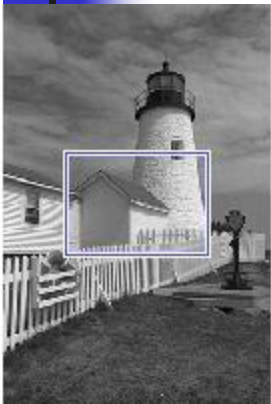




Fundamentals of Image Processing

Jayanta Mukhopadhyay
Dept. of Computer Science and Engg.

How images are represented in computer?



Width: 256
Height: 384

9	95	95	103	88	73	74	89	103	101	97	96	96	99	98	9
1	107	90	103	118	122	115	99	85	78	81	91	97	100	97	9
4	73	88	196	175	129	118	120	123	116	103	85	75	73	81	9
3	81	67	157	220	226	217	184	152	130	128	125	125	111	95	8
9	92	88	71	75	104	147	187	219	227	209	170	138	129	133	1
0	102	104	100	93	84	72	69	87	122	165	208	225	213	185	1
0	110	122	114	111	108	103	101	95	81	73	79	105	147	190	2
3	119	137	127	125	121	117	114	111	108	107	103	92	83	83	9
3	123	147	141	137	134	130	127	122	121	121	119	114	113	110	9
7	126	150	148	148	143	143	141	135	135	134	127	126	123	123	1

2D Array of integers

Color images

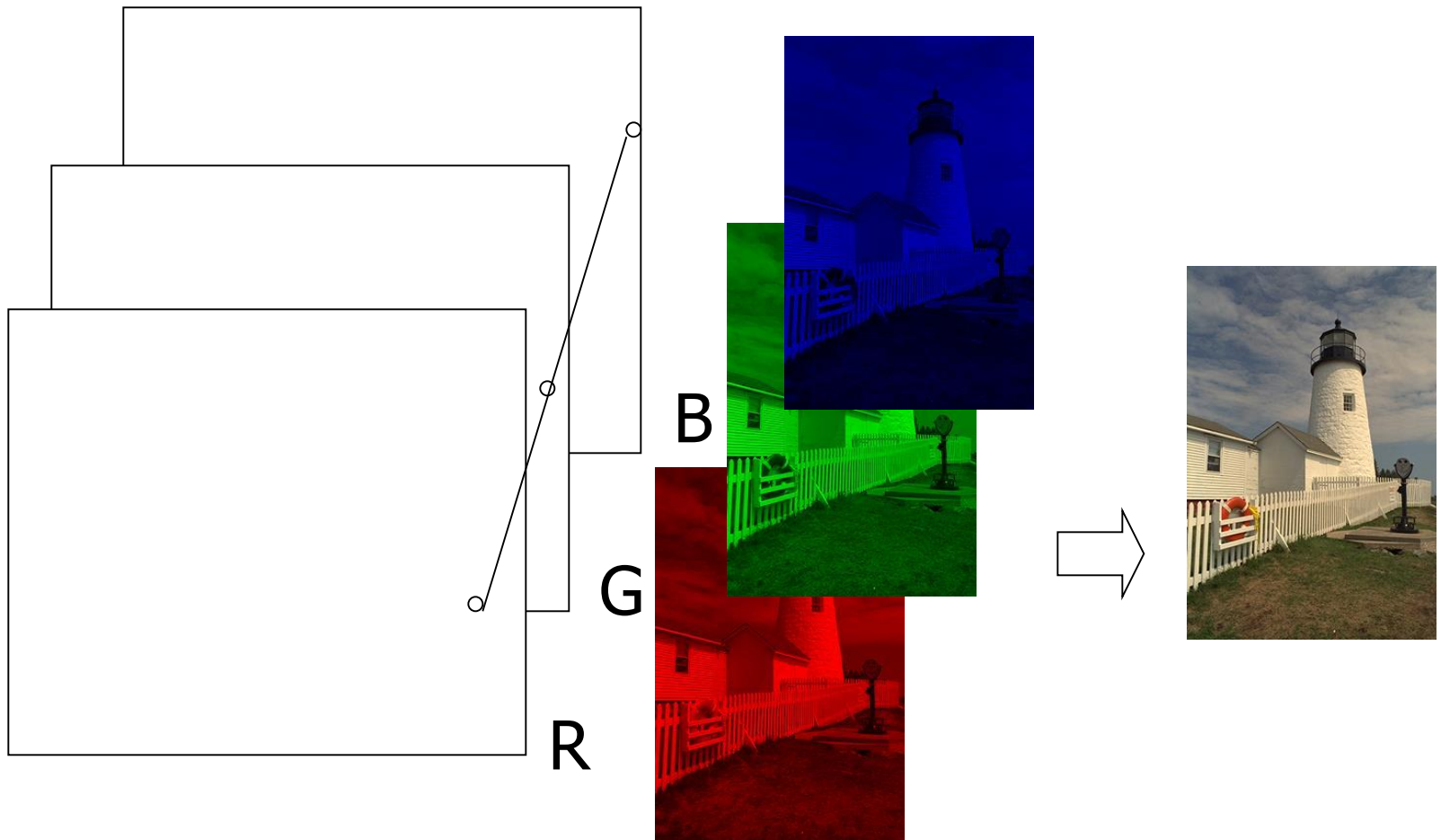
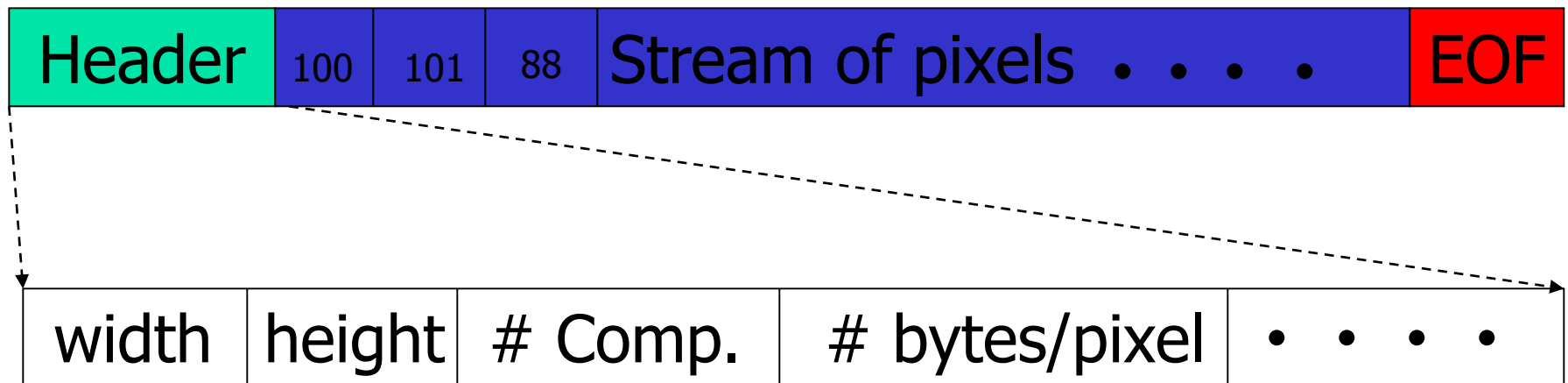




