

Thị giác máy tính

Bài 5: Trích chọn đặc trưng và so khớp ảnh

TS. Nguyễn Thị Oanh
oanhnt@soict.hust.edu.vn



2

Nội dung

- Trích chọn đặc trưng
 - Global features
 - Local features
- So khớp ảnh
 - So khớp mức đặc trưng cục bộ
 - So khớp mức ảnh
- Ứng dụng



3

Đặc trưng toàn cục và đặc trưng cục bộ

- Hai loại đặc trưng được trích chọn từ ảnh:
 - Đặc trưng cục bộ và toàn cục
- **Đặc trưng toàn cục:**
 - Mô tả toàn bộ ảnh như 1 đối tượng
 - Đặc trưng đường biên, đặc trưng hình dạng, đặc trưng kết cấu
 - Ví dụ: Invariant Moments (Hu, Zernike), Histogram Oriented Gradients (HOG), PHOG, and Co-HOG,...
- **Đặc trưng cục bộ:**
 - Mô tả đặc trưng cục bộ mô tả từng vùng nhỏ trong ảnh, từng vùng cục bộ của đối tượng (điểm đặc trưng trong ảnh).
 - Biểu diễn đặc trưng kết cấu/màu sắc trong mỗi vùng cục bộ ảnh
 - Ví dụ: SIFT, SURF, LBP, BRISK, MSER và FREAK, ...



4

Đặc trưng toàn cục

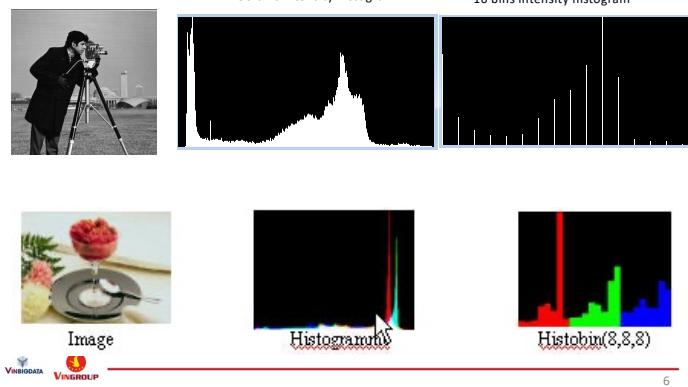
How to distinguish these objects?



5

Đặc trưng màu

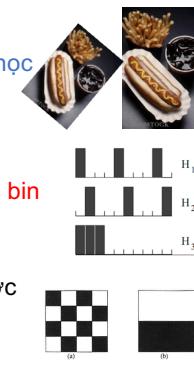
- Histogram



6

Histogram

- Đơn giản
- Bất biến đổi với các phép biến đổi hình học cơ bản:
 - quay, dịch, zoom
- Không tính đến sự **tương đồng giữa các bin gần nhau**
- Phân bố trên không gian** ảnh không được tính đến
- Ảnh hưởng bởi yếu tố **nền**



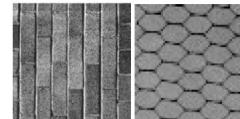
8

Đặc trưng kết cấu

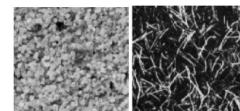
- Kết cấu:

- Vùng có sự biến thiên về cường độ sáng
- Có tính đến sự sắp đặt về cường độ sáng trên bề mặt

A texture can be **periodic** (a pattern that repeats itself) ...



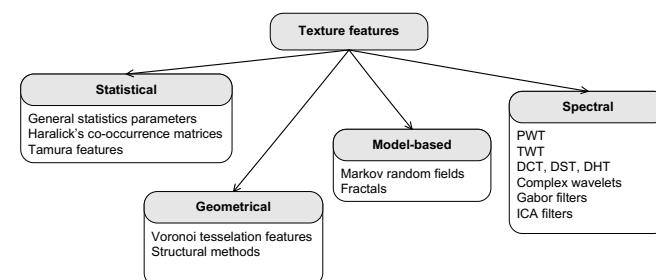
...or **non-periodic** (no pattern, more disorganized)



VINBODATA VINGROUP

9

Đặc trưng kết cấu



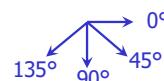
VINBODATA VINGROUP

10

2

GLCM (Grey Level Co-occurrence Matrices)

- Ý tưởng:
 - xác định mức lặp của cặp mức xám theo hướng và ở 1 khoảng cách nào đó
 - Co-occurrence matrices (Haralick)
- Ma trận: Ng x Ng**
 - Ng : số mức xám của ảnh (256x256)
 - Số mức xám thường được giảm xuống: 8x8, 16x16 or 32x32
- Nhiều ma trận, mỗi ma trận cho 1 hướng và 1 khoảng cách
 - Distance : 1, 2, 3 (,4, ...)
 - Direction : 0°, 45°, 90°, 135° (, ...)
- Thời gian xử lý lâu



<http://haralick.org/journals/TexturalFeatures.pdf>



11

GLCM

$$CM_{d,\beta}(c_i, c_j) = \frac{\text{card}(\{p_1, p_2 | I(p_1) = c_i, I(p_2) = c_j, N_{d,\beta}(p_1, p_2) = \text{true}\})}{\text{card}(\{p_1, p_2 | N_{d,\beta}(p_1, p_2) = \text{true}\})}$$

$N_{d,\beta}(p_1, p_2) = \text{true}$ p_2 is a neighbor of p_1 at a distance d direction β

1	4	4	3
4	2	3	2
1	2	1	4
1	2	2	3

Image

1	2	3	4
2	1	2	0
3	0	1	0
4	0	1	1

Matrix for distance=1
and direction=0°

1	2	3	4
2	1	1	0
3	0	0	1
4	0	2	1

Matrix for distance=1
and direction=45°



12

GLCM

- Các tham số phổ biến/quan trọng được ước lượng từ GLCM:

$$\text{Energy} = \sum_i \sum_j CM_d^2(i, j) \quad \text{minimal when all elements are equal}$$

$$\text{entropy} = -\sum_i \sum_j CM_d(i, j) \log(CM_d(i, j)) \quad \begin{matrix} \text{a measure of chaos,} \\ \text{maximal when all elements are equal} \end{matrix}$$

$$\text{contrast} = \sum_i \sum_j (i - j)^2 CM_d(i, j) \quad \begin{matrix} \text{small values when big elements} \\ \text{are near the main diagonal} \end{matrix}$$

$$\text{idm} = \sum_i \sum_j \frac{1}{1 + (i - j)^2} CM_d(i, j) \quad \begin{matrix} \text{idm (inverse differential moment) has small values} \\ \text{when big elements are far from the main diagonal} \end{matrix}$$



13

GLCM

- Đặc trưng Haralick :

- Mỗi ma trận GLCM → tính 14 (13) giá trị đặc trưng cho thông tin kết cấu, tham số quan trọng nhất : mean, variance, energy, inertia, entropy, inverse differential moment
- Ref: <http://haralick.org/journals/TexturalFeatures.pdf>

- GLCM:

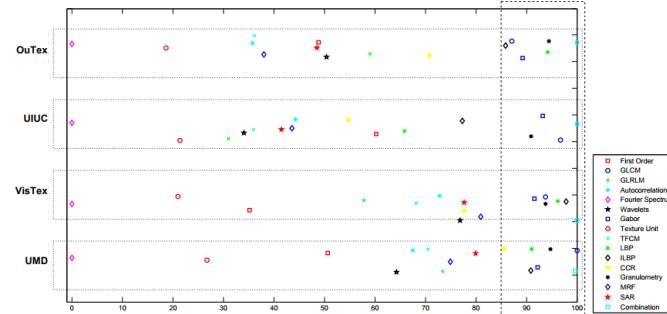
- Bất biến với phép quay ?
- Bất biến với phép biến đổi tỷ lệ?



