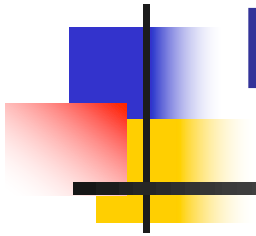
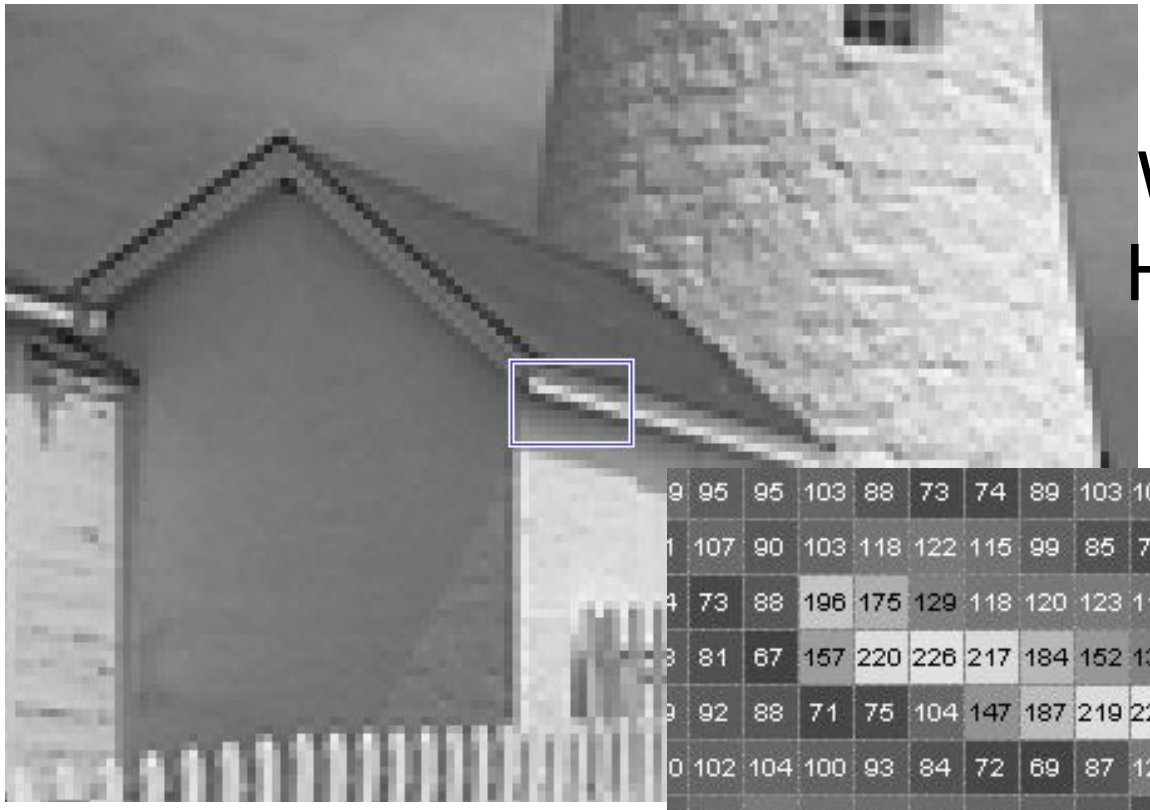