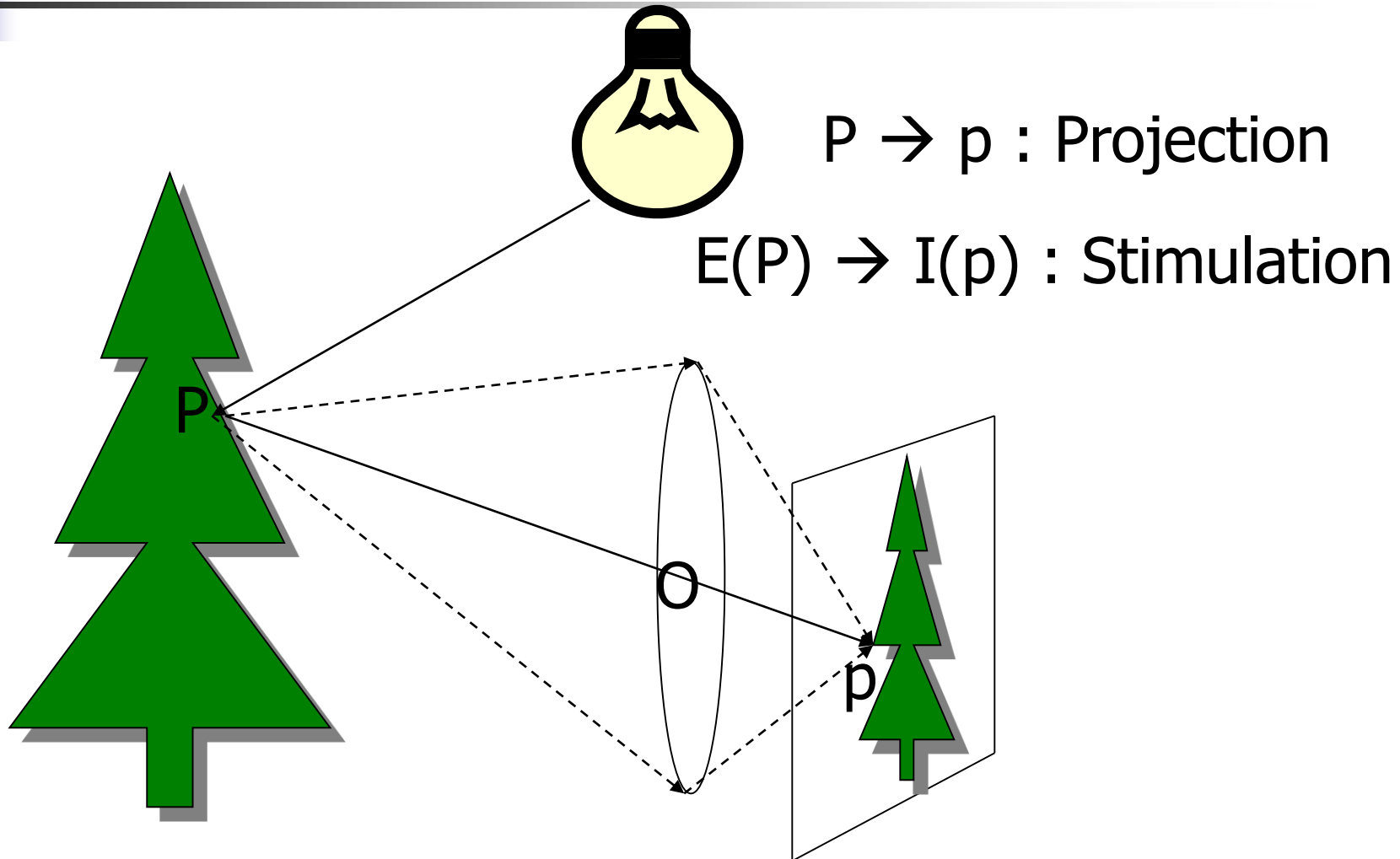
Image File



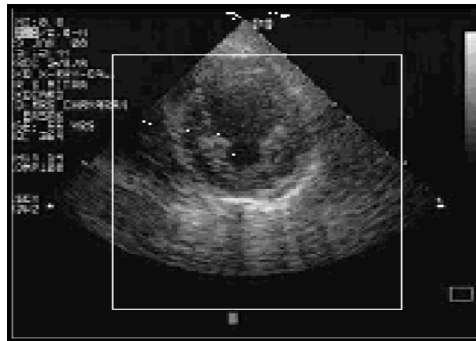
Standard File Formats:

TIFF, BMP, GIF, PGM, PPM, JPEG, DICOM,

Image formation in optical camera



Other forms of images





What is an image?

- Impression of physical world.
- Spatial distribution of a measurable quantity, encoding the geometry and material properties of objects.

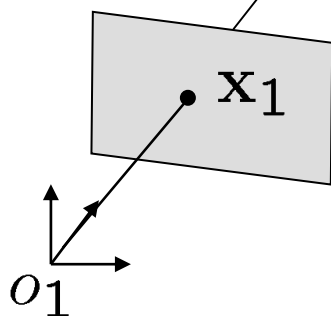


Image Processing:

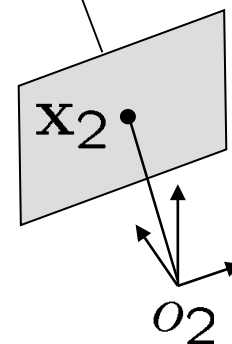
A few perspectives

- To determine structure / geometry of objects.
- To determine material properties of objects.
- To determine object's position, category, and its role / interaction with other objects.
- To aid / enhance our perception of the physical world.

Example: Structure Recovery



Given two views of the scene
recover the unknown camera
displacement and 3D scene
structure



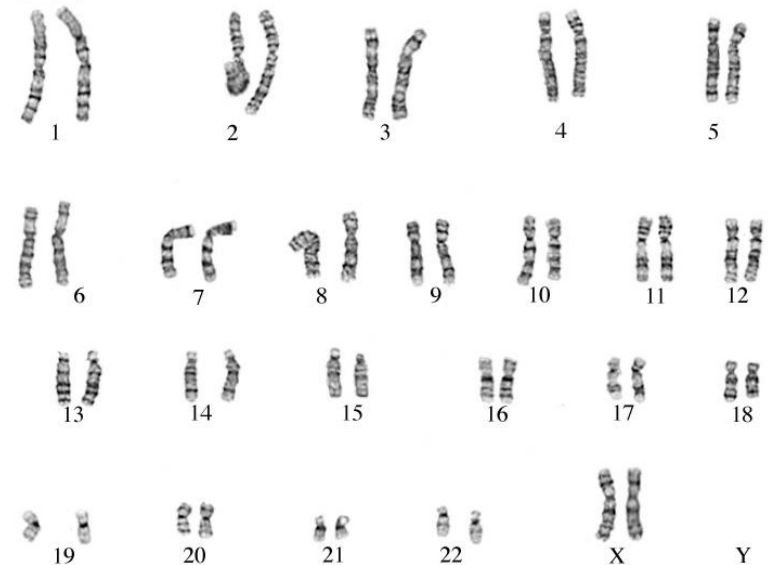
Courtesy: www.cs.gmu.edu/~kosecka/lect4.ppt

Example: Karyotyping

Need not be a 3D structure.



ZWK9904 KEY



Structure description may be relative!