14

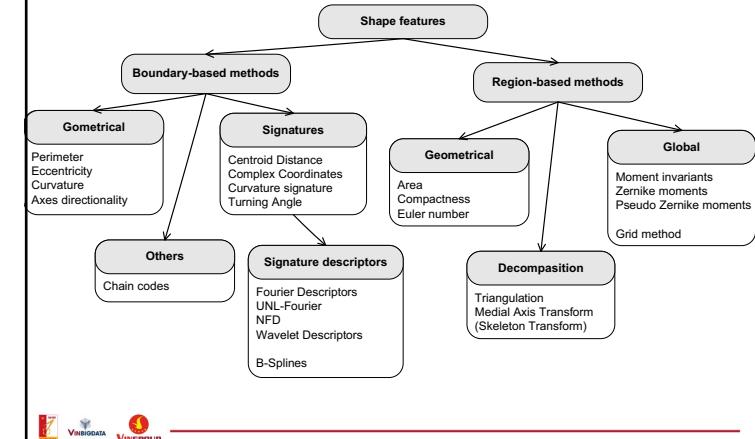
13

Texture features comparision



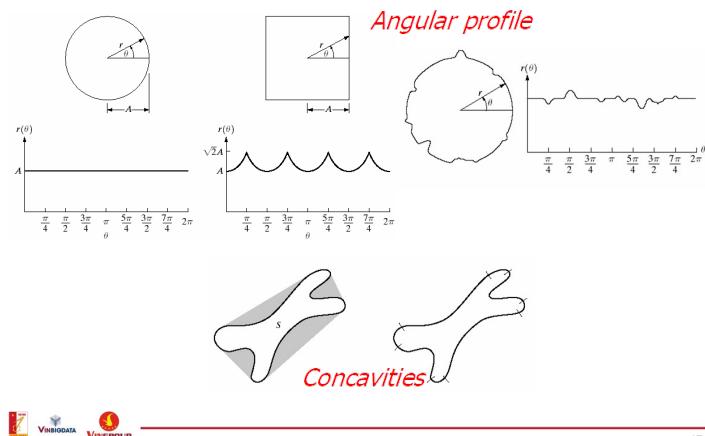
Source : William Robson Schwartz et al. Evaluation of Feature Descriptors for Texture Classification – 2012 JEI
 15

Đặc trưng hình dạng



16

VD: angular profile, ...



VD : Image moments

- Moment $M_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x, y)$
 $M_{0,0}$ = area of the region D
 $(M_{0,1}, M_{1,0})$ = centroid of D
- Central moments:

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q I(x, y)$$

$$\bar{x} = \frac{M_{10}}{M_{00}} \quad \bar{y} = \frac{M_{01}}{M_{00}}$$

Invariant to translation

18

Invariant moments (Hu's moments)

invariant to
translation,
scale, and
rotation, and
reflection

Change for
image
reflection



VINODATA



VINGROUP

19

$$\eta_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\mu_{00}^{(1+\frac{i+j}{2})}}$$

$$\begin{aligned} I_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ I_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ I_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ I_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ I_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ I_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ I_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned}$$

Hu's moments

6 images and their Hu Moments

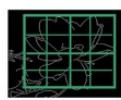
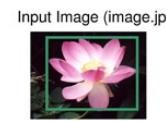
id	image	H[0]	H[1]	H[2]	H[3]	H[4]	H[5]	H[6]
K0	K	2.78871	6.50638	9.44249	9.84018	-19.593	-13.1205	19.6797
S0	S	2.67431	5.77446	9.90311	11.0016	-21.4722	-14.1102	22.0012
S1	S	2.67431	5.77446	9.90311	11.0016	-21.4722	-14.1102	22.0012
S2	S	2.65884	5.7358	9.66822	10.7427	-20.9914	-13.8694	21.3202
S3	S	2.66083	5.745	9.80616	10.8859	-21.2468	-13.9653	21.8214
S4	S	2.66083	5.745	9.80616	10.8859	-21.2468	-13.9653	21.8214

<https://www.learnopencv.com/wp-content/uploads/2018/12/HuMoments-Shape-Matching.png>

20

PHOG

PHOG:
Pyramid Histogram of Oriented Gradients



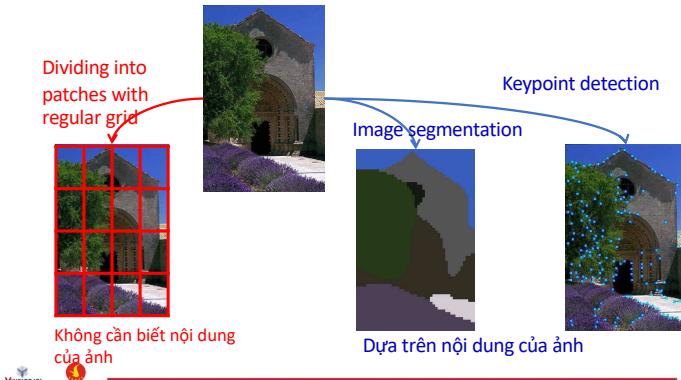
Output PHOG descriptor (image.jpg.txt)

Source: <http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/research/caltech/phog.html>

21

Đặc trưng cục bộ

- Đặc trưng cục bộ: xác định vùng cục bộ như thế nào?



22

21

Vai trò của đặc trưng cục bộ

- Image matching: a challenging problem



Source: CS131 - Juan Carlos Niebles and Ranjay Krishna

23

Vai trò của đặc trưng cục bộ

- Partial search
- Object detection/ recognition



Sivic and Zisserman, 2003



D. Lowe 2002



25

Đặc trưng cục bộ: động lực

- Mô tả và so khớp chỉ các vùng cục bộ
- Hiệu quả trong các trường hợp:

– Occlusions



– Articulation

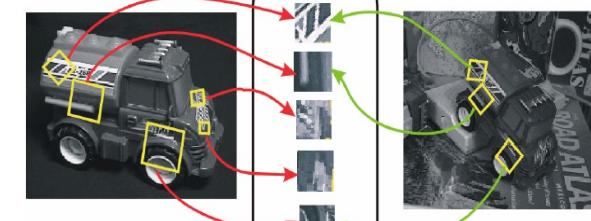
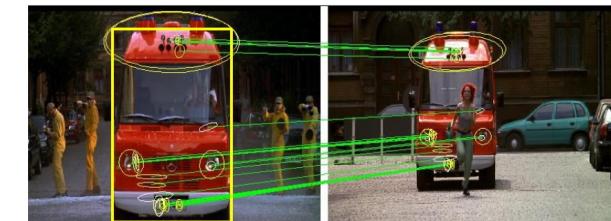


– Intra-category variations



Source: CS131 - Juan Carlos Niebles and Ranjay Krishna

26



Source : Jim Little, Lowe: features, UBC.

27

Yêu cầu quan trọng

- Problem 1:
 - Detect the same point *independently* in both images



We need a repeatable **detector**!

- Problem 2:
 - For each point correctly recognize the corresponding one



We need a reliable and distinctive **descriptor**!



Slide credit: Darya Frolova, Denis Simakov

28

Yêu cầu

- Region extraction needs to be **repeatable** and **accurate**
 - **Invariant** to translation, rotation, scale changes
 - **Robust** or **covariant** to out-of-plane (\approx affine) transformations
 - **Robust** to lighting variations, noise, blur, quantization
- **Locality**: Features are local, therefore robust to occlusion and clutter
- **Quantity**: We need a sufficient number of regions to cover the object
- **Distinctiveness**: The regions should contain “interesting” structure
- **Efficiency**: Close to real-time performance



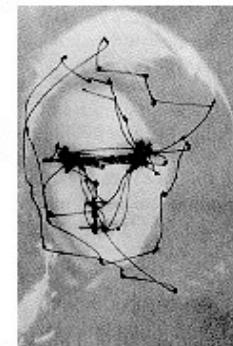
29

Phát hiện các điểm đặc trưng



30

Điểm quan trọng nằm ở đâu?