Fundamentals of Image Processing

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

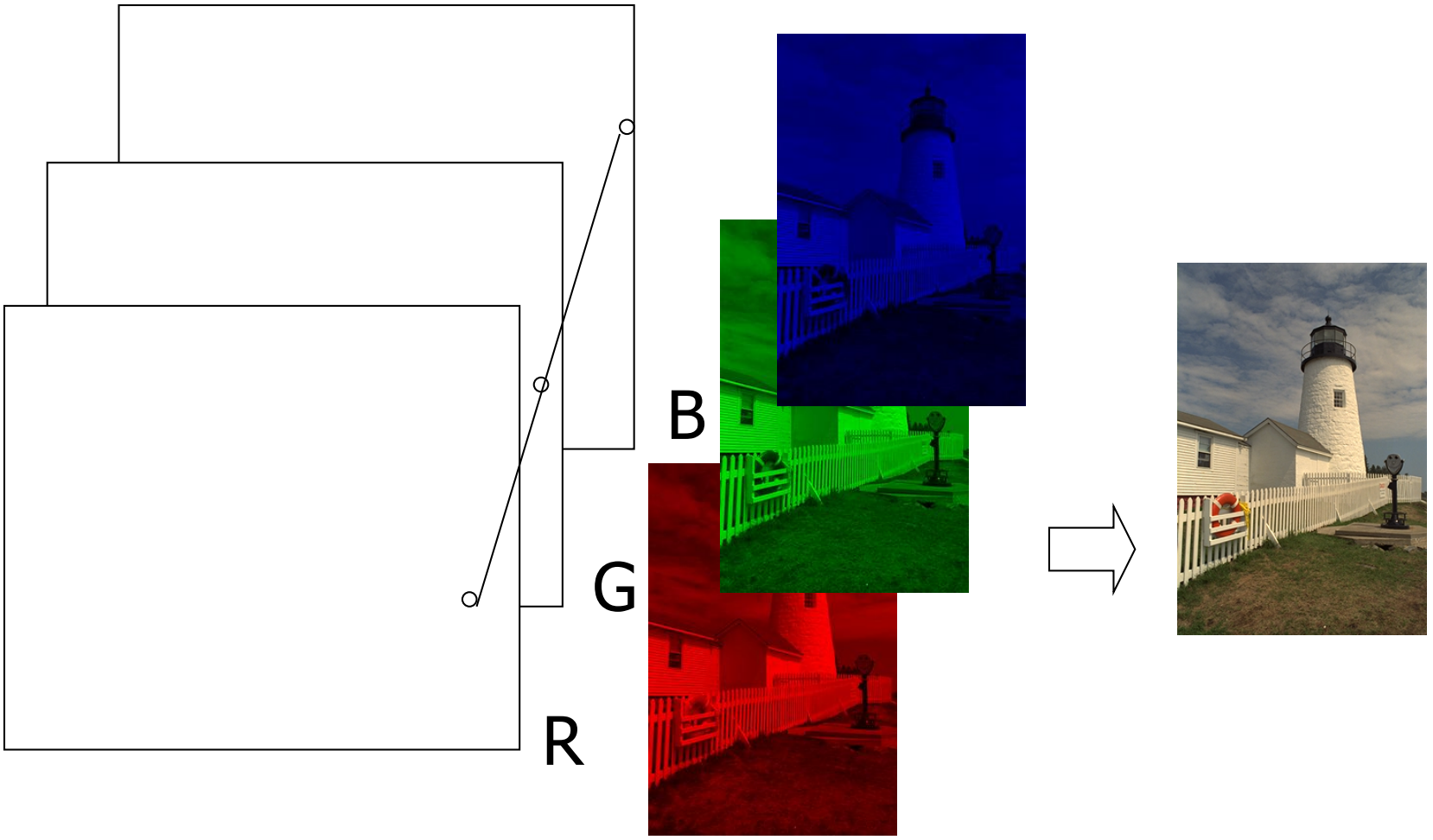
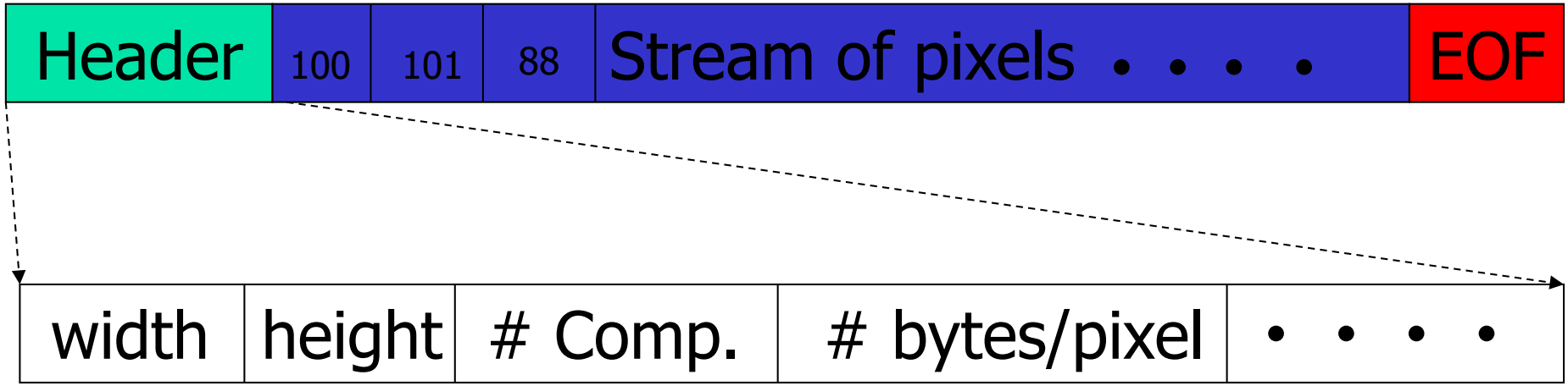
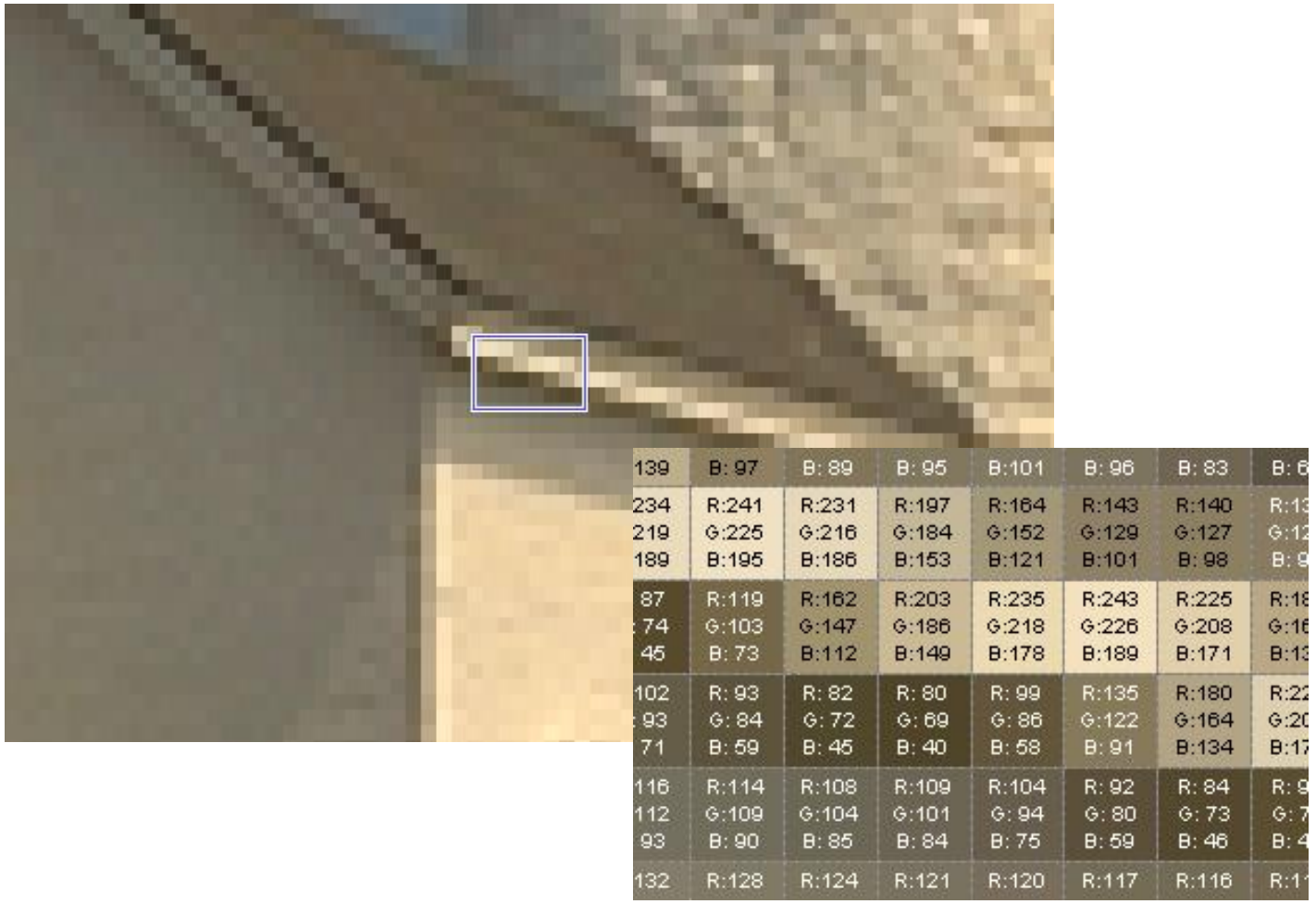