Example: Material Property from Remote Sensing Images



Courtesy: www.sal.ocean.washington.edu/teaching/lectures/classification.ppt

Example: Document Analysis





Example: Image Enhancement

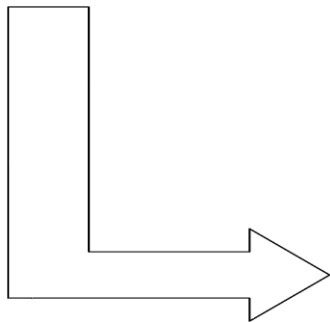


Courtesy: des.memphis.edu/esra/teaching/geog6515/newlectures/

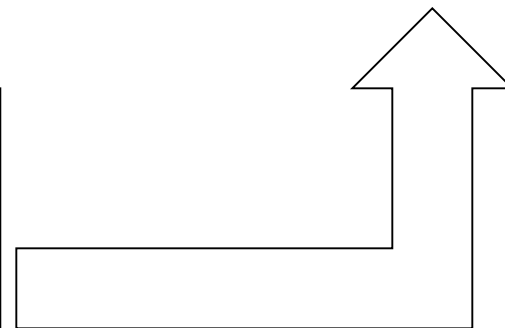


Stages of Image Analysis

Pre-processing



Feature Extraction



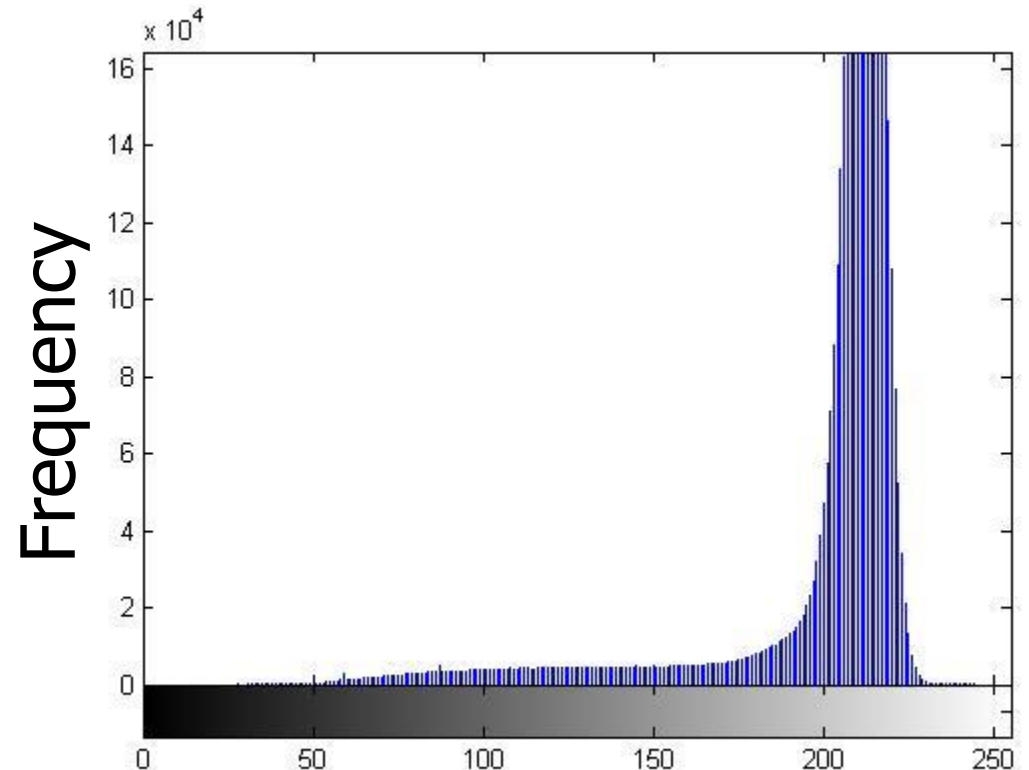
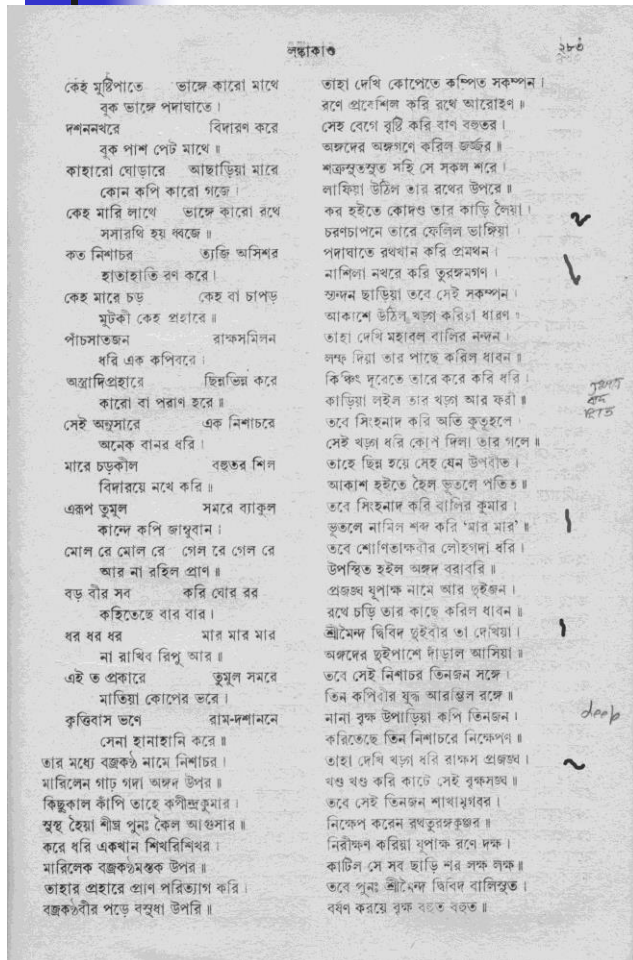
End Analysis



Image Processing Approaches

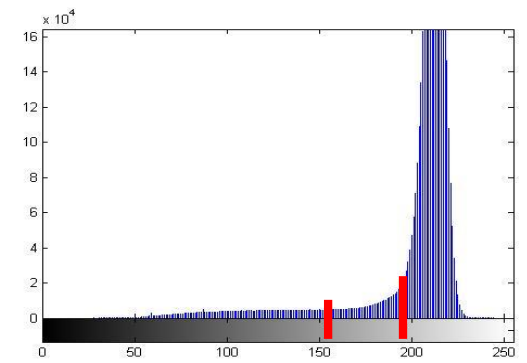
- Geometry based
 - Projective geometry
 - Digital geometry
- Signal processing based
 - Functional analysis
 - Linear system theory

Image histogram



Normalized Histogram $\rightarrow p(x)$

Thresholding



কেই মুষ্টিপাতে ভাসে কারো মাথে
বুক ভাসে পদাধাতে ।
দর্শননখরে বিদারণ করে
বুক পাশ পেট মাথে ।
কাহারো ঘোড়ারে আছাড়িয়া মারে
কোন কপি কারো গাঙ্গে ।
কেহ মারি লাথে ভাসে কারো রথে
সদারণি হয় ধ্বজে ॥
কত নিশাচর তাজি অসিধর
হাতাহাতি রণ করে ।
কেহ মারে চড় কেহ বা চাপড়
মুটকী কেহ প্রহারে ॥
পাঁচসাতজন রাক্ষসমিলন
ধরি এক কপিবারে ।
অগ্নিপ্রহারে ছিন্নভিন্ন করে
কারো বা পরাণ হরে ॥
সেই অম্বসারে এক নিশাচরে
অনেক বানর ধরি ।
মারে চড়কীল বহুতর শিল
বিদারয়ে নখে করি ॥
একপ তুমুল সমরে ব্যাকুল
কাপে কপি জাম্বুবান ।
মোল রে মোল রে গেল রে গেল রে
আর না রহিল প্রাণ ॥
বড় বীর সব করি যোর রর
কহিতেছে বার বার ।
ধর ধর ধর মার মার মার
না রাখিব রিপু আর ॥
এই ত প্রকারে তুমুল সমরে
মতিয়া কোপের ভরে ।
কৃতিবাস ভণে রাম-দশাননে
সেনা হানাহানি করে ॥
তার মধ্যে বজ্রকণ্ট নামে নিশাচর ।
মারিলেন গাঢ় গরা অঙ্গ উপর ॥
কিছুকাল কাঁপি তাহে কপীপ্রহুমার ।
হুহু হৈয়া শীঘ্র পুনঃ কৈল আগ্রসার ॥
করে ধরি একস্থান শিখরিশিখর ।
মারিলেক বজ্রকণ্টমস্তক উপর ॥
তাহার প্রহারে প্রাণ পরিত্যাগ করি ।
বজ্রকণ্টবীর পড়ে লম্বা উপরি ॥