Yarbus eye tracking

Source : Derek Hoiem, Computer Vision, University of Illinois.



31

Same image with different questions

Free examination. 1 Estimate material circumstances of the family
Give the ages of the people. 2 Sumrise what the family had been doing before the arrival of the unexpected visitor.
Remember the clothes worn by the people. 3 min. recordings of the same subject
Remember positions of people and objects in the room. Estimate how long the visitor had been away from the family.

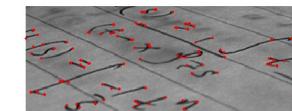
Change blindness : <http://www.simonslab.com/videos.html>

VINHOGDATA VINGROUP

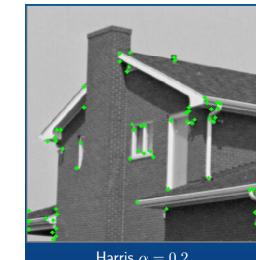
32

Đặc trưng cục bộ và các điểm đặc trưng

- Phát hiện các điểm đặc trưng (interest point, keypoint, point of interest):
 - DoG /SIFT detector
 - Harris corner detector
 - Moravec
 - ...



- Đặc trưng cục bộ: tính trên các vùng cục bộ xung quanh điểm đặc trưng:
 - SIFT,
 - SURF(Speeded Up Robust Features),
 - PCA-SIFT
 - LBP, BRISK, MSER and FREAK, ...

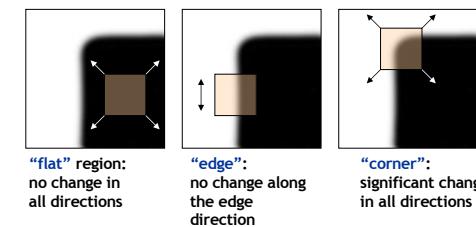


VINHOGDATA VINGROUP

33

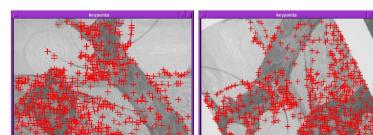
Góc coi như điểm đặc trưng

- Cách thiết kế
 - Tìm điểm góc = quan sát sự thay đổi trong cửa sổ nhỏ (*locality*)
 - Dịch chuyển cửa sổ theo mọi hướng để xác định có vùng có thay đổi lớn về cường độ (*good localization*)



Slide credit: Alyosha Efros

Tìm góc – Harris corner detector



- Ý tưởng chính:
 - Trong vùng xung quanh góc → image gradient có ít nhất 2 hướng biến đổi mạnh
 - Góc đảm bảo: *repeatable* và *distinctive*
- C.Harris and M.Stephens. "A Combined Corner and Edge Detector." Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, 1988.

Slide credit: Svetlana Lazebnik

34

34

35

Góc vs cạnh



$$\begin{aligned} \sum I_x^2 &\rightarrow \text{Large} \\ \sum I_y^2 &\rightarrow \text{Large} \end{aligned}$$

Corner



$$\begin{aligned} \sum I_x^2 &\rightarrow \text{Small} \\ \sum I_y^2 &\rightarrow \text{Large} \end{aligned}$$

Edge



$$\begin{aligned} \sum I_x^2 &\rightarrow \text{Small} \\ \sum I_y^2 &\rightarrow \text{Small} \end{aligned}$$

Nothing

Harris detector: formulation

Sự thay đổi khi dịch cửa sổ 1 khoảng $[u, v]$:

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2$$

Window function

Shifted intensity

Intensity

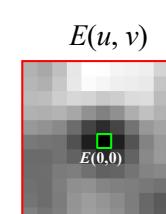
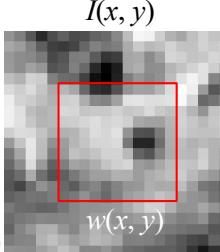
Window function $W(x, y) =$

1 in window, 0 outside Gaussian

Phát hiện góc = phép auto-correlation

Sự thay đổi khi dịch cửa sổ 1 khoảng $[u, v]$:

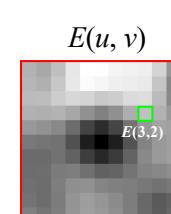
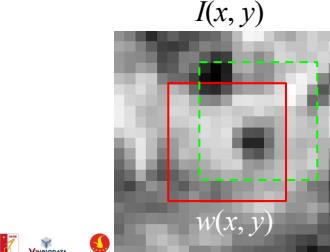
$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2$$



Phát hiện góc = phép auto-correlation

Sự thay đổi khi dịch cửa sổ 1 khoảng $[u, v]$:

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2$$



Phát hiện góc = phép auto-correlation

Sự thay đổi khi dịch cửa sổ 1 khoảng $[u, v]$:

$$E(u, v) = \sum_{x,y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2$$

Cần đánh giá sự thay đổi E với các dịch chuyển nhỏ

→ very slow :

$O(\text{window_width}^2 * \text{shift_range}^2 * \text{image_width}^2)$

$O(11^2 * 11^2 * 600^2) = 5.2 \text{ billion of these}$



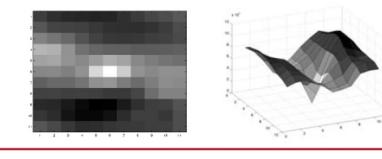
Phát hiện góc = phép auto-correlation

Sự thay đổi khi dịch cửa sổ 1 khoảng $[u, v]$:

$$E(u, v) = \sum_{x,y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2$$

Cần đánh giá sự thay đổi E với các dịch chuyển nhỏ

→ Tìm nơi có sự thay đổi mạnh → Xấp xỉ E (chuỗi Taylor)



Phát hiện góc = phép auto-correlation

$$E(u, v) = \sum_{x,y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2$$

$E(u, v)$

$$\approx [u \ v] \begin{bmatrix} \sum_{x,y} w(x, y) I_x^2(x, y) & \sum_{x,y} w(x, y) I_x(x, y) I_y(x, y) \\ \sum_{x,y} w(x, y) I_x(x, y) I_y(x, y) & \sum_{x,y} w(x, y) I_y^2(x, y) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$



Harris detector formulation

- Sự thay đổi được xấp xỉ thành:

$$E(u, v) \approx [u \ v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

trong đó M : 2x2 tinh từ đạo hàm bậc 1:

$$M = \sum_{x,y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

↑
Tính tổng trên cửa sổ để tìm góc

Đạo hàm theo x nhân với
đạo hàm theo y

$$M = \begin{bmatrix} \sum I_x I_x & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y I_y \end{bmatrix} = \sum \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} [I_x \ I_y]$$



M ?

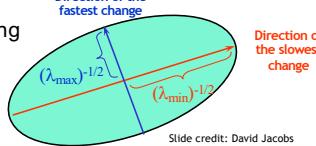
- Cạnh của góc song song với các trục x, y :

$$M = \begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}$$

- Trường hợp tổng quát:

– M đối xứng $\Rightarrow M = R^{-1} \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} R$ (Eigenvalue decomposition)

- Độ dài trục elipse: theo trị riêng
– R: ma trận quay

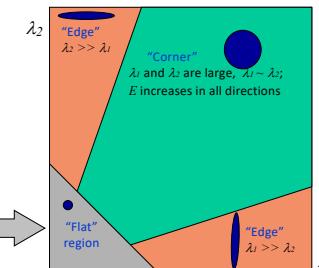


Slide credit: David Jacobs

44

44

Ý nghĩa của trị riêng



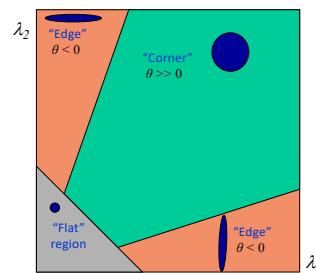
VINHODATA VINGROUP

Slide credit: Kristen Grauman

45

Đáp ứng góc

$$\theta = \det(M) - \alpha \text{trace}(M)^2 = \lambda_1 \lambda_2 - \alpha(\lambda_1 + \lambda_2)^2$$