Image File



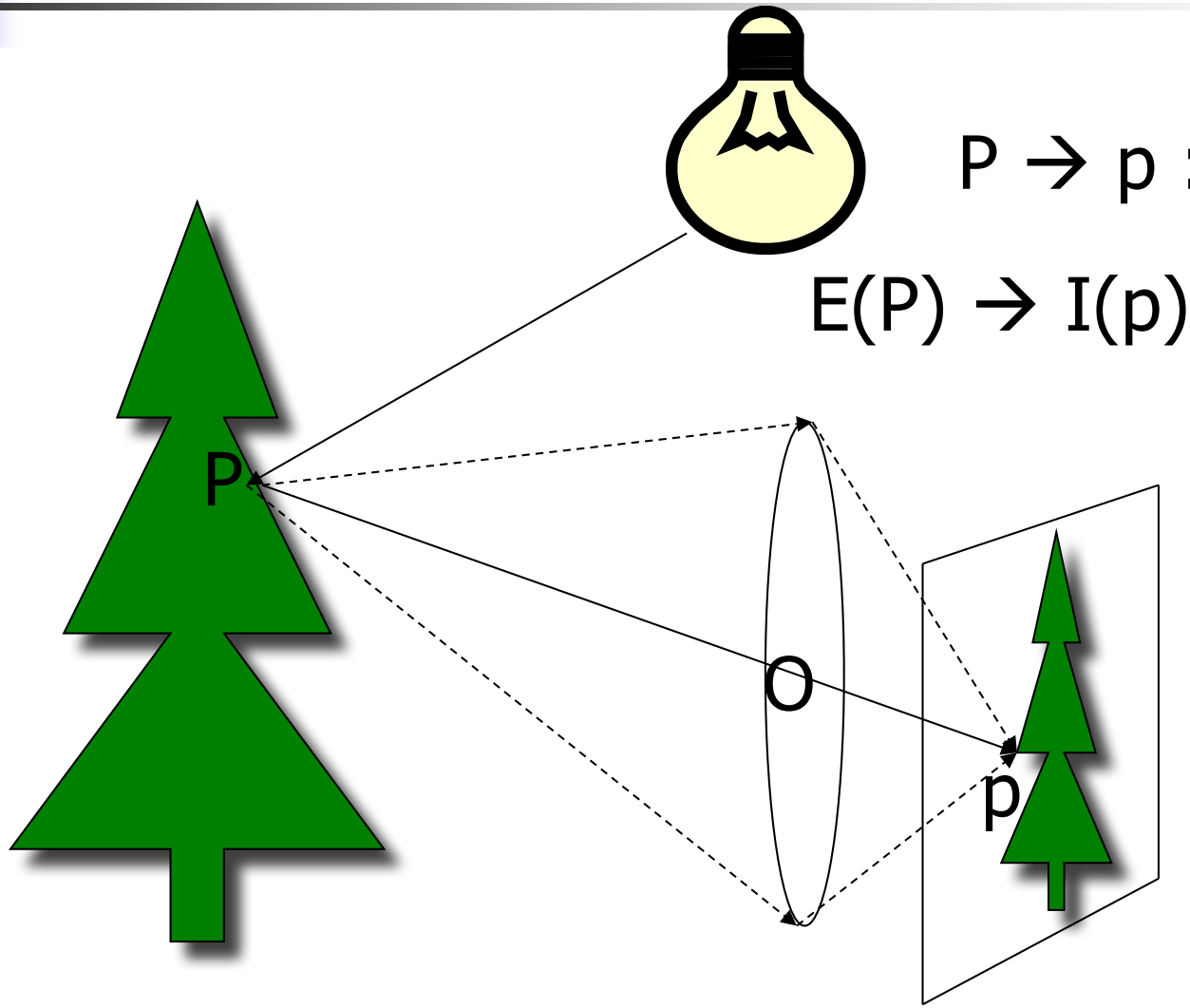
Standard File Formats:
TIFF, BMP, GIF, PGM, PPM, JPEG, DICOM, ….

How images are represented in computer?



139	B: 97	B: 89	B: 95	B:101	B: 96	B: 83	B: 6
234 219 189	R:241 G:225 B:195	R:231 G:216 B:186	R:197 G:184 B:153	R:164 G:152 B:121	R:143 G:129 B:101	R:140 G:127 B: 98	R:13 G:12 B: 9
87 74 45	R:119 G:103 B: 73	R:162 G:147 B:112	R:203 G:186 B:149	R:235 G:218 B:178	R:243 G:226 B:189	R:225 G:208 B:171	R:18 G:16 B:13
102 93 71	R: 93 G: 84 B: 59	R: 82 G: 72 B: 45	R: 80 G: 69 B: 40	R: 99 G: 86 B: 58	R:135 G:122 B: 91	R:180 G:164 B:134	R:22 G:20 B:17
116 112 93	R:114 G:109 B: 90	R:108 G:104 B: 85	R:109 G:101 B: 84	R:104 G: 94 B: 75	R: 92 G: 80 B: 59	R: 84 G: 73 B: 46	R: 9 G: 7 B: 4
132	R:128	R:124	R:121	R:120	R:117	R:116	R:1