তাহা দেখি কোপেতে কণ্ঠিত সকম্পন ।
রণে প্রবেশিল করি রথে আরোহণ ॥
সেহ বেগে বৃষ্টি করি বাণ বহুতর ।
অঙ্গদের অঙ্গগণে করিল ছর্জর ॥
শত্রুসুতহৃত সহি সে সকল শরে ।
লাফিয়া উঠিল তার রথের উপরে ॥
কর হইতে কোদণ্ড তার কাড়ি লৈয়া ।
চরণচাপনে তারে ফেলিল ভাসিয়া ॥
পদাধাতে রাখান করি প্রমথন ।
নাশিলা নখরে করি তুরঙ্গমণাণ ॥
ক্ষমন ছাড়িয়া তবে সেই সকম্পন ।
আকাশে উঠিল বজ্রা করিয়া ধারণ ॥
তাহা দেখি মহাবল বাণির নন্দন ।
লক্ষ দিয়া তার পাছে করিল ধাবন ॥
কিঞ্চিৎ বুঝেতে তারে করে করি ধরি ।
কাড়িয়া লইল তার খড়া আর ফরি ॥
তবে সিংহনাদ করি অতি ক্রুদ্ধহণে
সেই খড়া ধরি কোণ দিলা তার গলে ॥
তাঁহে ছিন্ন হয়ে সেই বেন উপবীত ।
আকাশ হইতে হৈল ভূতলে পতিত ॥
তবে সিংহনাদ করি বাণির কুমার ।
ভূতলে নামিল শব্দ করি 'মার মার' ॥
তবে শোণিতাকবীর সৌহগদা ধরি ।
উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি ॥
প্রজন্ম যুগাক নামে আর দুইজন ।
রথে চড়ি তার কাছে করিল ধাবন ॥
ঐন্দ্রেন্দ্র বিবির দুইবার তা দেখিয়া ।
অঙ্গদের দুইপাশে পাড়াল আসিয়া ॥
তবে সেই নিশাচর ভিনজন সঙ্গে ।
তিন কপিবার যুদ্ধ আরম্ভিল সঙ্গে ॥
নানা বৃক্ষ উপাড়িয়া কপি ভিনজন ।
করিতেছে তিন নিশাচরে নিক্ষেপণ ॥
তাহা দেখি বজ্রা ধরি রাক্ষস প্রজন্ম ।
বগু বগু করি কাটে সেই বৃক্ষসজ্জ ॥
তবে সেই ভিনজন শাখাশৃঙ্গবর ।
নিক্ষেপ করেন বহুতরঙ্গকুঞ্জর ॥
নিরীক্ষণ করিয়া যুগাক রণে দক্ষ ।
কাটিল সে সব ছাড়ি শর লক্ষ লক্ষ ॥
তবে পুনঃ ঐন্দ্রেন্দ্র বিবির বাসিমুত ।
বর্ধন করয়ে বৃক্ষ বহুত বহুত ॥

২৮৬

২

১

৩৮৮
৪৮৫

১

১

৩৮৮

২

Th=156

কেই মুষ্টিপাতে - ভাসে কারো মাথে
বুক ভাসে পদাধাতে ।
দর্শননখরে বিদারণ করে
বুক পাশ পেট মাথে ।
কাহারো ঘোড়ারে আছাড়িয়া মারে
কোন কপি কারো গাঙ্গে ।
কেহ মারি লাথে ভাসে কারো রথে
সদারণি হয় ধ্বজে ॥
কত নিশাচর তাজি অসিধর
হাতাহাতি রণ করে ।
কেহ মারে চড় কেহ বা চাপড়
মুটকী কেহ প্রহারে ॥
পাঁচসাতজন রাক্ষসমিলন
ধরি এক কপিবারে ।
অগ্নিপ্রহারে ছিন্নভিন্ন করে
কারো বা পরাণ হরে ॥
সেই অম্বসারে এক নিশাচরে
অনেক বানর ধরি ।
মারে চড়কীল বহুতর শিল
বিদারয়ে নখে করি ॥
একপ তুমুল সমরে ব্যাকুল
কাপে কপি জাম্বুবান ।
মোল রে মোল রে গেল রে গেল রে
আর না রহিল প্রাণ ॥
বড় বীর সব করি যোর রর
কহিতেছে বার বার ।
ধর ধর ধর মার মার মার
না রাখিব রিপু আর ॥
এই ত প্রকারে তুমুল সমরে
মতিয়া কোপের ভরে ।
কৃতিবাস ভণে রাম-দশাননে
সেনা হানাহানি করে ॥
তার মধ্যে বজ্রকণ্ট নামে নিশাচর ।
মারিলেন গাঢ় গরা অঙ্গ উপর ॥
কিছুকাল কাঁপি তাহে কপীপ্রহুমার ।
হুহু হৈয়া শীঘ্র পুনঃ কৈল আগ্রসার ॥
করে ধরি একস্থান শিখরিশিখর ।
মারিলেক বজ্রকণ্টমস্তক উপর ॥
তাহার প্রহারে প্রাণ পরিত্যাগ করি ।
বজ্রকণ্টবীর পড়ে লম্বা উপরি ॥

২৮৬

তাহা দেখি কোপেতে কণ্ঠিত সকম্পন ।
রণে প্রবেশিল করি রথে আরোহণ ॥
সেহ বেগে বৃষ্টি করি বাণ বহুতর ।
অঙ্গদের অঙ্গগণে করিল ছর্জর ॥
শত্রুসুতহৃত সহি সে সকল শরে ।
লাফিয়া উঠিল তার রথের উপরে ॥
কর হইতে কোদণ্ড তার কাড়ি লৈয়া ।
চরণচাপনে তারে ফেলিল ভাসিয়া ॥
পদাধাতে রাখান করি প্রমথন ।
নাশিলা নখরে করি তুরঙ্গমণাণ ॥
ক্ষমন ছাড়িয়া তবে সেই সকম্পন ।
আকাশে উঠিল বজ্রা করিয়া ধারণ ॥
তাহা দেখি মহাবল বাণির নন্দন ।
লক্ষ দিয়া তার পাছে করিল ধাবন ॥
কিঞ্চিৎ বুঝেতে তারে করে করি ধরি ।
কাড়িয়া লইল তার খড়া আর ফরি ॥
তবে সিংহনাদ করি অতি ক্রুদ্ধহণে
সেই খড়া ধরি কোণ দিলা তার গলে ॥
তাঁহে ছিন্ন হয়ে সেই বেন উপবীত ।
আকাশ হইতে হৈল ভূতলে পতিত ॥
তবে সিংহনাদ করি বাণির কুমার ।
ভূতলে নামিল শব্দ করি 'মার মার' ॥
তবে শোণিতাকবীর সৌহগদা ধরি ।
উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি ॥
প্রজন্ম যুগাক নামে আর দুইজন ।
রথে চড়ি তার কাছে করিল ধাবন ॥
ঐন্দ্রেন্দ্র বিবির দুইবার তা দেখিয়া ।
অঙ্গদের দুইপাশে পাড়াল আসিয়া ॥
তবে সেই নিশাচর ভিনজন সঙ্গে ।
তিন কপিবার যুদ্ধ আরম্ভিল সঙ্গে ॥
নানা বৃক্ষ উপাড়িয়া কপি ভিনজন ।
করিতেছে তিন নিশাচরে নিক্ষেপণ ॥
তাহা দেখি বজ্রা ধরি রাক্ষস প্রজন্ম ।
বগু বগু করি কাটে সেই বৃক্ষসজ্জ ॥
তবে সেই ভিনজন শাখাশৃঙ্গবর ।
নিক্ষেপ করেন বহুতরঙ্গকুঞ্জর ॥
নিরীক্ষণ করিয়া যুগাক রণে দক্ষ ।
কাটিল সে সব ছাড়ি শর লক্ষ লক্ষ ॥
তবে পুনঃ ঐন্দ্রেন্দ্র বিবির বাসিমুত ।
বর্ধন করয়ে বৃক্ষ বহুত বহুত ॥

