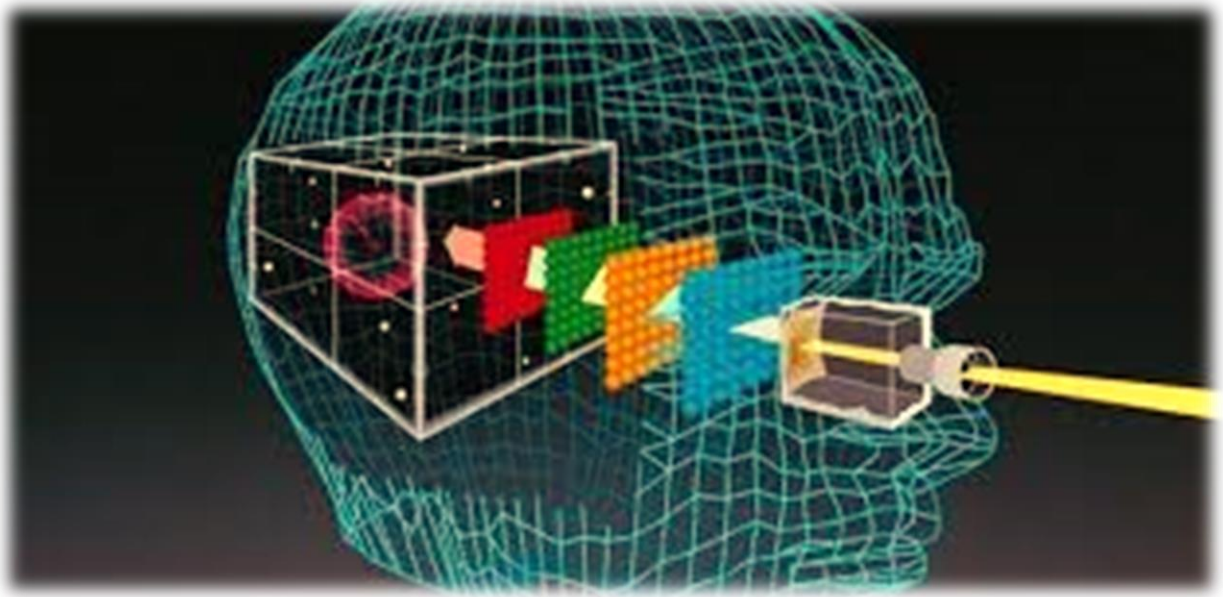


بینایی کامپیوتر

Computer Vision

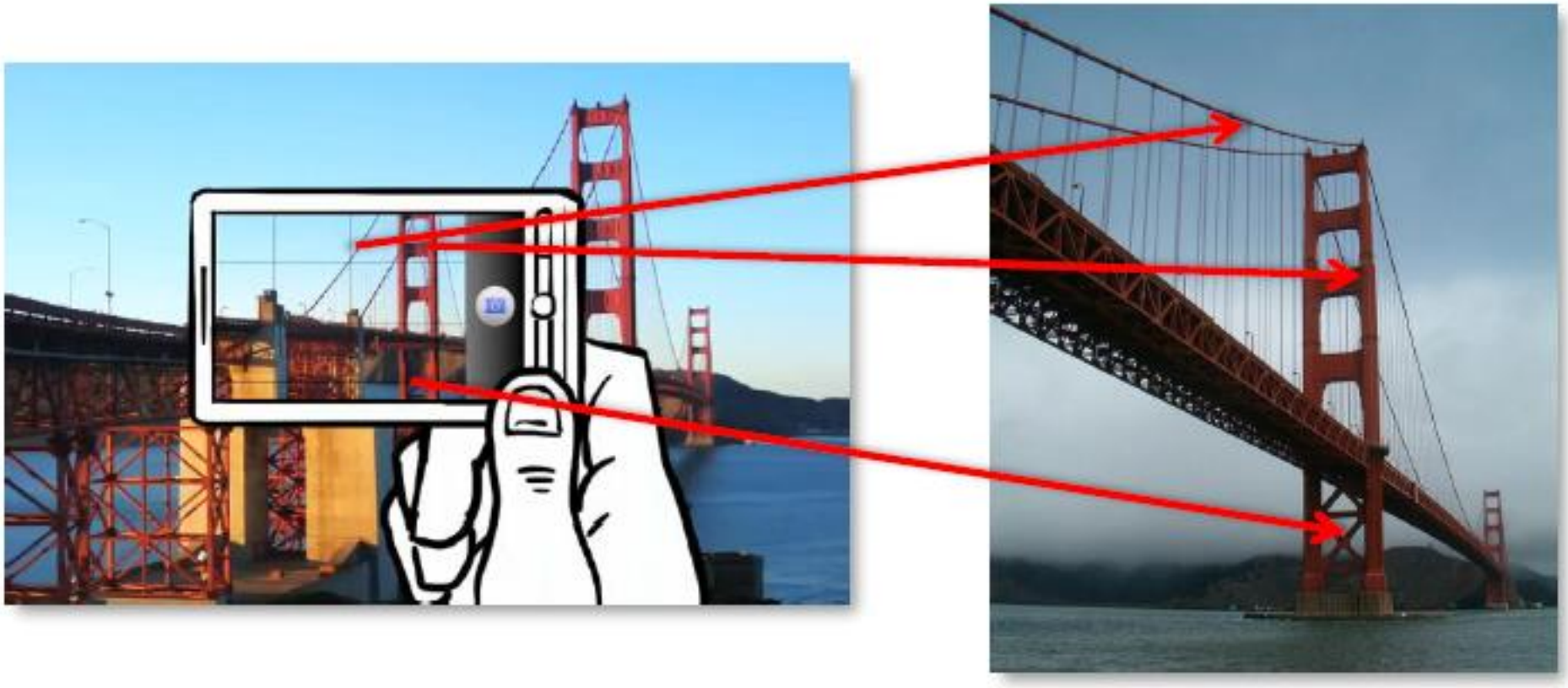
میلاد سلطانی

فصل ششم

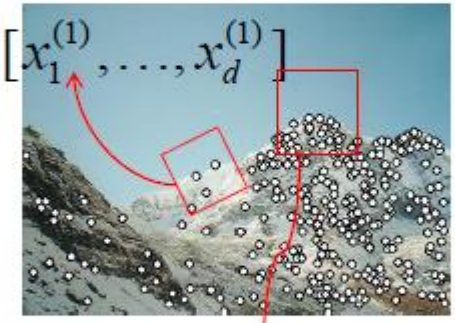
توصیف گرهای ویژگی
Feature descriptors

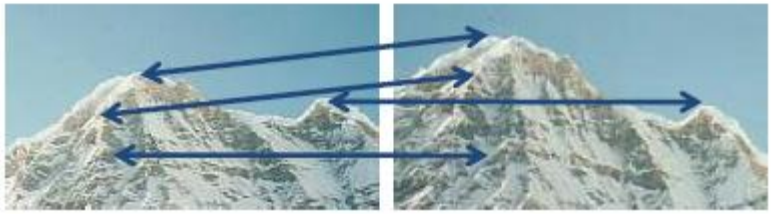
- مقدمه
- شرایط توصیف کننده ویژگی
- طراحی یک توصیف گر مقاوم به مقیاس
- طراحی یک توصیف گر مقاوم به چرخش
- الگوریتم SIFT
- کاربردها، مزایا و معایب SIFT