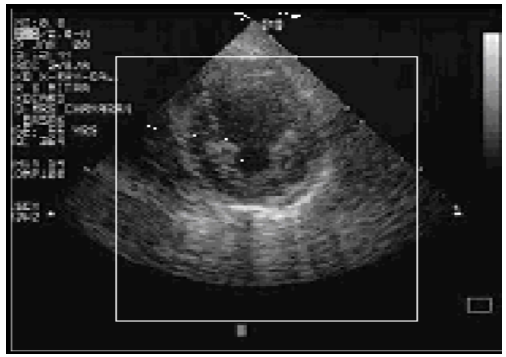
Image formation in optical camera

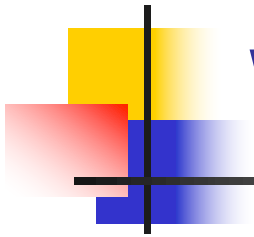


P → p : Projection

E(P) → I(p) : Stimulation

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.

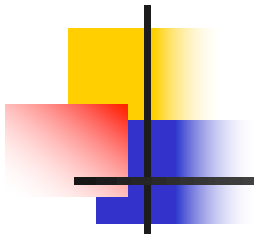
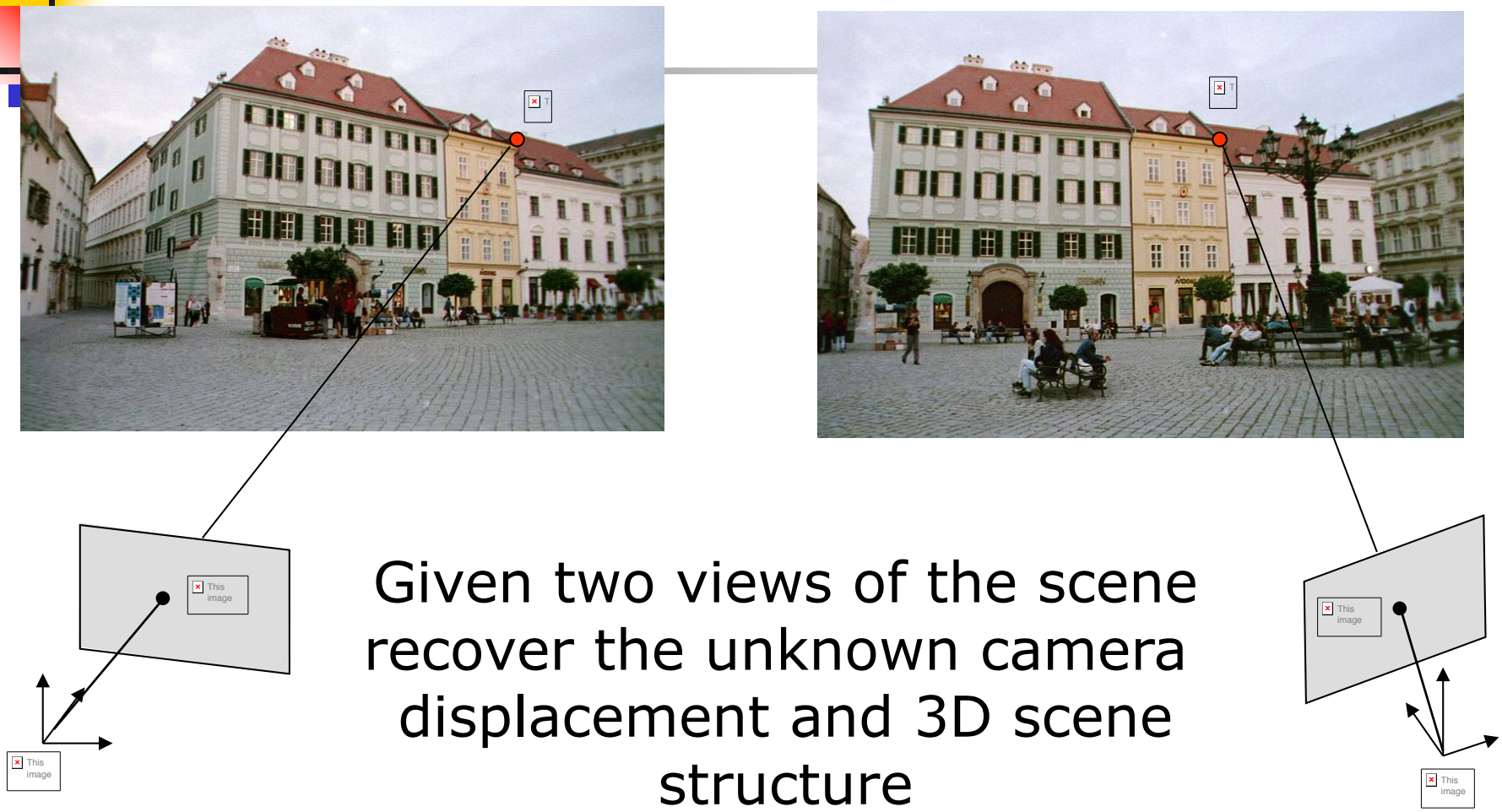