Slide credit: Kristen Grauman

46

- Xấp xỉ nhanh

- Tránh phải tính trị riêng
– α : constant (0.04 to 0.06)

VINHODATA
VINGROUP

46

Hàm cửa sổ $w(x,y)$

$$M = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

- Option 1: uniform window

- Sum over square window

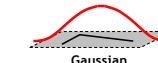


$$M = \sum_{x,y} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

- Problem: not rotation invariant

- Option 2: Smooth with Gaussian

- Gaussian already performs weighted sum



$$M = g(\sigma) * \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

- Result is rotation invariant

VINHODATA VINGROUP

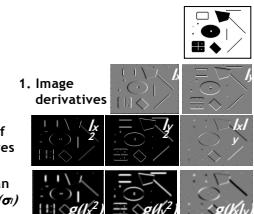
Slide credit: Bastian Leibe

47

Tổng kết: Harris Detector [Harris88]

- Tính ma trận moment bậc 2 (ma trận tự tương quan)

$$M(\sigma_I, \sigma_D) = g(\sigma_I) * \begin{bmatrix} I_x^2(\sigma_D) & I_x I_y(\sigma_D) \\ I_x I_y(\sigma_D) & I_y^2(\sigma_D) \end{bmatrix}$$



- Tính đáp ứng góc

4. Cornerness function - two strong eigenvalues

$$\theta = \det[M(\sigma_I, \sigma_D)] - \alpha[\text{trace}(M(\sigma_I, \sigma_D))]^2$$

$$= g(I_x^2)g(I_y^2) - [g(I_x I_y)]^2 - \alpha[g(I_x^2) + g(I_y^2)]^2$$

5. Perform non-maximum suppression

C.Harris and M.Stephens. "A Combined Corner and Edge Detector." Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference: pages 147–151, 1988.

Slide credit: Krystian Mikolajczyk

48

Harris Detector

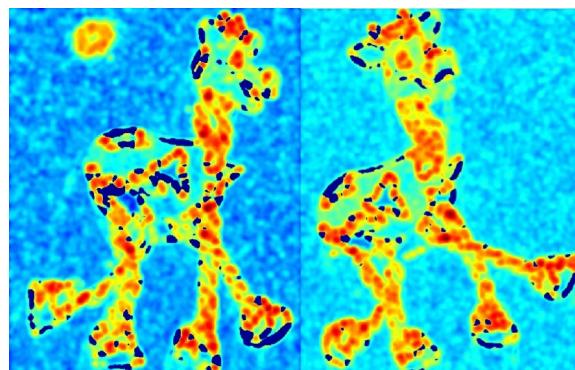


Slide adapted from Darya Frolova, Denis Simakov

49

Harris Detector

computer corner responses θ



Slide adapted from Darya Frolova, Denis Simakov

50

Harris Detector

Take points where $\theta > \text{threshold}$



Slide adapted from Darya Frolova, Denis Simakov

51

Harris Detector

Take only the local maxima of θ , where $\theta > \text{threshold}$



Slide adapted from Darya Frolova, Denis Simakov

52

Harris Detector

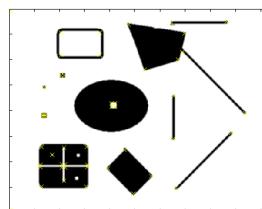
Resulting Harris points



Slide adapted from Darya Frolova, Denis Simakov

53

Harris Detector – Responses [Harris88]



Effect: A very precise corner detector.

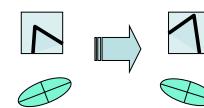


Slide credit: Krystian Mikolajczyk

54

Đặc điểm của Harris detector

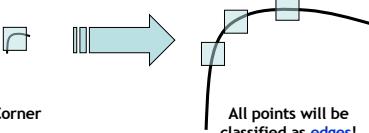
- Translation invariance
- Rotation invariance?



Ellipse rotates but its shape (i.e. eigenvalues) remains the same

Corner response θ is invariant to image rotation

- Scale invariance?



Corner
All points will be classified as edges!

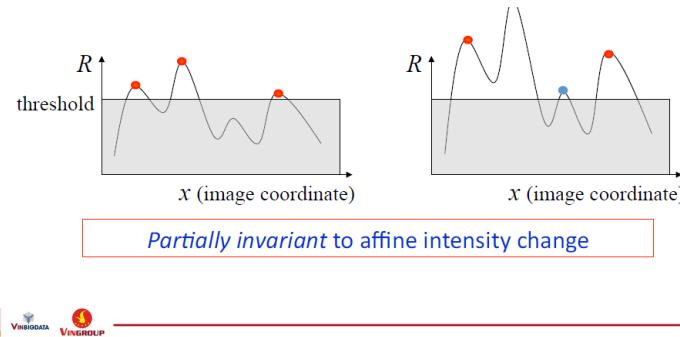
Not invariant to image scale!

Slide credit: Kristen Grauman

55

Đặc điểm của Harris detector

- Bất biến một phần theo sự thay đổi cường độ sáng



56

Bất biến theo scale ?



57

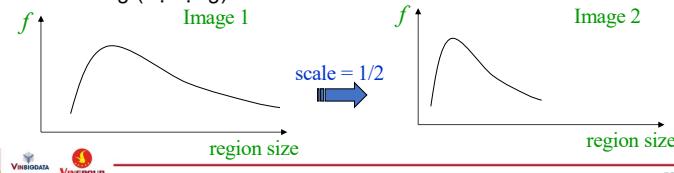
Chọn kích thước cửa sổ (scale) tự động

- Thiết kế hàm theo độ rộng của vùng, hàm đảm bảo "scale invariant":

– 2 vùng tương đồng (dù ở size khác nhau) \rightarrow kết quả hàm giống nhau

Ví dụ: trung bình cường độ sáng.

– Tại mỗi điểm trên ảnh, tính giá trị hàm theo kích thước vùng (độ rộng)



58

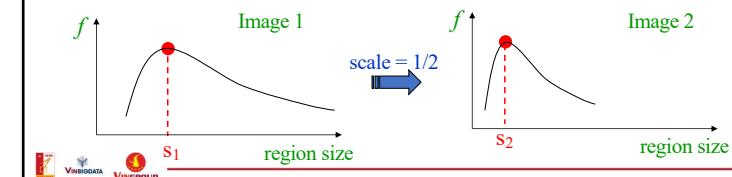
Chọn kích thước cửa sổ (scale) tự động

- Các bước chính:

Tìm cục đại địa phương trên hàm

Kích thước vùng tương ứng điểm cục đại địa: đảm bảo tính bất biến (*invariant*) theo scale của ảnh

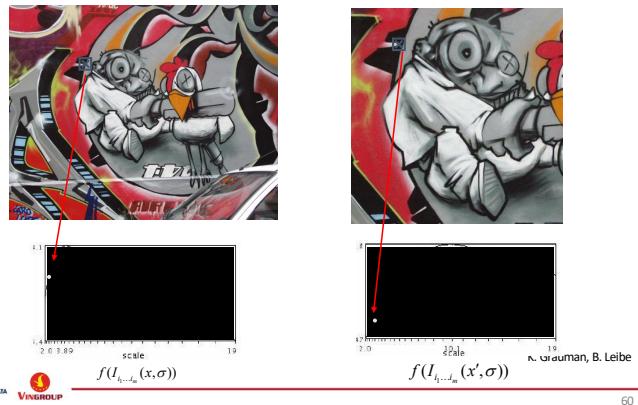
Quan trọng: kích thước vùng tìm được là **độc lập ở từng ảnh**