توصیف گرهای ویژگی و انطباق ویژگی ها



انطباق ویژگی ها





۱) تشخیص: شناسایی نقاط مورد علاقه

۲) **توصیف: استخراج بردار توصیف گر ویژگی اطراف هر نقطه مورد علاقه**

۳) تطبیق: تعیین مطابقت بین توصیف گرهای دو تصویر

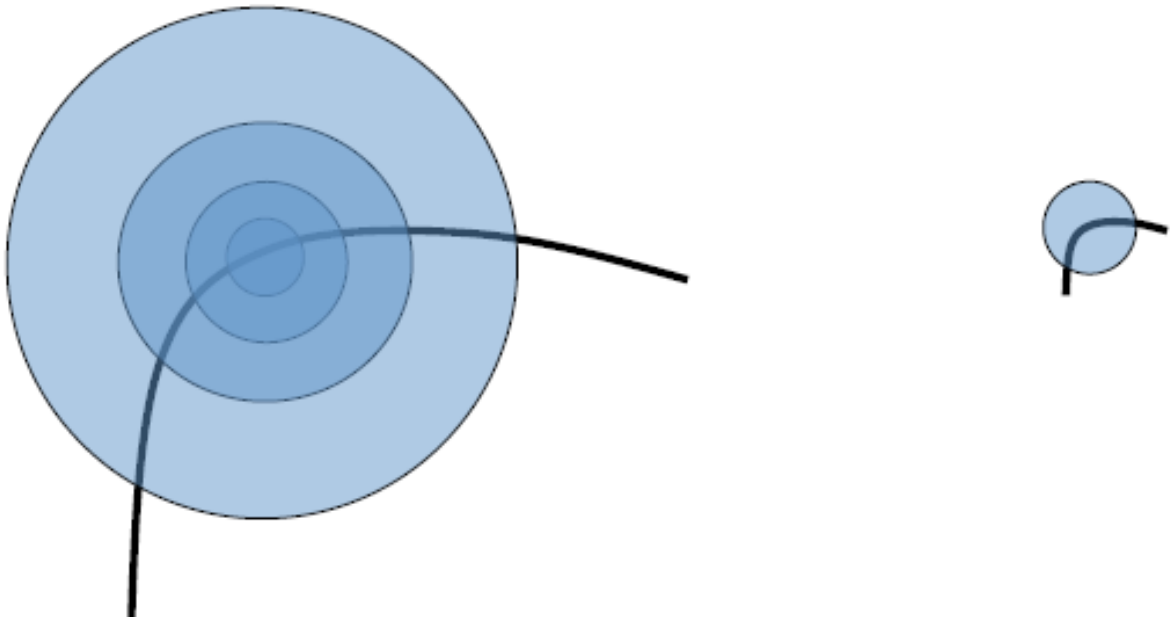
شرایط توصیف کننده ویژگی

- تغییر ناپذیری (Invariance)
  - توصیف ارائه شده توسط توصیف گر در صورت اعمال تبدیلات روی تصویر نباید تغییر کند (پس از مرحله یافتن ویژگی)

- تمایزپذیری (Discriminability)
  - یک توصیف گر باید تا حد امکان نقاط متفاوت را بصورت منحصر به فرد و یکتا توصیف کند.

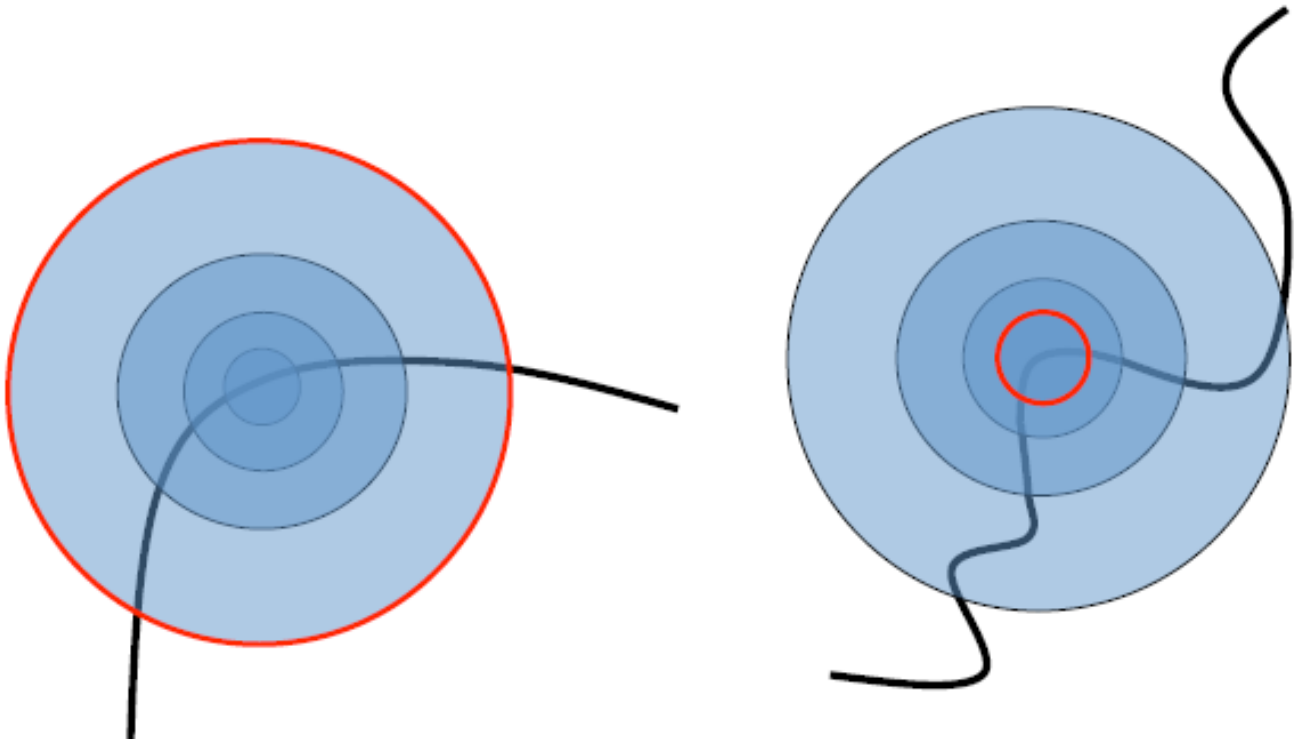
طراحی یک توصیف گر مقاوم به مقیاس

- مناطقی (مثلاً دایره‌ها) با اندازه‌های مختلف در اطراف یک نقطه را در نظر بگیرید
- مناطق با اندازه های مربوطه در هر دو تصویر یکسان به نظر می رسند.