২৮৬

২

১

৩৮৮
৪৮৫

১

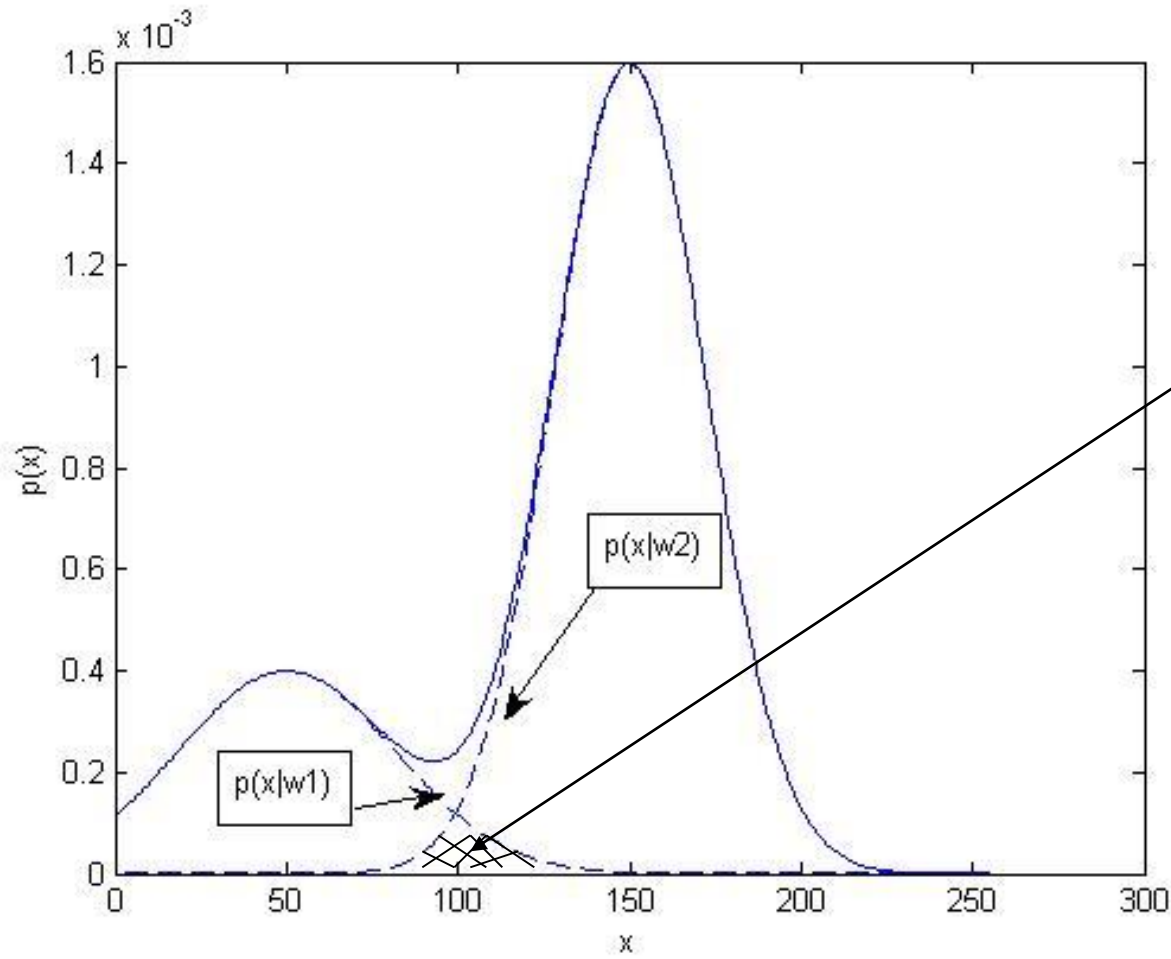
১

৩৮৮

২

Th=192

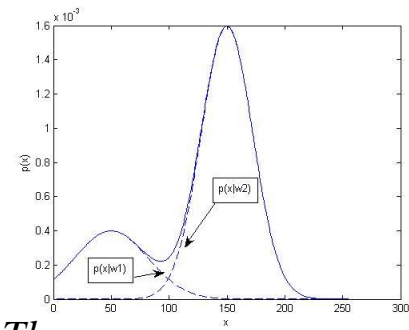
Bayesian Classification



Minimize
Misclassification
Error

$$p(x) = p(w1)p(x|w1) + p(w2)p(x|w2)$$

Expectation-Maximization Algorithm



1. Choose a Threshold Th .
2. Estimate $p(w1)$, μ_1 , σ_1 , $p(w2)$, μ_2 , σ_2 .
3. Compute new threshold value so that for $x < Th$, $p(w1/x) > p(w2 > x)$, and vice versa.
4. Iterate steps 2 & 3 till the value converges.

$$p(w1) = \sum_{x=0}^{Th} p(x)$$

$$p(w2) = 1 - p(w1)$$

$$\mu_1 = \sum_{x=0}^{Th} x \cdot p(x)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{x=0}^{Th} x^2 \cdot p(x) - \mu_1^2$$

$$\mu_2 = \sum_{x=Th+1}^{255} x \cdot p(x)$$

$$\sigma_2^2 = \sum_{x=Th+1}^{255} x^2 \cdot p(x) - \mu_2^2$$



Otsu Thresholding

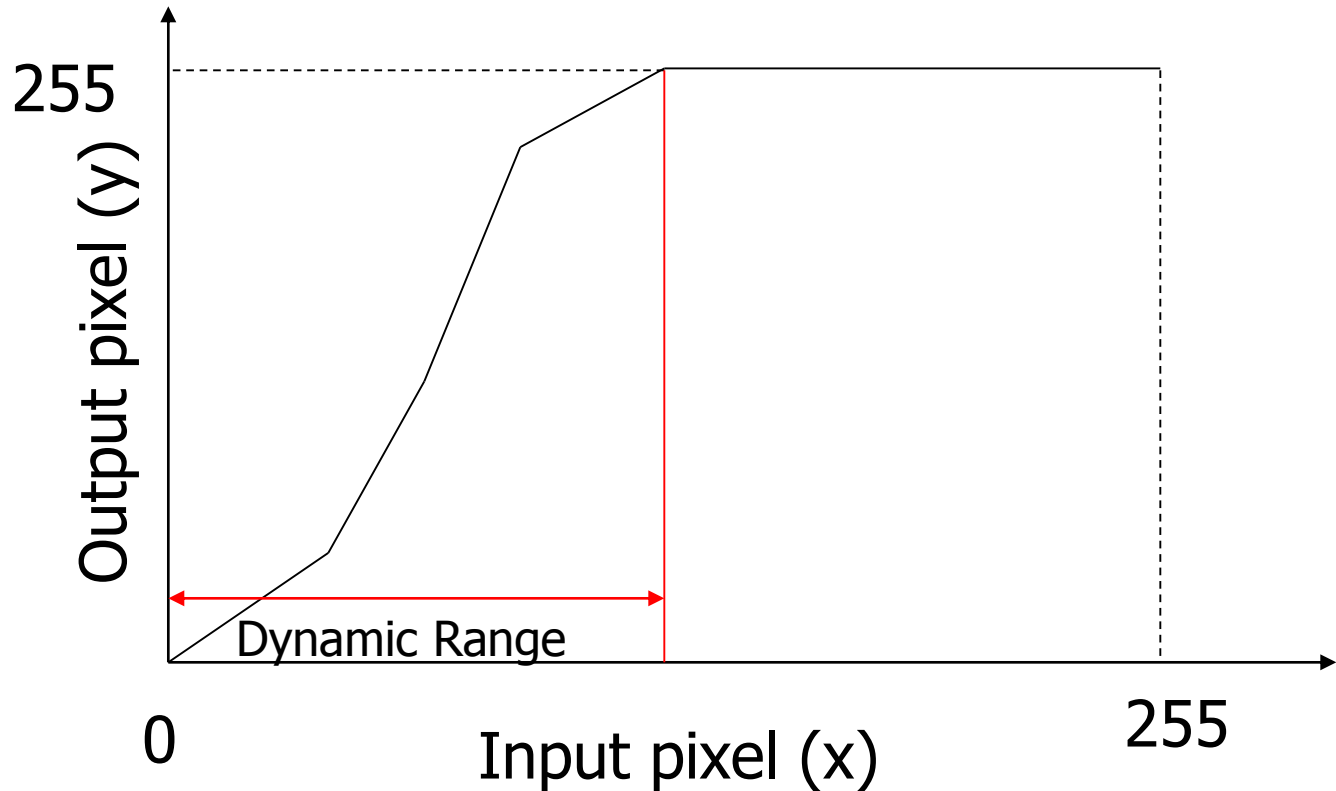
- Choose a threshold value, which maximizes between class variance (σ_B^2).