59

Ví dụ

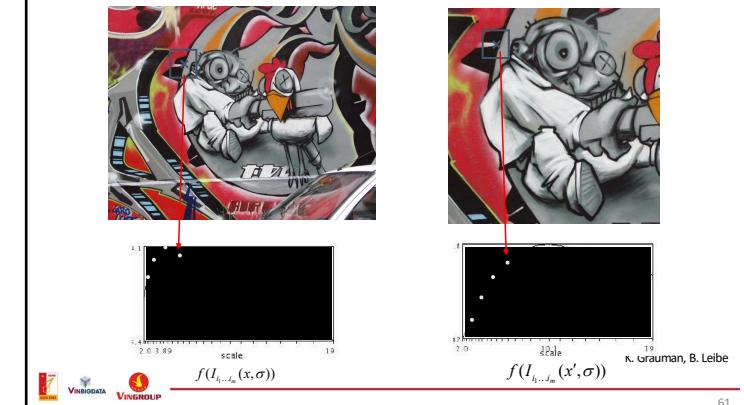
Function responses for increasing scale (scale signature)



60

Ví dụ

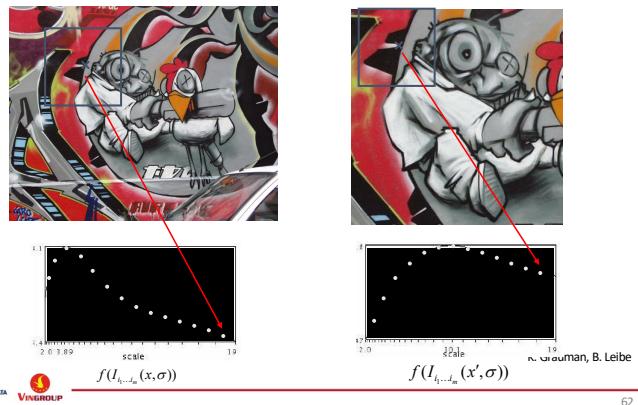
Function responses for increasing scale (scale signature)



61

Ví dụ

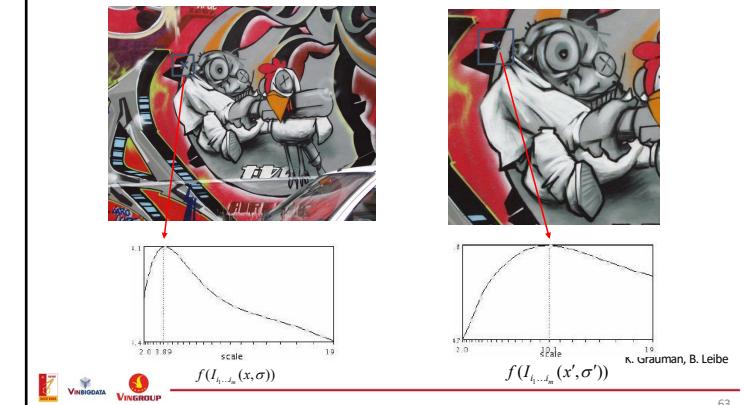
Function responses for increasing scale (scale signature)



62

Ví dụ

Function responses for increasing scale (scale signature)



63

Hàm tốt?

- Hàm “tốt” để xác định scale tự động: có 1 đỉnh rõ



- Ảnh thông thường: hàm tốt có thể là hàm tương ứng độ tương phản (hiện sự thay đổi cục bộ rõ rệt)



64

LoG – DoG

- Functions for determining scale $f = \text{Kernel} * \text{Image}$

Kernels:

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

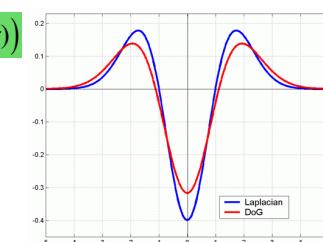
(Laplacian)

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

(Difference of Gaussians)

where Gaussian

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



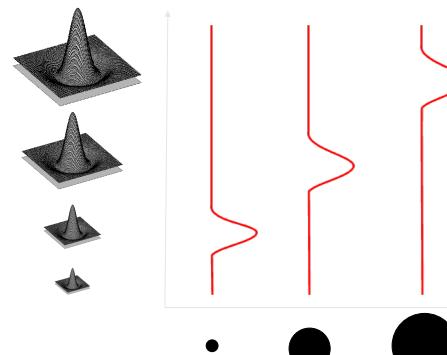
Note: both kernels are invariant to scale and rotation



65

LoG – DoG

- Laplacian-of-Gaussian = “blob” detector



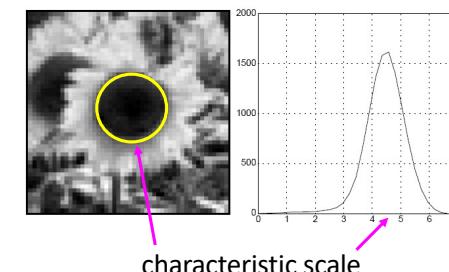
Source: K. Grauman, B. Leibe



66

Characteristic scale

- characteristic scale:** the scale that produces peak of Laplacian response



T. Lindeberg (1998). "Feature detection with automatic scale selection." *IJCV* 30 (2): pp 77–116.



Source: Lana Lazebnik

67

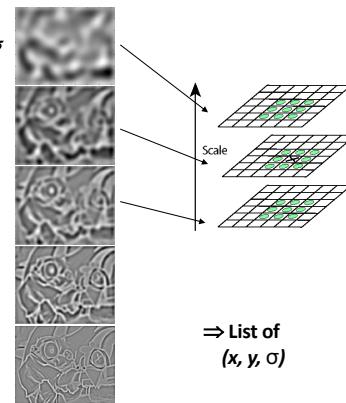
Laplacian-of-Gaussian (LoG)

- Interest points:

Local maxima in scale space of LoG



$$L_{xx}(\sigma) + L_{yy}(\sigma)$$

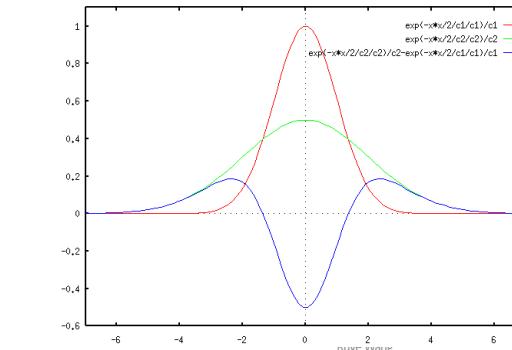


Source: K. Grauman, B. Leibe

68

LoG-DoG

Approximate LoG with Difference-of-Gaussian (DoG).



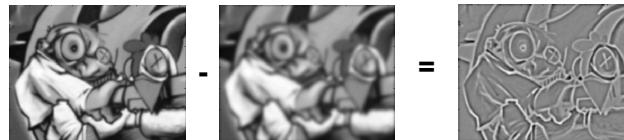
VINHOGDATA VINGROUP

69

LoG-DoG

- Approximate LoG with Difference-of-Gaussian (DoG):
 - Blur image with σ Gaussian kernel
 - Blur image with $k\sigma$ Gaussian kernel
 - Subtract 2. from 1.