طراحی یک توصیف گر مقاوم به مقیاس

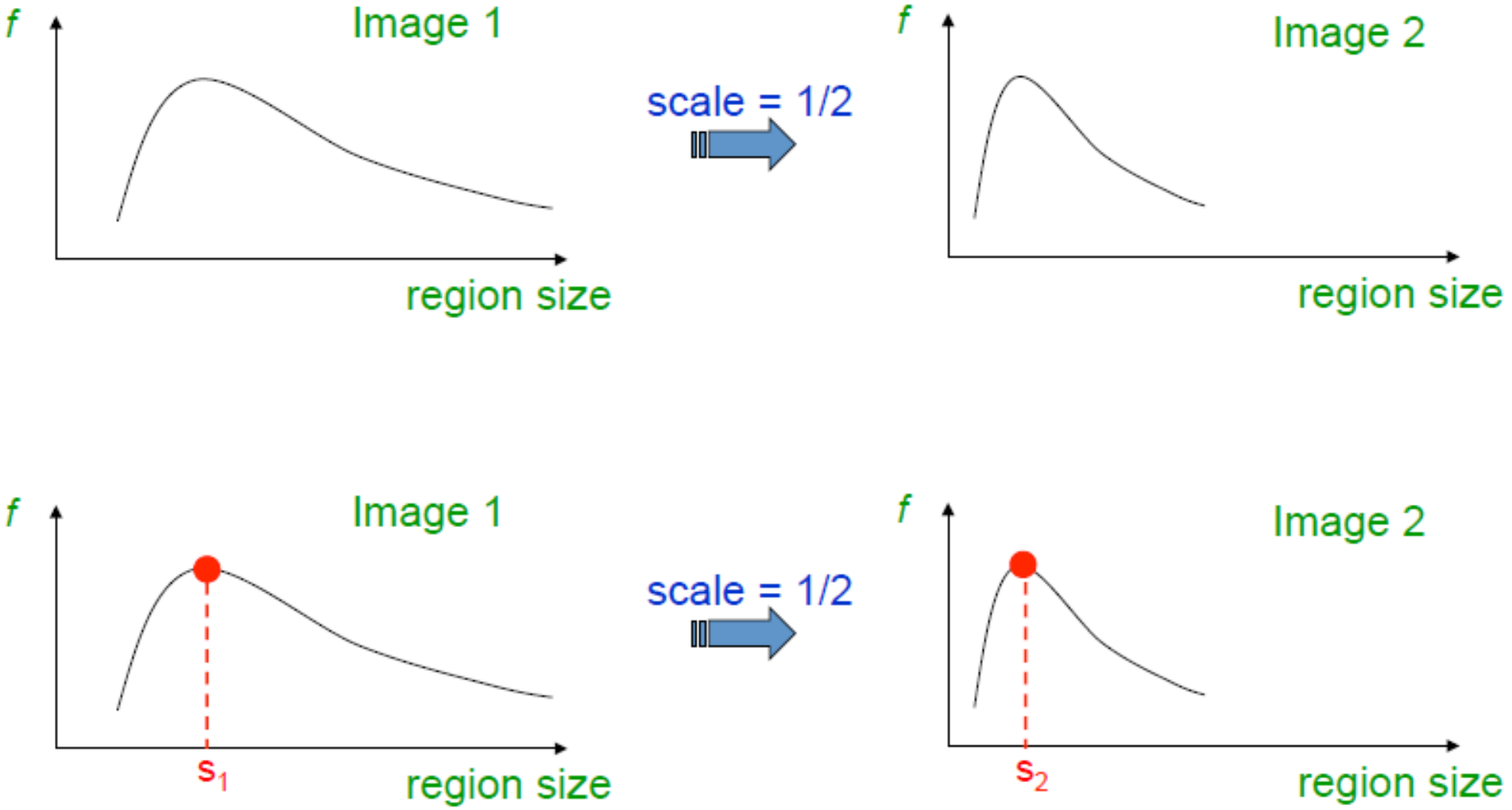
چالش: چگونه دایره های مربوطه را به طور مستقل در هر تصویر انتخاب کنیم؟



طراحی یک توصیف گر مقاوم به مقیاس

راه حل:

- یک تابع در ناحیه (دایره) طراحی کنید که نسبت به مقیاس تغییر ناپذیر است (حتی اگر در مقیاس های مختلف باشند)
  - مثلاً تابع میانگین شدت روشنایی برای مناطق مربوطه (حتی با اندازه های مختلف) یکسان خواهد بود.
- برای یک نقطه در تصویر، می‌توان تابع را به عنوان تابعی از اندازه منطقه (شعاع دایره) در نظر گرفت.
- ماکزیمم محلی این تابع را محاسبه کنید.
- اندازه منطقه، که ماکزیمم برای آن محاسبه شده، باید با مقیاس تصویر همگام باشد.


f
Image 1
region size
scale = 1/2
f
Image 2
region size
f
Image 1
s1
region size
scale = 1/2
f
Image 2
s2
region size

طراحی یک توصیف گر مقاوم به مقیاس

- یک تابع خوب برای تشخیص مقیاس دارای یک قله تیز پایدار است.

- معمولاً در اکثر تصاویر یک تابع خوب به کنتراست پاسخ می دهد (تغییر شدید شدت موضعی)

طراحی یک توصیف گر مقاوم به مقیاس

- تابع تعریف کننده مقیاس

$$f = \text{Kernel} * \text{Image}$$

- انواع کرنل های مورد استفاده

$$L = \sigma^2 \left(G_{xx}(x, y, \sigma) + G_{yy}(x, y, \sigma) \right)$$

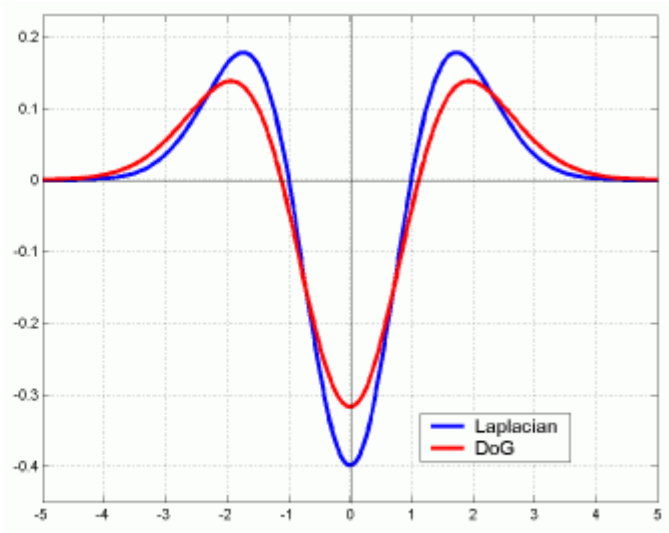
(Laplacian)

$$DoG = G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)$$

(Difference of Gaussians)