$$\sigma_B^2 = p(w1) p(w2) (\mu_2 - \mu_1)^2$$

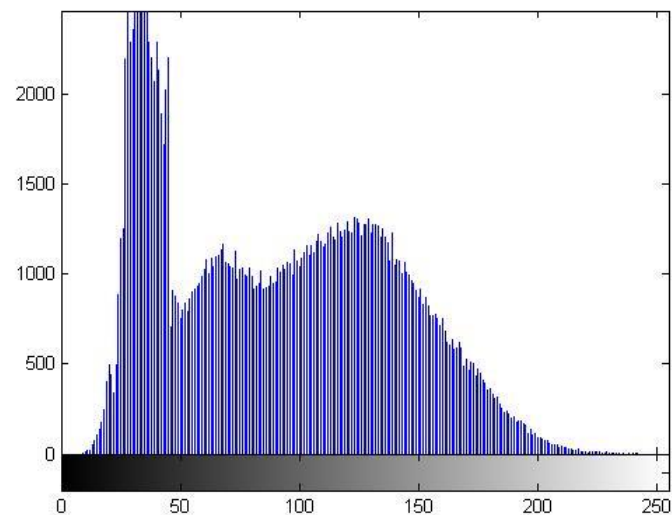
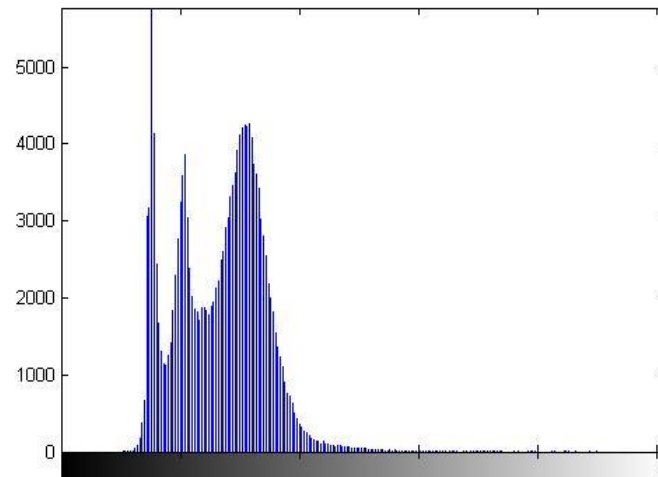
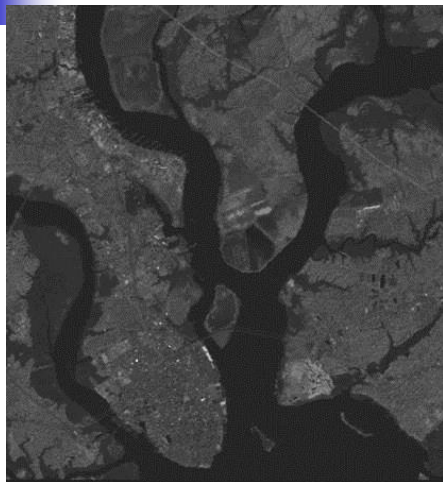
Pixel mapping

$$y = 255 \cdot \sum_{t=0}^x p(t)$$

Function is monotonic.



Histogram Equalization



Gradient Operations

Consider the image as a 2D function: $f(x, y)$



$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = f(x+1, y) - f(x, y)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = f(x, y+1) - f(x, y)$$

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \hat{j}$$



Computation with mask

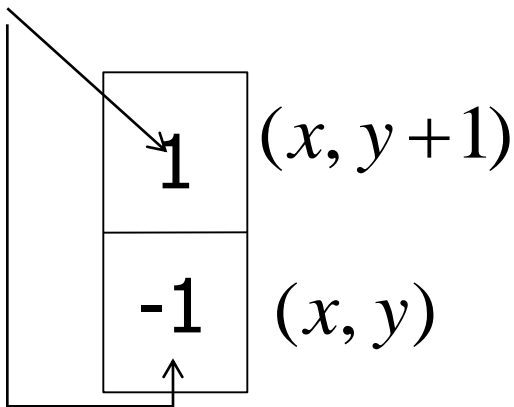
-1	1
----	---

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

Algorithm

1. Scan the image top to bottom and left to right.
2. At every point (x, y) place the mask and compute the weighted sum.
3. Write the value at (x, y) pixel position of the processed image

Weights





Robust computation

Averaging neighboring gradient values

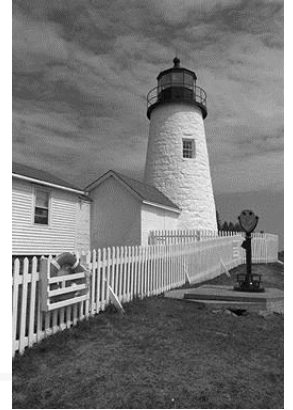
-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

1	2	1
0	0	0
-1	-2	1

Sobel operator

(8 times of the gradient value in any direction)

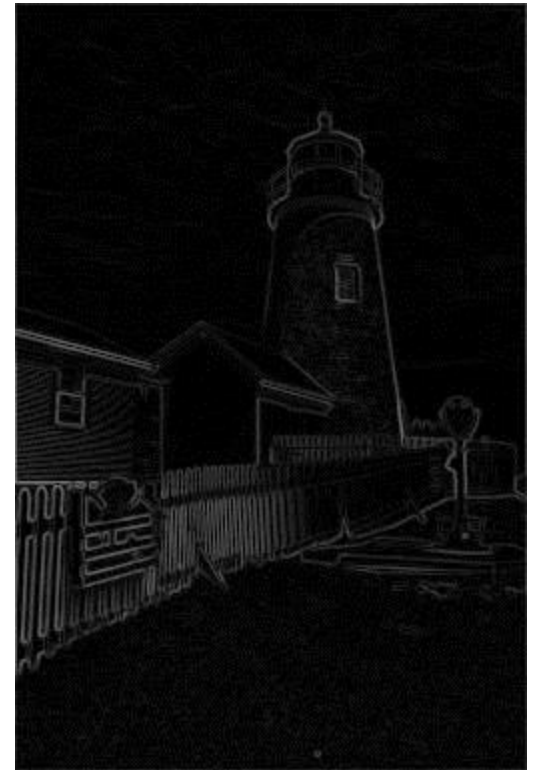
Results of gradient operations



Vertical

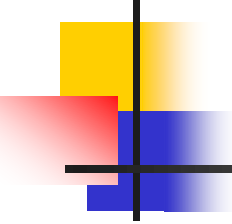


Horizontal



Resultant

More on computation with mask

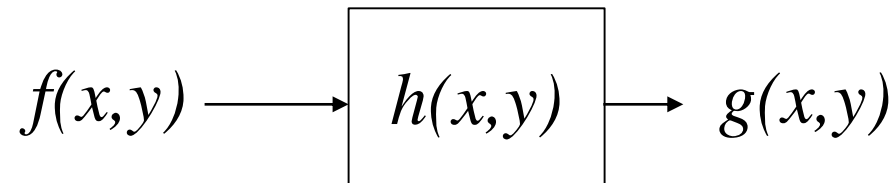


w_1	w_2	w_3
w_4	w_c	w_5
w_6	w_7	w_8

Convolution operation

Filtering

Mask \rightarrow Filter Response ($h(x,y)$)