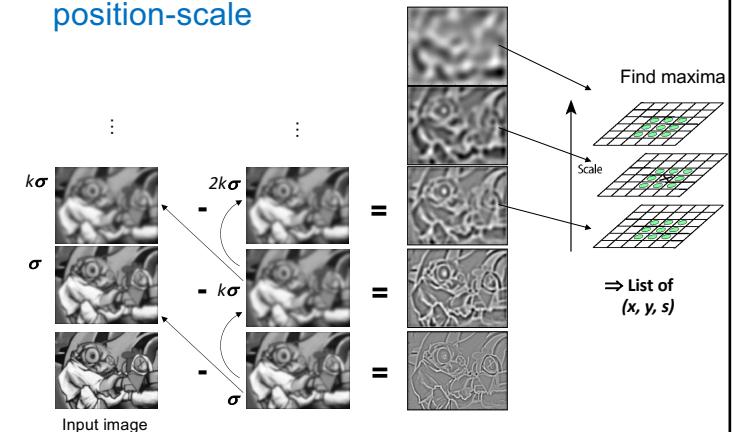
Small k gives a closer approximation to LoG, but usually we want to build a scale space quickly out of this. $k = 1.6$ gives an appropriate scale space, $k = \sqrt{2}$



Source: K. Grauman, B. Leibe

70

Tìm cực đại địa phương của DoG theo position-scale



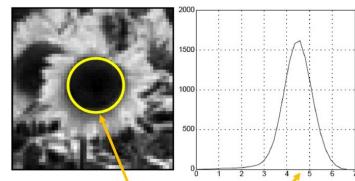
71

Harris-Laplacian

- Harris-Laplacian¹**

Find local maximum of:

- Harris corner detector in space (image coordinates)
- Laplacian in scale



¹K.Mikolajczyk, C.Schmid. "Indexing Based on Scale Invariant Interest Points". ICCV 2001

²D.Lowe. "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints". ICCV 2004



72

Scale Invariant Detectors

- Harris-Laplacian¹**

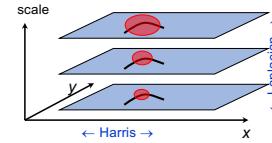
Find local maximum of:

- Harris corner detector in space (image coordinates)
- Laplacian in scale

- SIFT (D.Lowe)²**

Find local maximum of:

- Difference of Gaussians in space and scale



¹K.Mikolajczyk, C.Schmid. "Indexing Based on Scale Invariant Interest Points". ICCV 2001

²D.Lowe. "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints". ICCV 2004



73

Phát hiện điểm đặc trưng DoG (SIFT)

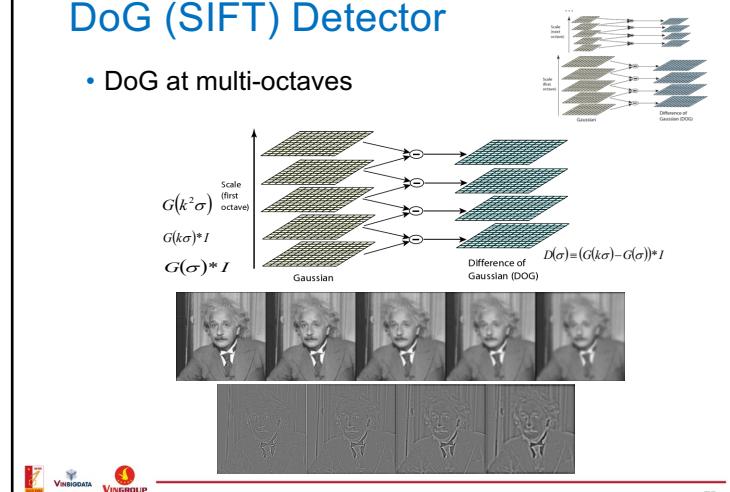
- DoG tính ở nhiều độ phân giải
- Phát hiện các cực trị trên miền không gian-scale (space – scale)
- Xác định vị trí điểm
 - Nội suy
 - Loại điểm không ổn định
- Gán hướng chủ đạo cho điểm đặc trưng



74

DoG (SIFT) Detector

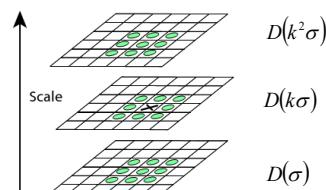
- DoG at multi-octaves**



75

DoG (SIFT) Detector

- Scale-Space Extrema: Chọn cực trị khi xét lân cận $3 \times 3 \times 3$



76

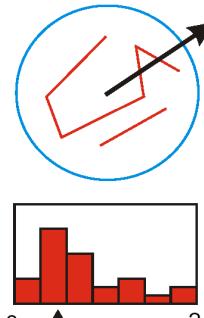
DoG (SIFT) Detector

- Hướng chủ đạo

- Tạo 1 histogram của hướng đạo hàm ở vùng được xác định (theo scale)
- Chọn hướng cho giá trị lớn nhất trên histogram (đã đc làm mịn)

- Mỗi điểm đặc trưng được xác định bởi

(x, y, scale, orientation)

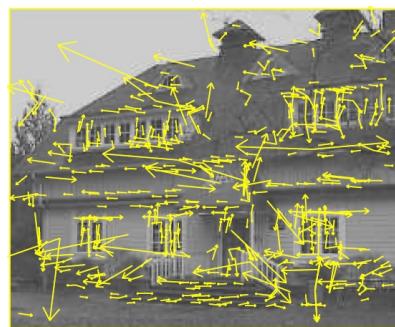


If 2 major orientations, use both.



77

DoG (SIFT) Detector



A SIFT keypoint : {x, y, scale, dominant orientation}

Source: [Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints](#) – ICCV 2004

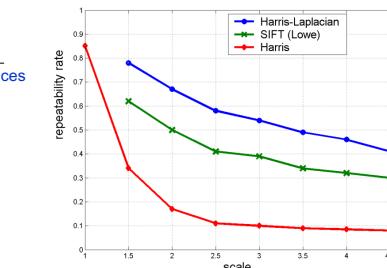
78

So sánh

- Đánh giá về mức độ phát hiện được các điểm khi scale thay đổi

Repeatability rate:

$$\frac{\# \text{correspondences}}{\# \text{possible correspondences}}$$



K.Mikolajczyk, C.Schmid. "Indexing Based on Scale Invariant Interest Points". ICCV 2001



79

Các bộ phát hiện khác

- Hessian & Harris [Beaudet '78], [Harris '88]
- Laplacian, DoG [Lindeberg '98], [Lowe '99]
- Harris-/Hessian-Laplace [Mikolajczyk & Schmid '01]
- Harris-/Hessian-Affine [Mikolajczyk & Schmid '04]
- EBR and IBR [Tuytelaars & Van Gool '04]
- MSER [Matas '02]
- Salient Regions [Kadir & Brady '01]
- Others...

- *Those detectors have become a basic building block for many recent applications in Computer Vision.*



Slide credit: Bastian Leibe

80

Feature extraction

- Global features
- **Local features**
 - Interest point detector
 - Local descriptor
 - Matching



81

Trích chọn đặc trưng: Đặc trưng tốt?

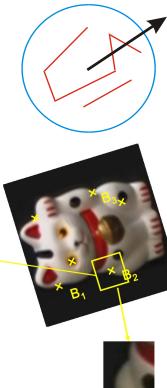
- Gọn (Compact)
- Bất biến với
 - Một số phép biến đổi hình học
 - Góc nhìn camera
 - Điều kiện chiếu sáng
- Ví dụ:
 - **SIFT**, SURF([Speeded Up Robust Features](#)), [PCA-SIFT](#), ...
 - LBP, BRISK, MSER and FREAK, ...