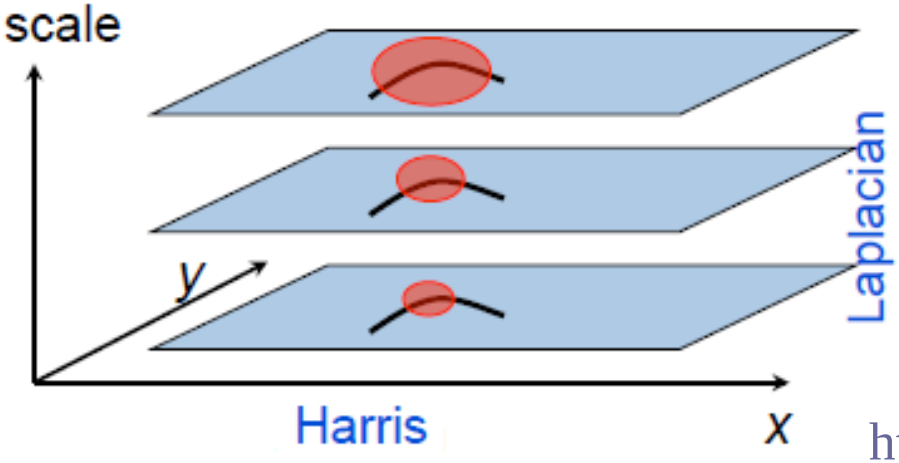
where Gaussian

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$



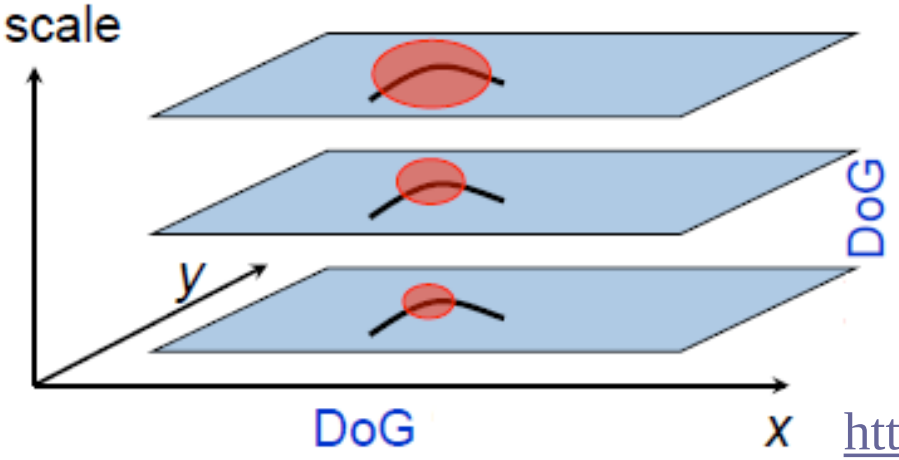
- هر دو کرنل نسبت به مقیاس و چرخش مقاوم هستند.

طراحی یک توصیف گر مقاوم به مقیاس



- هریس لاپلاسین
  - یافتن ماکزیمم محلی
    - گوشه یاب هریس در فضا
    - لاپلاسین در مقیاس

https://ieeexplore.ieee.org/document/937561

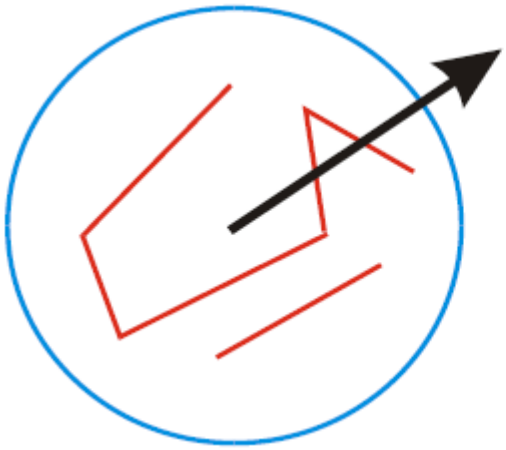


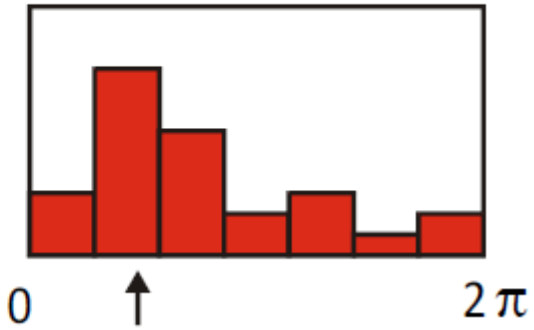
- SIFT
  - یافتن ماکزیمم محلی
    - تفاوت گاوسین در فضا و مقیاس

https://www.cs.ubc.ca/~lowe/papers/ijcv04.pdf

طراحی یک توصیف گر مقاوم به چرخش

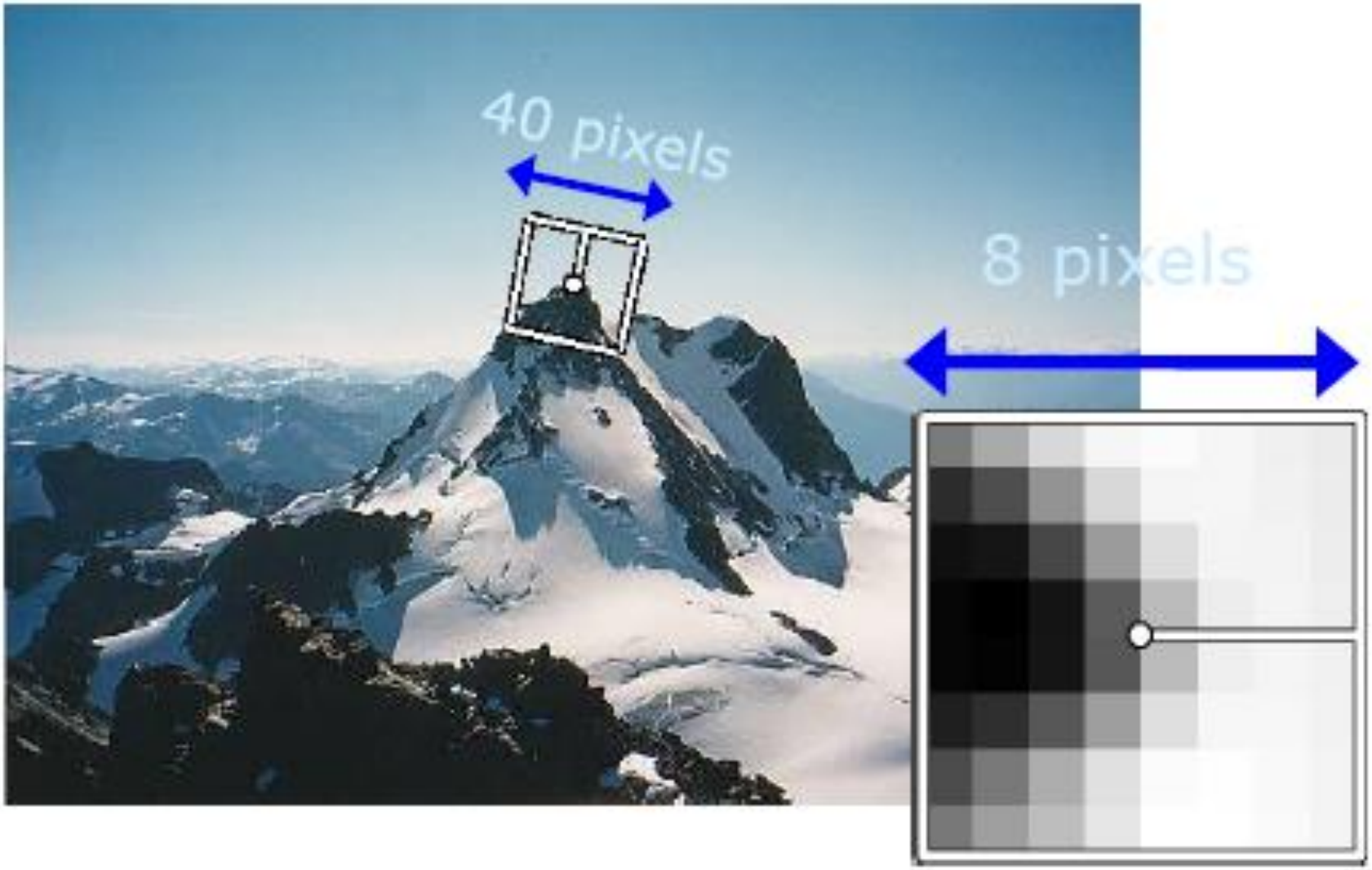
- محاسبه گرادیان برای هر پیکسل موجود در تکه تصویر
  - محاسبه زاویه گرادیان برای هر پیکسل
  - تشکیل هیستوگرام فراوانی زوایا و انتخاب زاویه گرادیان دارای بیشترین تکرار
  - چرخش کل تکه تصویر با توجه به زاویه محاسبه شده تا رسیدن به یک عدد ثابت و مشخص مانند صفر
  - توصیف تکه تصویر مورد نظر