Image Processing: A few perspectives

- 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

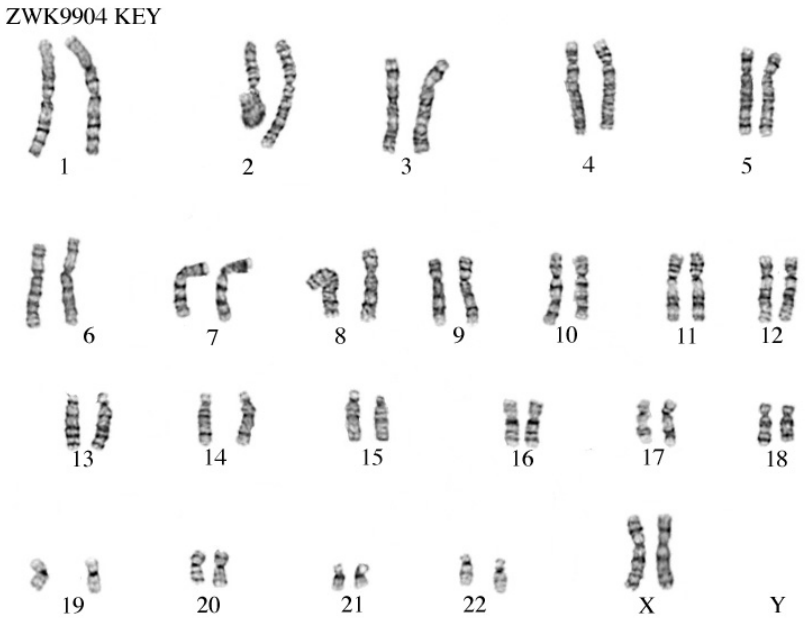


Given two views of the scene recover the unknown camera displacement and 3D scene structure

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

Example: Karyotyping

Need not be a 3D structure.



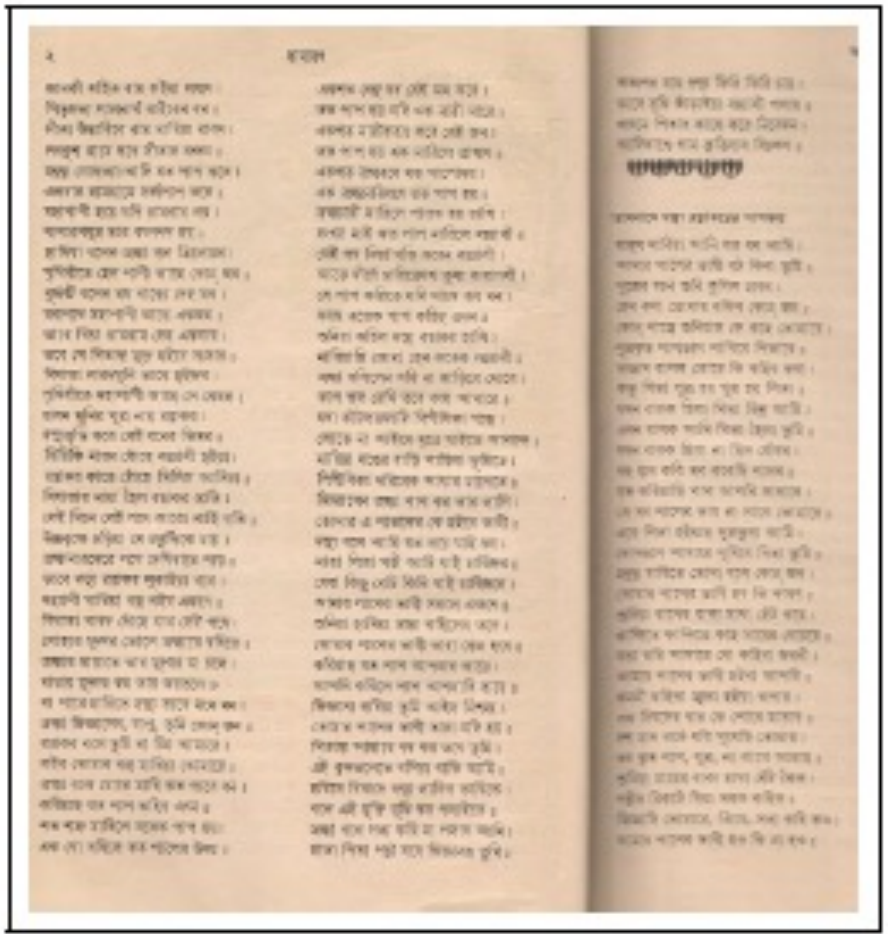
Structure description may be relative!