82

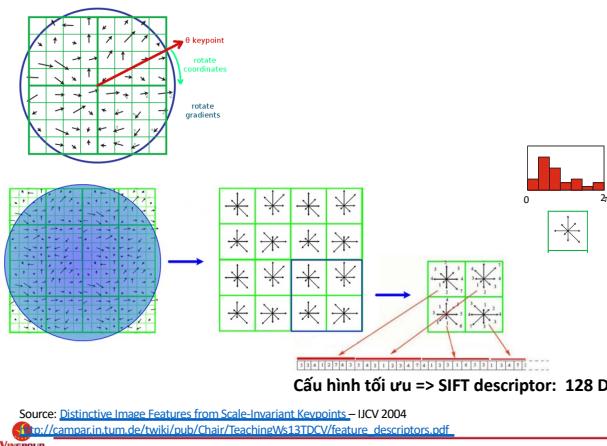
Bất biến với phép quay

- Sử dụng hướng chủ đạo (**a characteristic orientation/ dominant orientation**) tại mỗi điểm đặc trưng
- Bộ mô tả được chuẩn hóa theo hướng này



83

Bộ mô tả SIFT



84

Bộ mô tả SIFT

- Hiệu quả khi **điều kiện chiếu sáng thay đổi**:
 - Bộ mô tả sử dụng đạo hàm bậc 1
 - \rightarrow **dảm bảo bất biến với độ sáng thay đổi**
 - Độ tương phản thay đổi \rightarrow thay đổi độ lớn gradient
 - \rightarrow **chuẩn hóa vector** (độ lớn vector = 1.0)
 - Độ lớn gradient quá lớn do hiệu ứng 3D khác (chó, etc)
 - \rightarrow để giảm hiệu ứng, **giới hạn giá trị** trong vector ≤ 0.2 (giá trị thực nghiệm). \rightarrow Chuẩn hóa lại vector
- \rightarrow **Dảm bảo bất biến với sự thay đổi điều kiện chiếu sáng**

VINHODATA VINGROUP SIFT: Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints – IJCV 2004

85

Sensitivity to number of histogram orientations

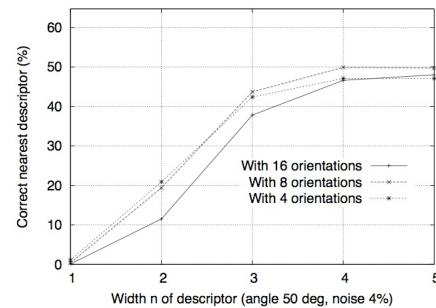


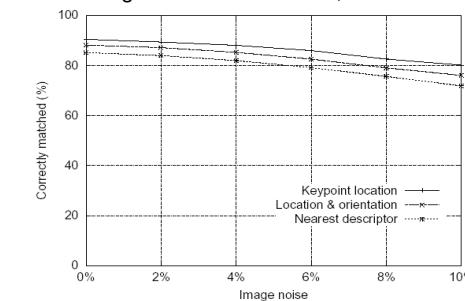
Figure 8: This graph shows the percent of keypoints giving the correct match to a database of 40,000 keypoints as a function of width of the $n \times n$ keypoint descriptor and the number of orientations in each histogram. The graph is computed for images with affine viewpoint change of 50 degrees and addition of 4% noise.



86

Feature stability to noise

- Match features after random change in image scale & orientation, with differing levels of image noise
- Find nearest neighbor in database of 30,000 features



David G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," IJCV, 60, 2 (2004), pp. 91-110

87

Feature stability to affine change

- Match features after random change in image scale & orientation, with 2% image noise, and affine distortion
- Find nearest neighbor in database of 30,000 features

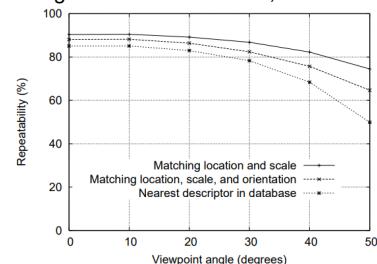


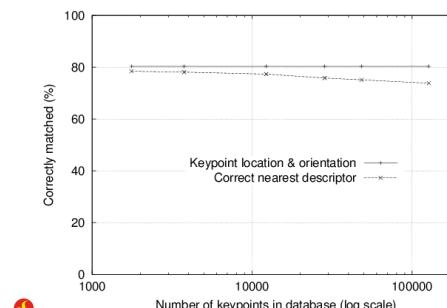
Figure 9: This graph shows the stability of detection for keypoint location, orientation, and final matching to a database as a function of affine distortion. The degree of affine distortion is expressed in terms of the equivalent viewpoint rotation in depth for a planar surface.



88

Distinctiveness of features

- Vary size of database of features, with 30 degree affine change, 2% image noise
- Measure % correct for single nearest neighbor match



89

Một số bộ mô tả khác

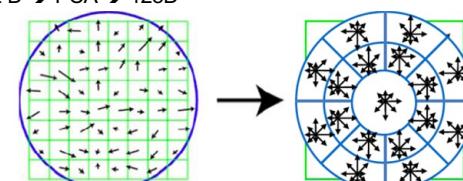
- GLOH, SURF([Speeded Up Robust Features](#)), [PCA-SIFT](#), ...
- LBP, ..
- BREF, BRISK, ORB, FREAK, KAZE, LDAHash



90

GLOH (Gradient Local Orientation Histogram)

- Tương tự SIFT
 - Sử dụng phân chia không gian (bin) theo log-polar
 - Chia thành 17 ô trong không gian (16 spatial bins)
 - 16 hướng gradiant (16 orientation bins)
 - Vector 272 D \rightarrow PCA \rightarrow 128D



(a) image gradients
 (b) keypoint descriptor
[Krystian Mikolajczyk and Cordelia Schmid, 2005](#)

91

So khớp ảnh



92

So khớp đặc trưng cục bộ

Với 1 keypoint trong ảnh I_1 , tìm keypoints tương ứng trong ảnh I_2 ?

- Xác định khoảng cách sử dụng:

- Use L1, L2, cosine, Mahalanobis,... distance

- Với mỗi đặc trưng trong I_2 , tìm điểm có khoảng cách (dựa trên đặc trưng) nhỏ nhất

OpenCV:

- Brute force matching
- Flann Matching: Fast Library for Approximate Nearest Neighbors [Muja and Lowe, 2009]



93

So khớp đặc trưng cục bộ

- Khoảng cách giữa f_1, f_2 ?

- Đơn giản: **sử dụng giá trị độ đo khoảng cách (f_1, f_2)**
 - có thể đưa ra cả kết quả ghép cặp tốt và không tốt

- Giải pháp tốt hơn: thêm **ràng buộc bổ sung**

- Tỷ lệ khoảng cách (Nearest neighbor distance ratio)
- Thêm ràng buộc không gian dựa trên hàng xóm
- Kiểm tra chéo (Cross check test)
- Tìm phép biến đổi giữa 2 tập điểm, lọc lại các cặp so khớp (RANSAC)



94

Nearest neighbor distance ratio

- radio of distance = $d(f_1, f_2) / d(f_1, f_2')$**

- f_2 : đặc trưng gần nhất với f_1 trong số các đặc trưng trong ảnh I_2 ;
- f_2' : đặc trưng gần thứ 2 với f_1 trong số các đặc trưng trong ảnh I_2 ;
- Ghép cặp không tốt → ratio lớn 1
- Chỉ giữ lại những cặp có ratio nhỏ



95

Ratio of distances reliable for matching

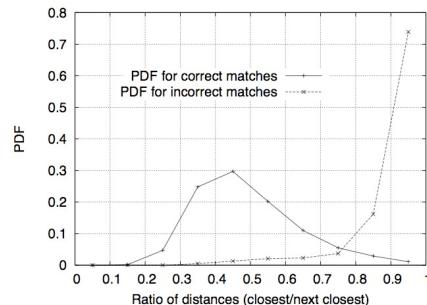


Figure 11: The probability that a match is correct can be determined by taking the ratio of distance from the closest neighbor to the distance of the second closest. Using a database of 40,000 keypoints, the solid line shows the PDF of this ratio for correct matches, while the dotted line is for matches that were incorrect.

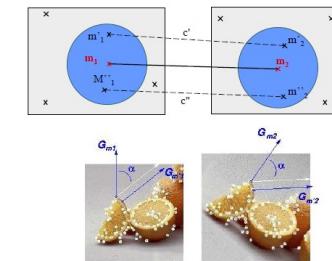
David G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," IJCV, 60, 2 (2004), pp. 91-110



96

Thêm ràng buộc không gian

- Spatial constraints between neighborhood pixels



Source: from slides of Valérie Gouet-Brunet

97

Kiểm tra chéo

- Ghép cặp (fa, fb) nếu:
 - fb là điểm ghép cặp tốt nhất trong ảnh I2 với fa của I1
 - fa là điểm ghép cặp tốt nhất trong ảnh I1 với fb của I2



98

Tìm mô hình biến đổi

- Mục đích: kiểm tra các sự ghép cặp giữa 2 ảnh đã phù hợp
- Fitting the transformation (RANSAC alg.)