طراحی یک توصیف گر مقاوم به چرخش

- الگوریتم تکه های چند مقیاسی جهت دار (**M**ultiscale **O**riented **P**atche**S**)
  - انتخاب یک پنجره ۴۰×۴۰ پیکسل حول نقطه ویژگی
  - تغییر اندازه پنجره به یک پنجم یعنی سایز ۸×۸
    - به دلیل از بین بردن نویز و جزئیات بی اهمیت
  - چرخش ناحیه تا افقی شدن یعنی زاویه غالب صفر شود
    - به دلیل مقاوم کردن به چرخش
  - نرمالیزه کردن مقادیر پیکسل های داخل پنجره ۸×۸
    - تفریق میانگین مقادیر پیکسل ها از مقادیر پیکسل ها و تقسیم بر انحراف معیار
    - به دلیل مقاوم کردن به تغییرات روشنایی و کنتراست


40 pixels
8 pixels

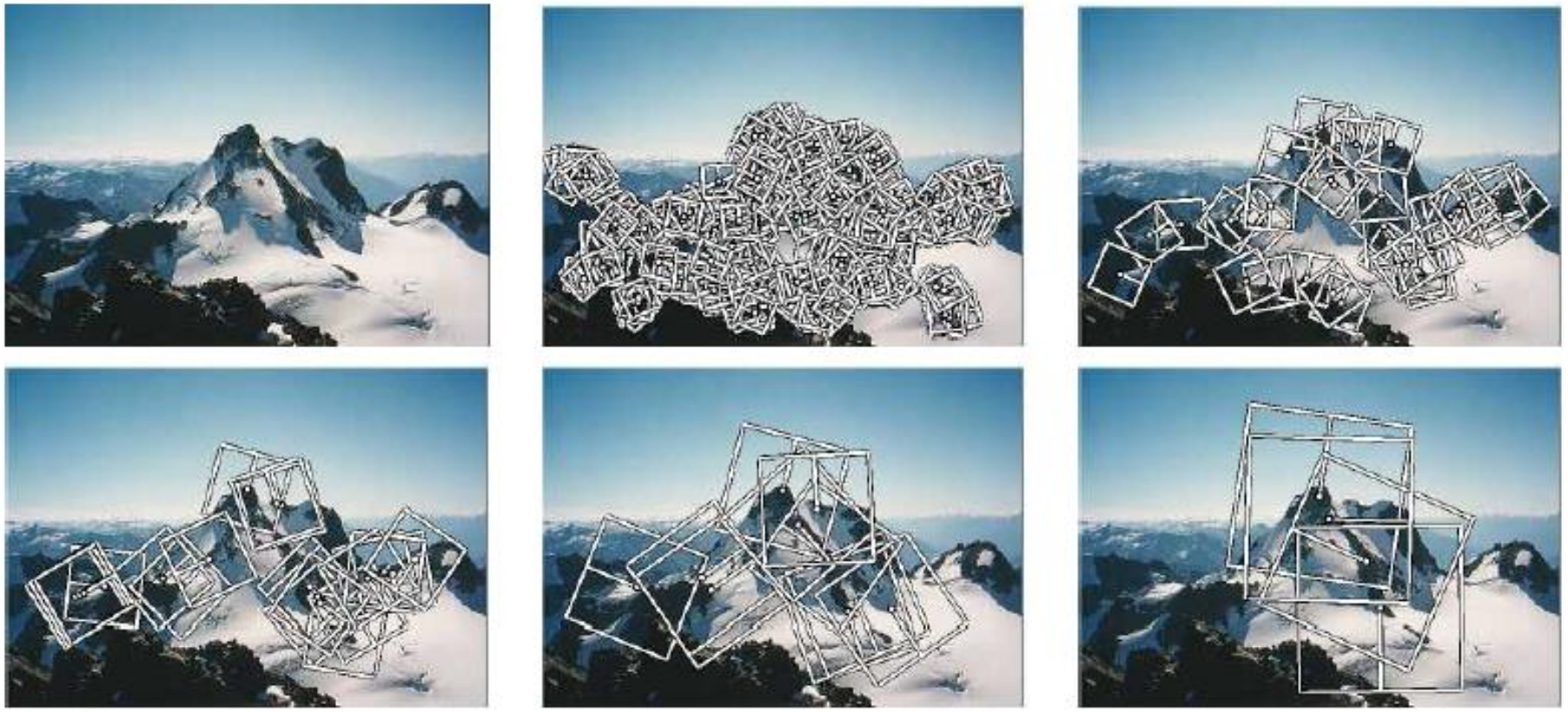


Figure 7.10 *Multi-scale oriented patches (MOPS) extracted at five pyramid levels (Brown, Szeliski, and Winder 2005) © 2005 IEEE. The boxes show the feature orientation and the region from which the descriptor vectors are sampled.*

الگوریتم SIFT

- الگوریتم SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) یا الگوریتم تبدیل ویژگی مقاوم نسبت به مقیاس، برای شناسایی و توصیف ویژگی‌های محلی در تصاویر استفاده می‌شود.