Courtesy: www.cleburne.k12.tx.us/cms/lib/.../domain/.../karyotyping.ppt

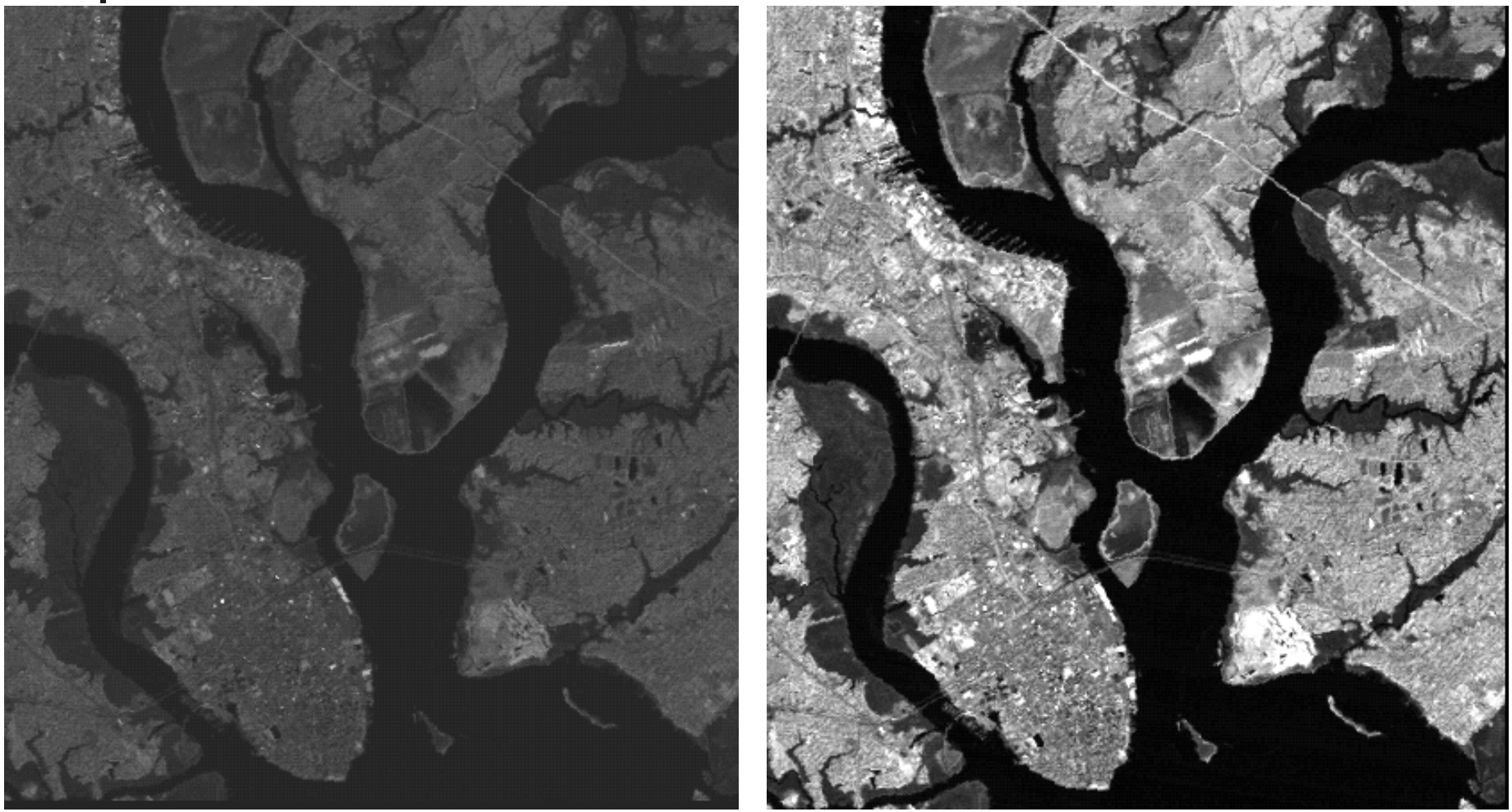
Example: Material Property from Remote Sensing Images