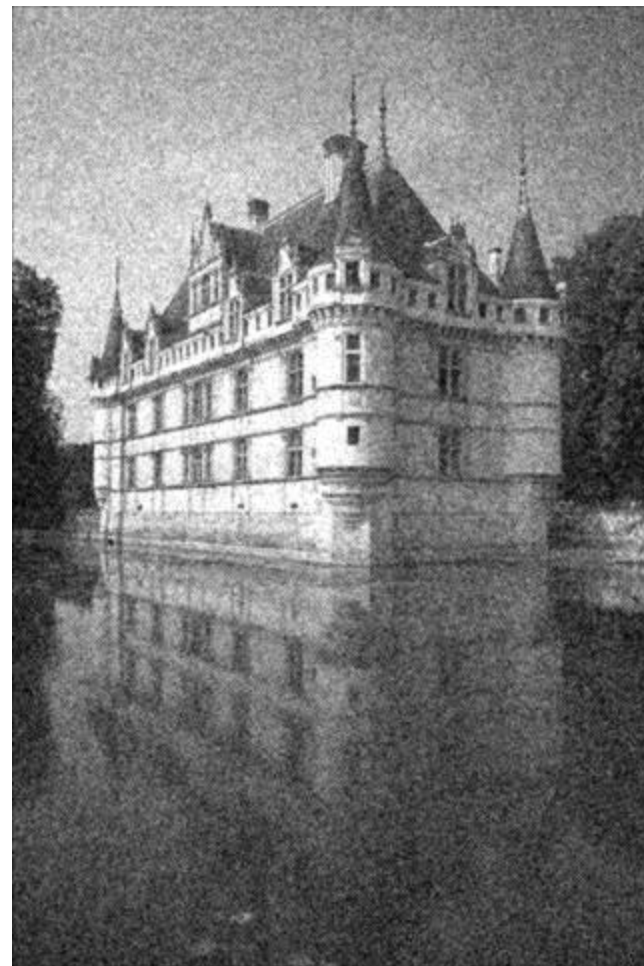
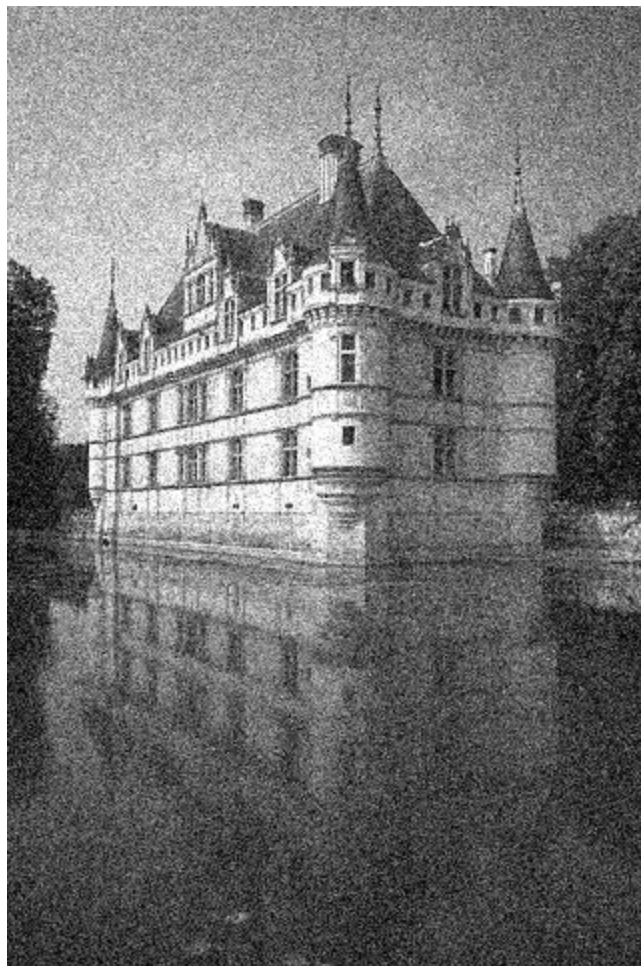


$$g(x,y) = w_1 f(x-1, y+1) + w_2 f(x, y+1) + w_3 f(x+1, y+1) + w_4 f(x-1, y) + w_c f(x, y) + w_5 f(x+1, y) + w_6 f(x-1, y-1) + w_7 f(x, y-1) + w_8 f(x+1, y-1)$$