- این الگوریتم توسط دیوید لُووِ در سال ۱۹۹۹ معرفی شد و به دلیل مقاوم بودن در برابر تغییرات مقیاس، چرخش، روشنایی و انسداد جزئی، به یکی از ابزارهای اصلی در پردازش تصویر تبدیل شده است.

اهداف اصلی الگوریتم SIFT

- شناسایی و استخراج نقاط کلیدی (Keypoints) متمایز در تصویر

- توصیف این نقاط کلیدی با یک بردار ویژگی که در برابر موارد زیر مقاوم باشد:
  - **مقیاس**: قابلیت کار روی تصاویر با اندازه‌های مختلف.
  - **چرخش**: سازگاری با جهات مختلف اشیا.
  - **روشنایی**: مقاوم در برابر تغییرات نور و کنتراست.
  - **تبدیلات آفین**: مقاوم نسبی در برابر تغییرات مانند کشیدگی و اعوجاج

مراحل الگوریتم SIFT

۱) ساخت فضای مقیاس (Scale-Space Construction)

- شناسایی نقاط کلیدی که نسبت به تغییرات مقیاس مقاوم باشند

۲) مکان‌یابی نقاط کلیدی (Keypoint Localization)

- تعیین دقیق مکان نقاط کلیدی و حذف نقاط ناپایدار

۳) اختصاص جهت‌گیری (Orientation Assignment)

- اختصاص یک جهت به هر نقطه کلیدی برای اطمینان از مقاوم بودن در برابر چرخش

۴) توصیف‌کننده نقاط کلیدی (Keypoint Descriptor)

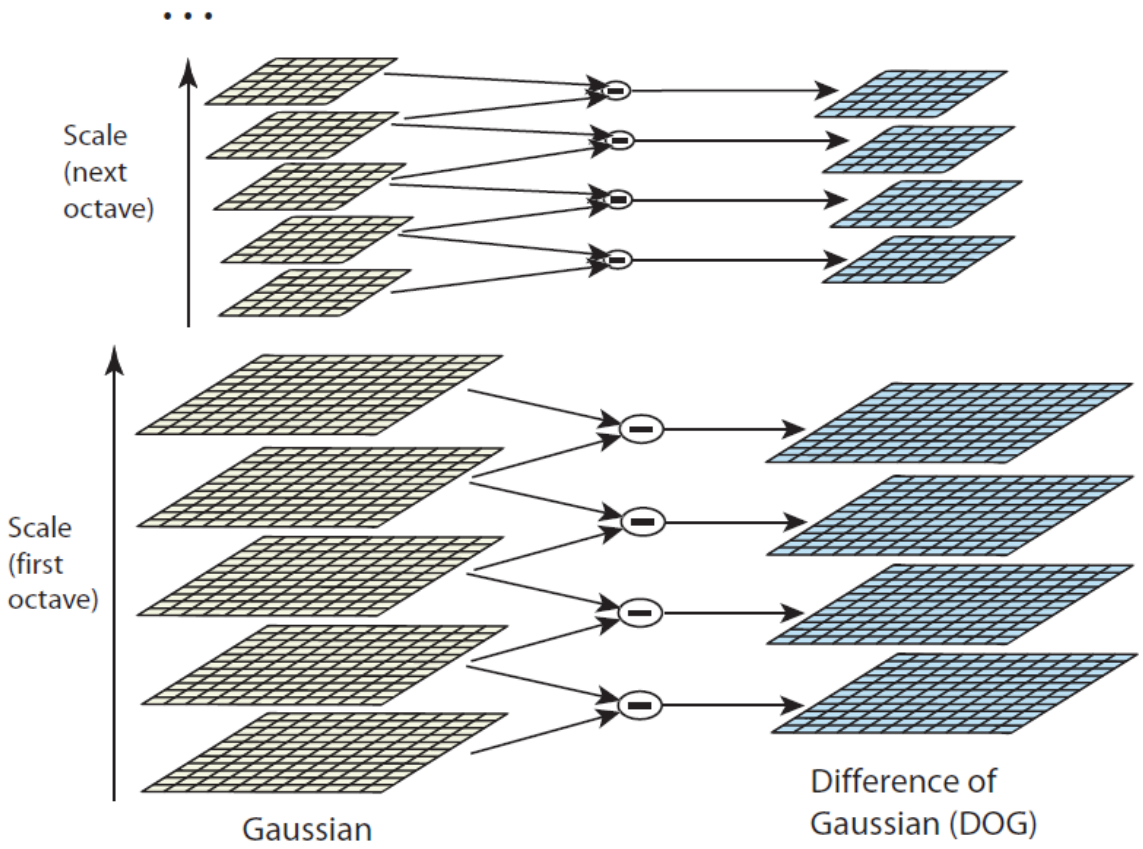
- توصیف ناحیه محلی اطراف هر نقطه کلیدی برای تطبیق

۵) تطبیق نقاط کلیدی (Keypoint Matching)

- تطبیق نقاط کلیدی بین تصاویر برای کاربردهایی مانند دوخت تصاویر یا شناسایی اشیا

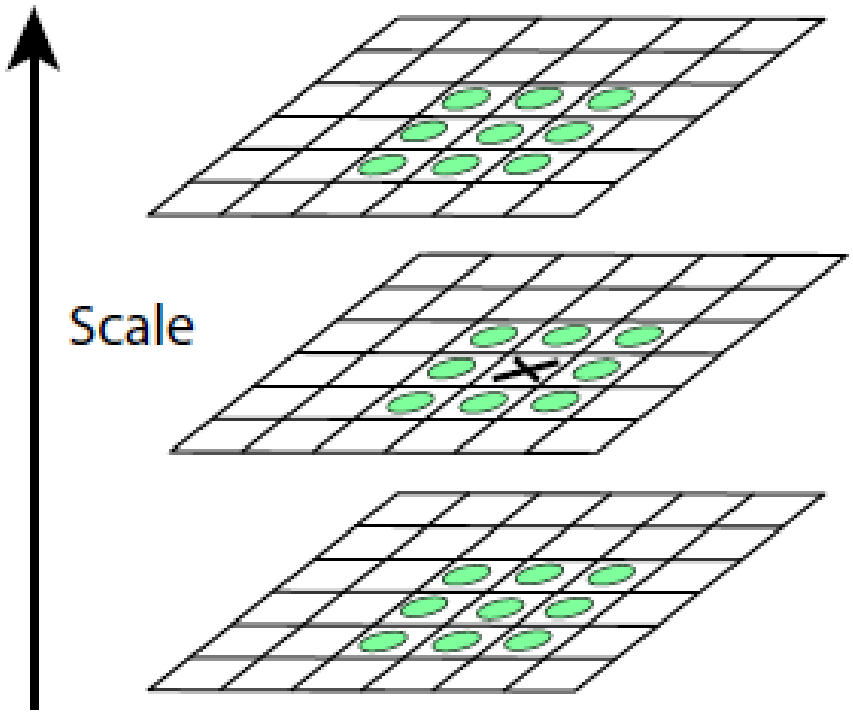
۱) ساخت فضای مقیاس در SIFT

- محاسبه اختلاف گاوسین (DoG) برای شناسایی نواحی با تغییرات سریع شدت نور که می‌توانند نقاط کلیدی باشند، استفاده می‌شود.