- Fitting 2D transformation matrix

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Six variables

- Each point give two equations

- → at least three points

- Least squares

- RANSAC: refinement of matches

- Compute error:



99

So khớp ảnh

- Tính khoảng cách giữa 2 ảnh I_1, I_2 ?

– Sử dụng đặc trưng toàn cục: đơn giản
 $d(I_1, I_2) = d(\text{feature of } I_1, \text{feature of } I_2)$

- Sử dụng đặc trưng cục bộ:

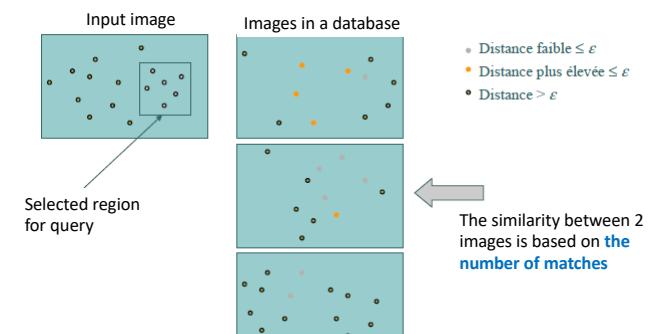
- Bỏ phiếu
- Giải bài toán tối ưu (time consuming)
- Xây dựng vector toàn cục từ các đặc trưng cục bộ : BoW (bag-of-words, bag-of-features), VLAD, ..



VINGROUP

102

Chiến lược bỏ phiếu



VINGROUP

103

Bài toán tối ưu

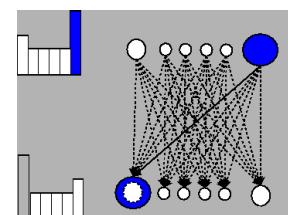
- Transportation problem

$I_1 : \{(r_i, w_i), i=1, N\}$ Provider
 $I_2 : \{(r'_j, w_j), j=1, M\}$ Consumer
 $d(I_1, I_2) = ???$

$$d(I_1, I_2) = \min \sum_i \sum_j f_{ij} \times d(r_i, r'_j)$$

$$\begin{aligned} f_{ij} &\geq 0 \\ \sum_i f_{ij} &\leq w_j, \sum_j f_{ij} \leq w_i \end{aligned}$$

$$\sum_i \sum_j f_{ij} = \min(\sum_i w_i, \sum_j w_j)$$



$$d_{EMD}(I_1, I_2) = \frac{\sum_i \sum_j f_{ij}^* \times d(r_i, r'_j)}{\sum_i \sum_j f_{ij}^*}$$



VINGROUP

<http://vellum.cz/~mikc/oss-projects/CarRecognition/doc/dp/node29.html>

104

Mô hình túi từ (Bài Object Recognition)

- Đặc trưng cục bộ ~ 1 từ
- 1 ảnh ~ 1 văn bản
- Sử dụng mô hình vector: ảnh = tần suất xuất hiện của các từ trực quan



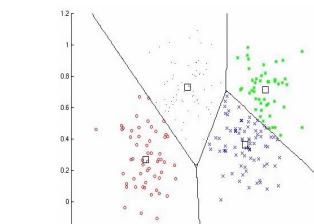
105

104

Từ điển



1. Extracting local features from a set of images



2. Building visual vocabulary (dictionary) using a clustering method

3. An image is represented by a bag of words
→ can be represented by tf.idf vector



VINODATA

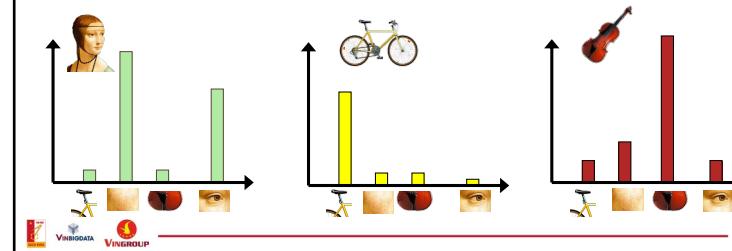


VINGROUP

106

Mô hình túi từ: các bước chính

1. Trích chọn đặc trưng
2. Tạo từ điển
3. Gán đặc trưng cụ bộ thành các từ
4. Biểu diễn ảnh = vector tần suất xuất hiện



107

Một số ứng dụng



VINODATA



VINGROUP

108

Object detection/recognition/search



Sivic and Zisserman, 2003



Rothganger et al. 2003



Lowe 2002

109

Object detection/recognition

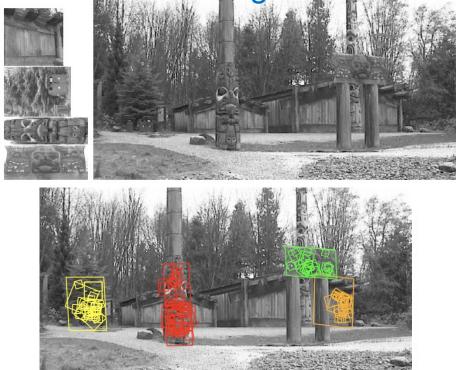


Figure 13: This example shows location recognition within a complex scene. The training images are shown at the upper left and the 640x315 pixel test image taken from a different viewpoint is on the upper right. The recognized regions are shown on the lower image, with keypoints shown as squares and an outer parallelogram showing the boundaries of the training images under the affine transform used for recognition.



David Lowe, Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, IJCV 2004

110

Image Panoramas



Slide credit: Darya Frolova, Denis Simakov

111

Image Panoramas



Slide credit: Darya Frolova, Denis Simakov

- Procedure:

- Detect feature points in both images
- Find corresponding pairs
- Use these pairs to align the images



112

Automatic mosaicing



<http://www.cs.ubc.ca/~mbrown/autostitch/autostitch.html>



113

Wide baseline stereo



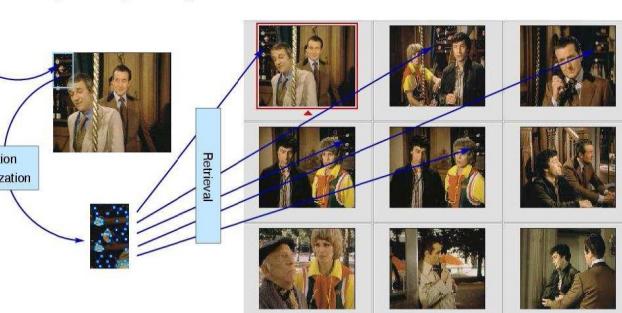
[Image from T. Tuytelaars ECCV 2006 tutorial]



114

CBIR: partial retrieval

The query : "I am looking for the images involving the room where there is this wine storeroom".



Source. <http://www-rocq.inria.fr/media>

115

References

- Lecture 5,6: CS231 - Juan Carlos Niebles and Ranjay Krishna, Stanford Vision and Learning Lab
- Vision par Ordinateur, Alain Boucher, IFI
- [SIFT: Keypoint detector \(ubc.ca\)](#)
- [SURF: <https://people.ee.ethz.ch/~surf/eccv06.pdf>](#)
- Harris corner detector:
https://home.cis.rutgers.edu/~cnspec/references/dip/feature_extraction/harris1988.pdf
- CBIR: J. Sivic & A. Zisserman (2003). ["Video Google: A Text Retrieval Approach to Object Matching in Videos"](#) (PDF). Proc. of ICCV
- [HOG for Human detection:](#) <https://lear.inrialpes.fr/people/triggs/pubs/Dalal-cvpr05.pdf>



116

25
SOICT
VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG
SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25

SOICT

VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

SCHOOL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

25