Noise Filtering

c	b	c
b	a	b
c	b	c

$a=0.5$, $b=0.3/4$,
and, $c=0.25/4$



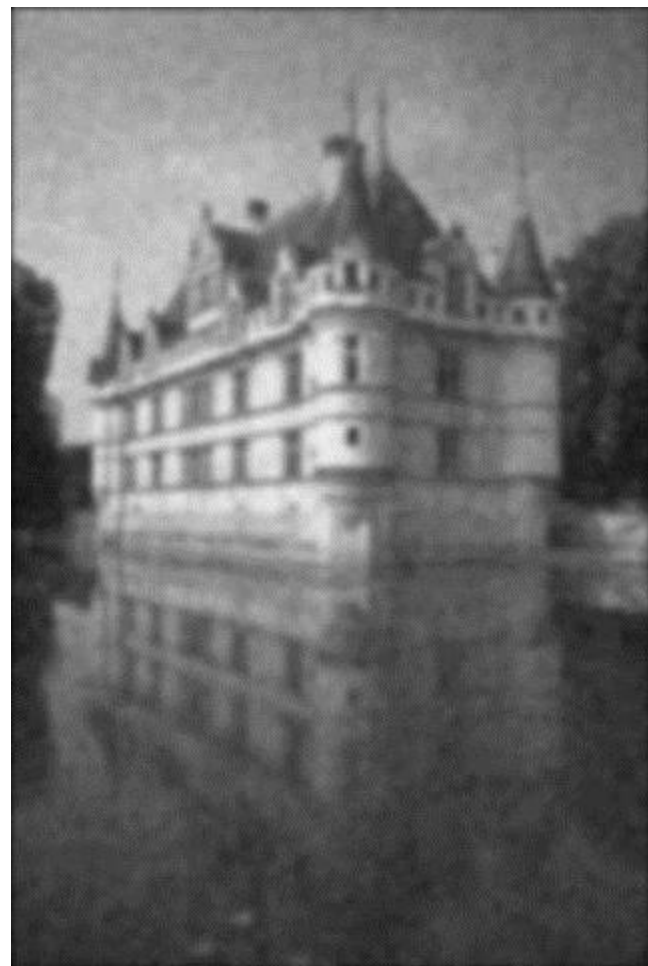
Gaussian Smoothing

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

$$g(x, y) = f(x, y) * G(x, y)$$

$$\sigma=2$$

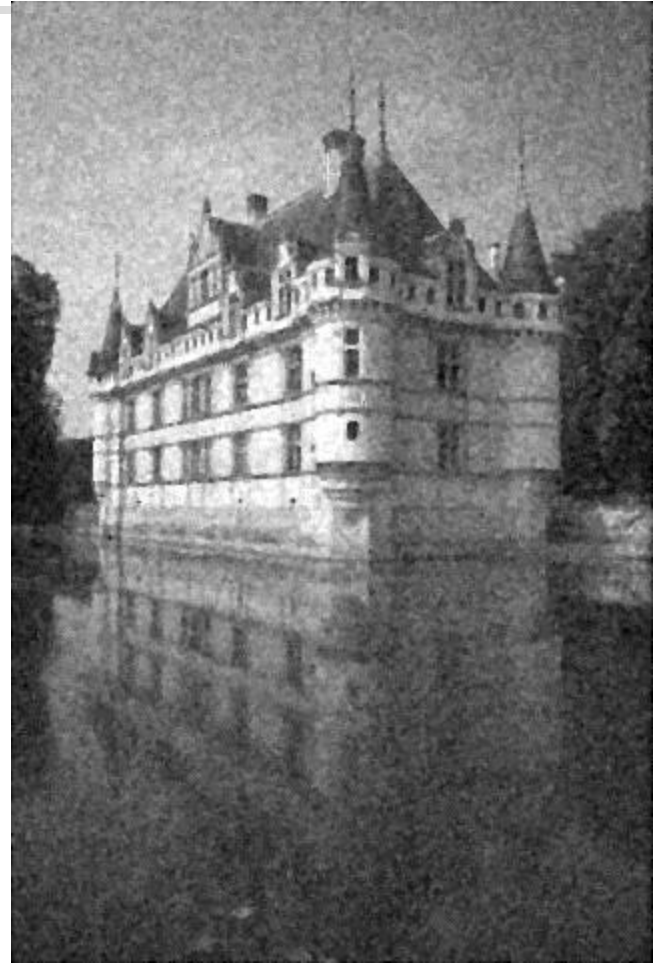
Mask size: 9x9





Median Filtering

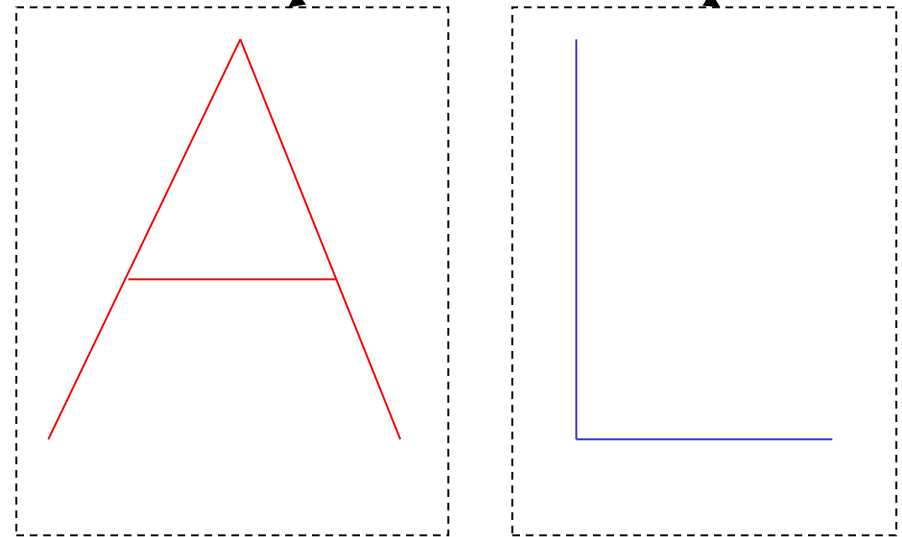
$g(x,y)$ = the median value among
the neighbors.



Feature Selection and Computation

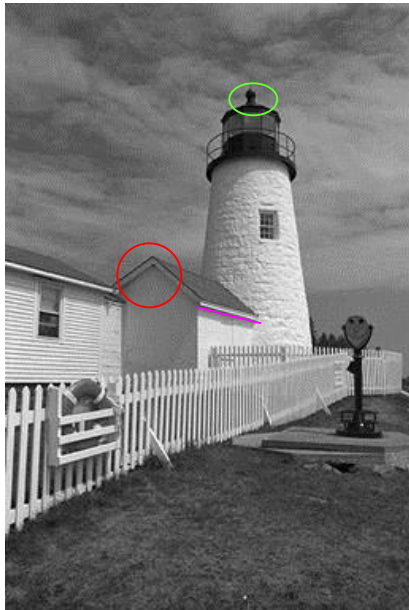
Segmentation

- Class homogeneity
- Discriminative
- Computability
- Abstraction in Representation



- No. of line and curve segments
- Angles at points of intersection
- k-th moments of patterns

Key Feature Points



- Intensity (Maximum or Minimum)
 - Edges
 - Corners
-
- Noise
 - Orientation
 - Scale



Harris corner detector

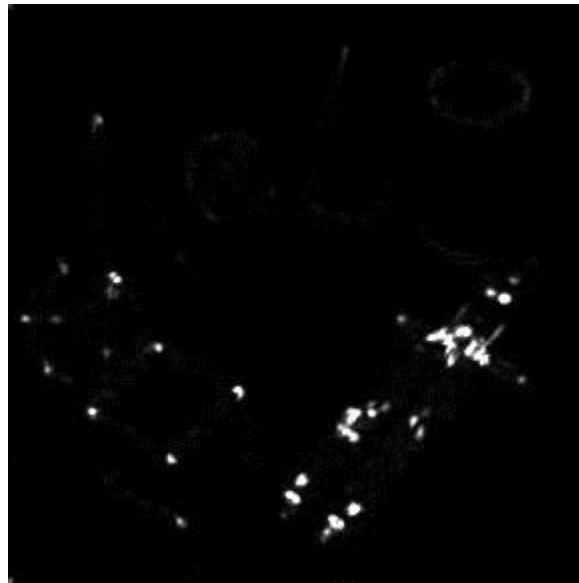
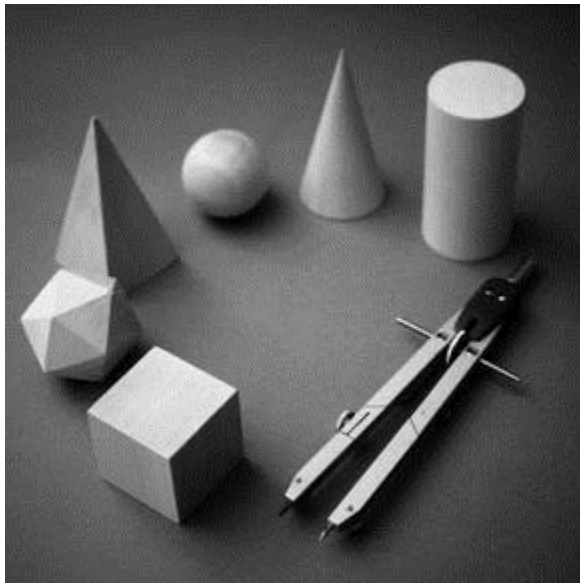
$$H = \begin{bmatrix} \overline{f_x^2} & \overline{f_x f_y} \\ \overline{f_y f_x} & \overline{f_y^2} \end{bmatrix}$$

Algorithm:

1. Compute $hm = \det(H) / \text{trace}(H)$.
2. Retain $hm > \text{threshold}$.
3. Select local maxima as key-points.



Examples: Harris corner points





Other key-point extractor

- Difference of Gaussian (DoG)
- Measures from Hessian Matrix

$$g(x, y) = \sigma \cdot f(x, y) * \frac{\partial G_{\sigma}(x, y)}{\partial \sigma}$$

Local Maxima

$$H = \begin{bmatrix} \overline{\overline{f}}_{xx} & \overline{\overline{f}}_{xy} \\ \overline{\overline{f}}_{yx} & \overline{\overline{f}}_{yy} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{(Tr(H))^2}{Det(H)}$$

Smaller values



Feature Descriptors

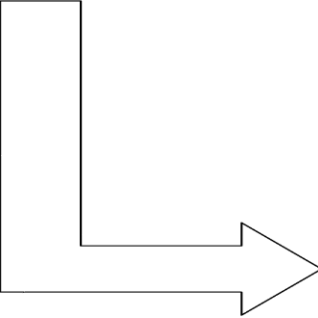
- Scale Invariant Feature Transform (SIFT)
- Speeded Up Robust Feature (SURF)
- Histogram of Gradients (HOG)
- Accumulate statistics of neighboring gradients.
- Final descriptor is a multidimensional feature vector.
- Feature vectors are used in classification / similarity matches.



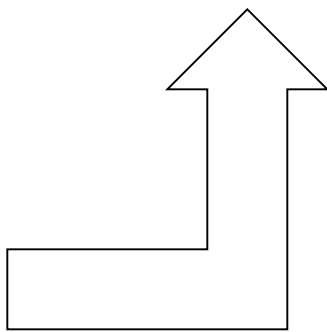
Image Analysis: A brief outline

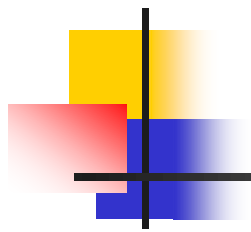
Pre-processing
(Filtering, Enhancement, ..)

End Analysis
(Classification,
Matching,..)



Feature Extraction
And Description
(SIFT, SURF, HOG,..)





Thank you!