۲) مکان‌یابی نقاط کلیدی در SIFT

- با مقایسه هر پیکسل در تصویر DoG با ۲۶ همسایه آن



۳) اختصاص جهت‌گیری در SIFT

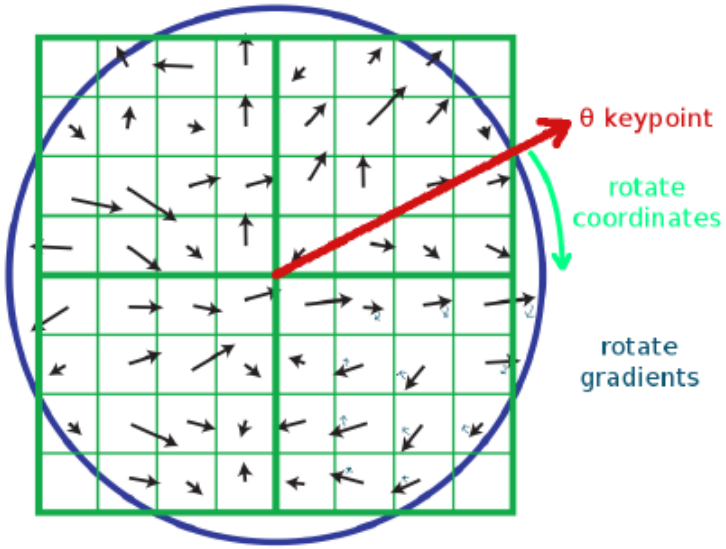
- محاسبه قدرمطلق گرادیان M(x,y) و جهت آن θ(x,y) برای هر پیکسل اطراف نقطه کلیدی

$$L(x,y) = \text{تصویر همراه شده}$$

$$L(x,y+1) - L(x,y-1)$$
$$L(x+1,y) - L(x-1,y)$$

$$M(x,y) = \sqrt{Lxx^2 + Lyy^2}$$

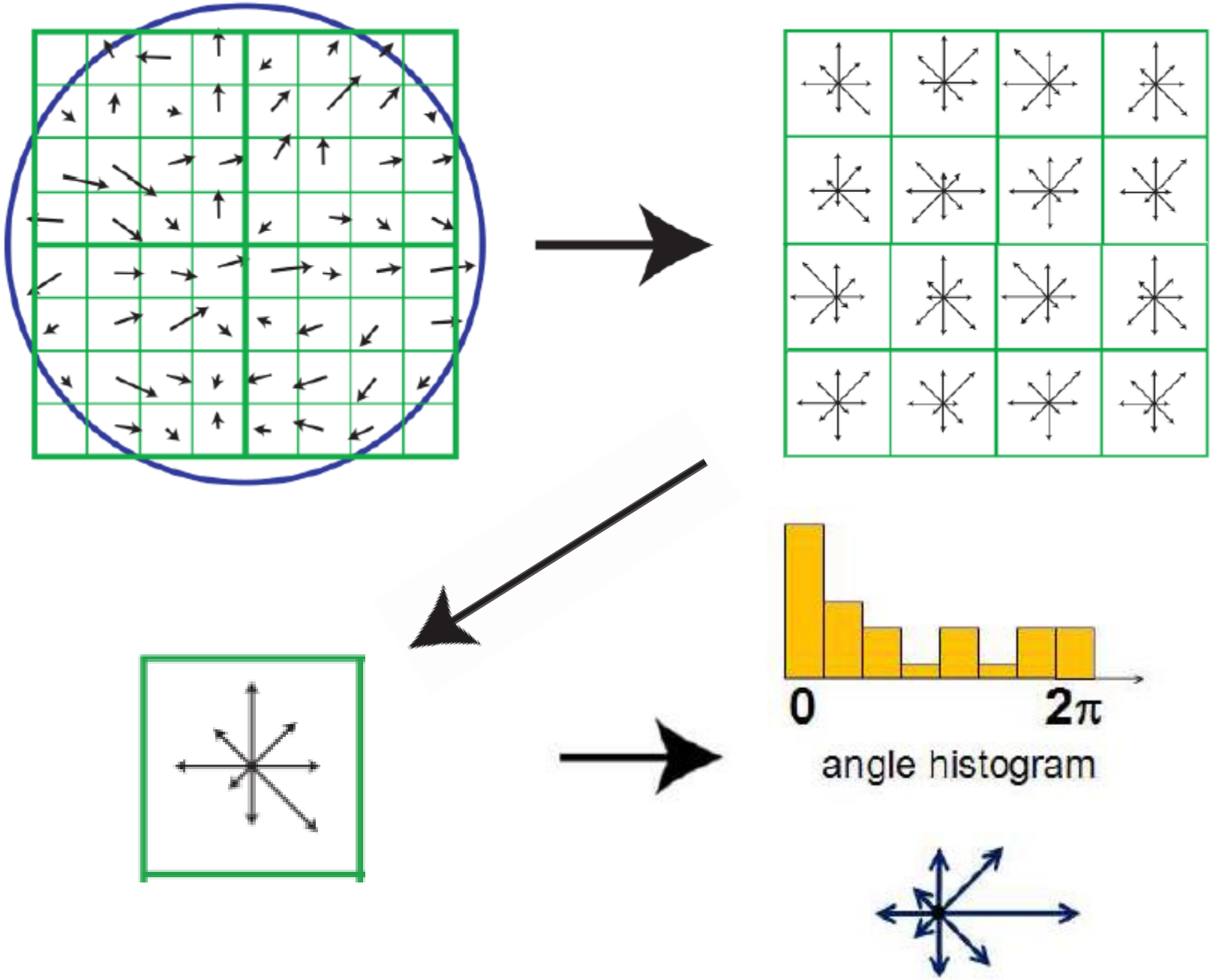
$$\theta(x,y) = tan^{-1}\left(\frac{Lyy}{Lxx}\right)$$



- ایجاد یک هیستوگرام جهت‌گیری با ۳۶ بخش (هر کدام ۱۰ درجه)
- جهت غالب به عنوان جهت نقطه کلیدی انتخاب می‌شود

۴) توصیف‌کننده نقاط کلیدی در SIFT

- تقسیم ناحیه اطراف نقطه کلیدی به شبکه ۴×۴
- محاسبه گرادیان‌ها در هر سلول شبکه و تشکیل هیستوگرام زاویه گرادیان ۸ قسمتی (۳۶۰ درجه به ۸ قسمت تقسیم می شود) در هر سلول
- تشکیل بردار ویژگی ۱۲۸ عنصری با اتصال هیستوگرام های جهت‌گیری هر سلول (۴×۴×۸)


0
2π
angle histogram

۵) تطبیق نقاط کلیدی در SIFT

- مقایسه فاصله اقلیدسی بین توصیف‌کننده های نقاط کلیدی

- استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه (Nearest Neighbor) و آزمون نسبت (Ratio Test) برای حذف تطبیق های مبهم

$$if \quad \frac{\text{فاصله به نزدیکترین همسایه}}{\text{فاصله به دومین همسایه نزدیک}} < 0.8 \quad then \quad \text{تطبیق معتبر است}$$

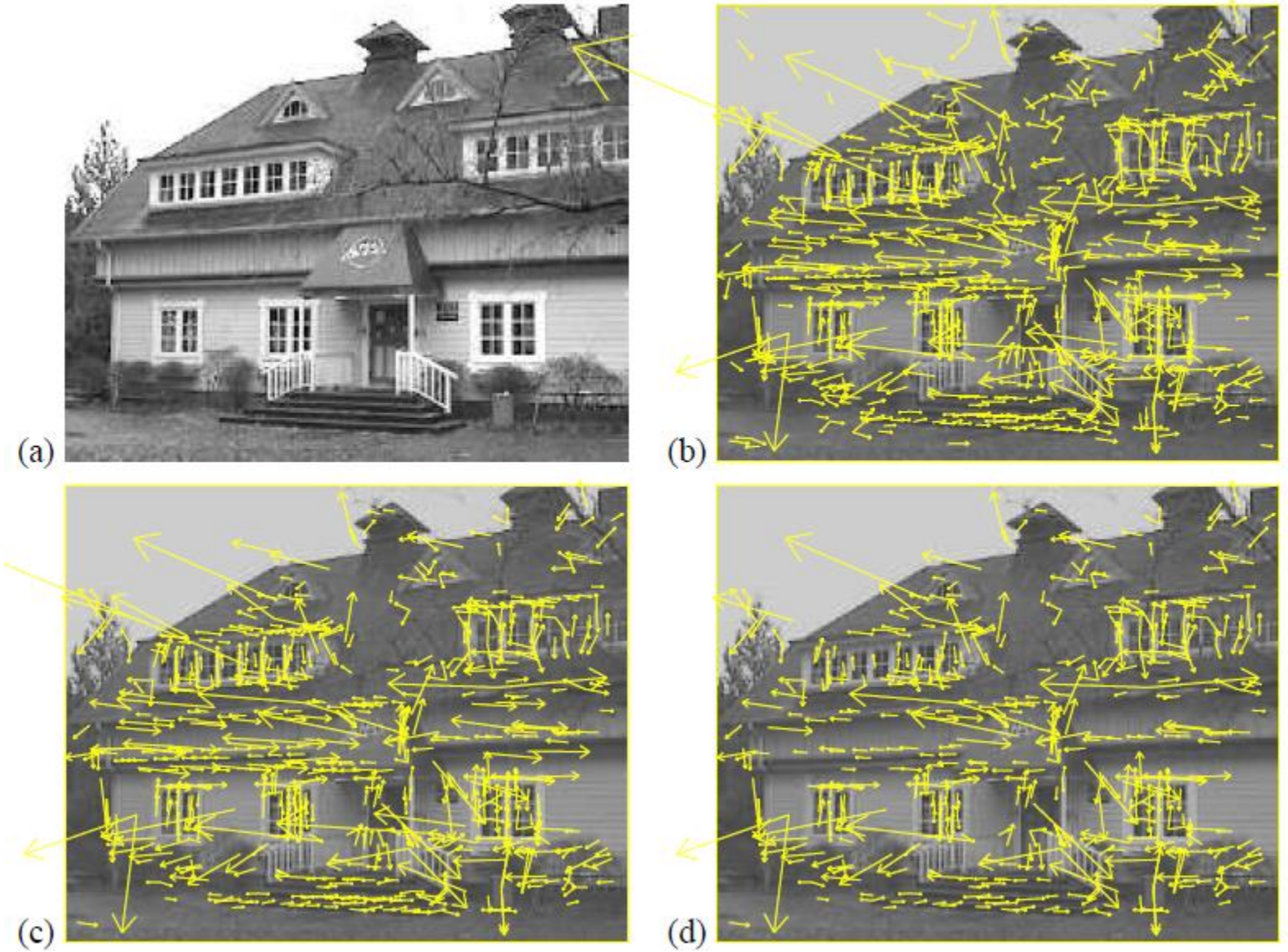


Figure 5: This figure shows the stages of keypoint selection. (a) The 233x189 pixel original image. (b) The initial 832 keypoints locations at maxima and minima of the difference-of-Gaussian function. Keypoints are displayed as vectors indicating scale, orientation, and location. (c) After applying a threshold on minimum contrast, 729 keypoints remain. (d) The final 536 keypoints that remain following an additional threshold on ratio of principal curvatures.

کاربردهای الگوریتم SIFT

- **شناسایی اشیا:**
  - شناسایی اشیا در صحنه‌های پیچیده یا با انسداد جزئی.
- **دوخت تصاویر (Image Stitching)**
  - ترکیب تصاویر هم‌پوشان برای ایجاد یک پانوراما.
- **بازسازی سه بُعدی (3D Reconstruction)**
  - تطبیق نقاط کلیدی در نماهای مختلف برای تخمین ساختار سه‌بعدی.
- **ردیابی حرکت**
  - ردیابی اشیا در توالی ویدئویی با تطبیق نقاط کلیدی.
- **رباتیک و SLAM**
  - استفاده از تطبیق نقاط کلیدی برای ناوبری و نقشه برداری در محیط‌های ناشناخته

مزایا و معایب الگوریتم SIFT

مزایا

- مقاومت در برابر مقیاس و چرخش
  - قادر به کار روی تصاویر با اندازه ها و جهت های مختلف.
- توصیف‌کننده های قوی
  - کارآمد در برابر تغییرات روشنایی و انسداد جزئی.
- نقاط کلیدی متمایز
  - دارای نرخ تکرارپذیری بالا در شناسایی و توصیف ویژگی‌های منحصر به فرد

معایب

- پیچیدگی محاسباتی:
  - SIFT در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر مانند ORB کندتر است و برای برنامه‌های بلادرنگ کمتر مناسب است.
- مشکلات پَتِنت:
  - پَتنت SIFT که در سال ۲۰۲۰ منقضی شَد، استفاده از آن را در برخی پروژه‌های متن باز محدود کرده بود.
- عملکرد در تصاویر نویزی:
  - ممکن است نقاط کلیدی غیر ضروری در تصاویر با نویز بالا تولید کند

مقایسه الگوریتم SIFT با سایر الگوریتم‌ها

ویژگی	SIFT	SURF	ORB
مقاومت در برابر مقیاس	بله	بله	بله
مقاومت در برابر چرخش	بله	بله	بله
سرعت	کُند	سریعتر از SIFT	بسیار سریع
ابعاد توصیف‌کننده	128	64	32
مقاومت	بالا	متوسط	متوسط

SURF: https://link.springer.com/chapter/10.1007/11744023_32

ORB: https://ieeexplore.ieee.org/document/6126544

سؤال؟