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

Example: Document Analysis

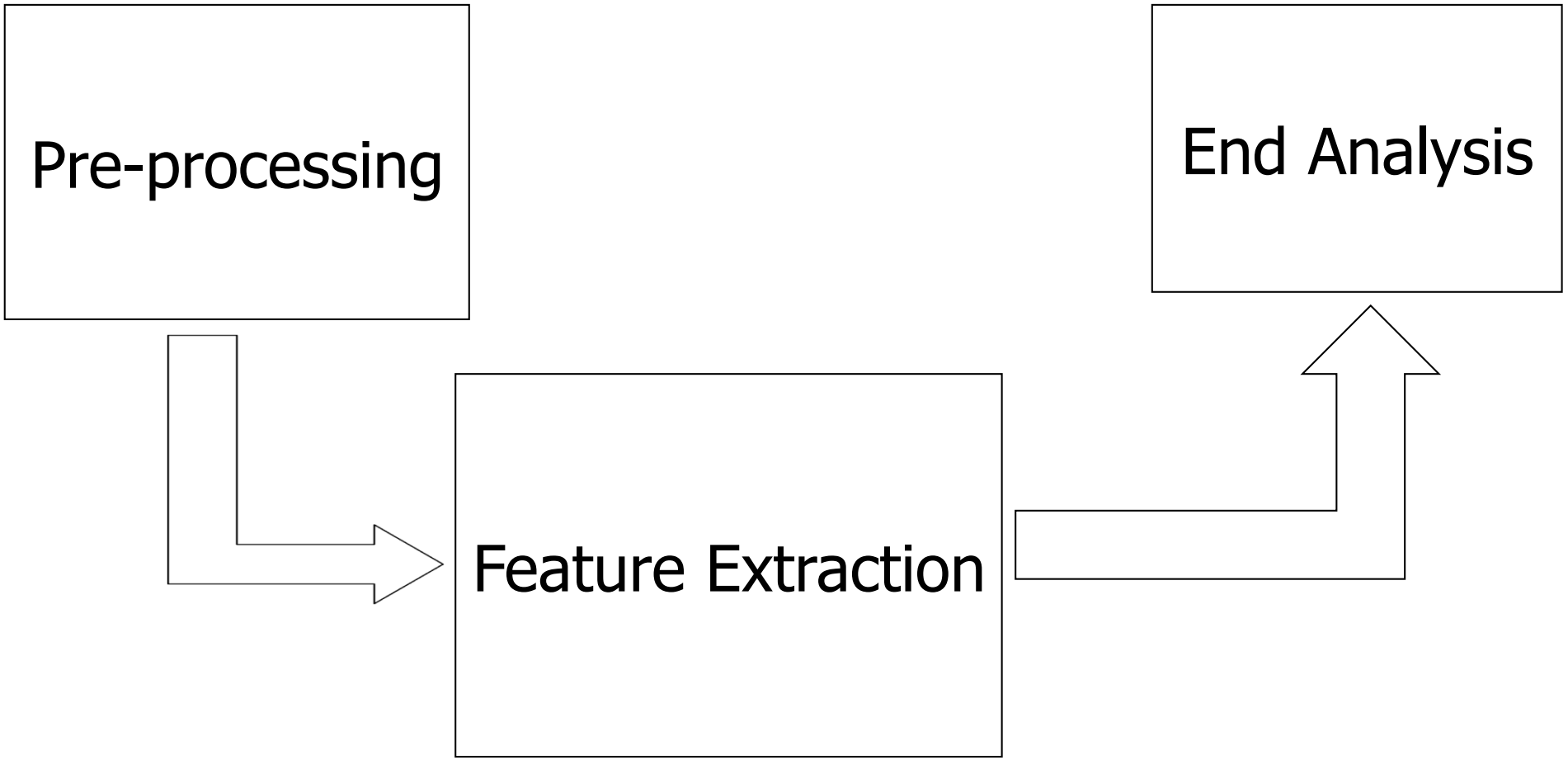


Example: Image Enhancement



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

Stages of Image Analysis



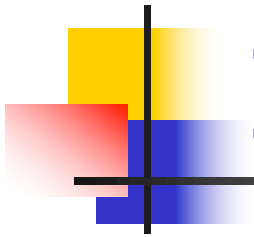
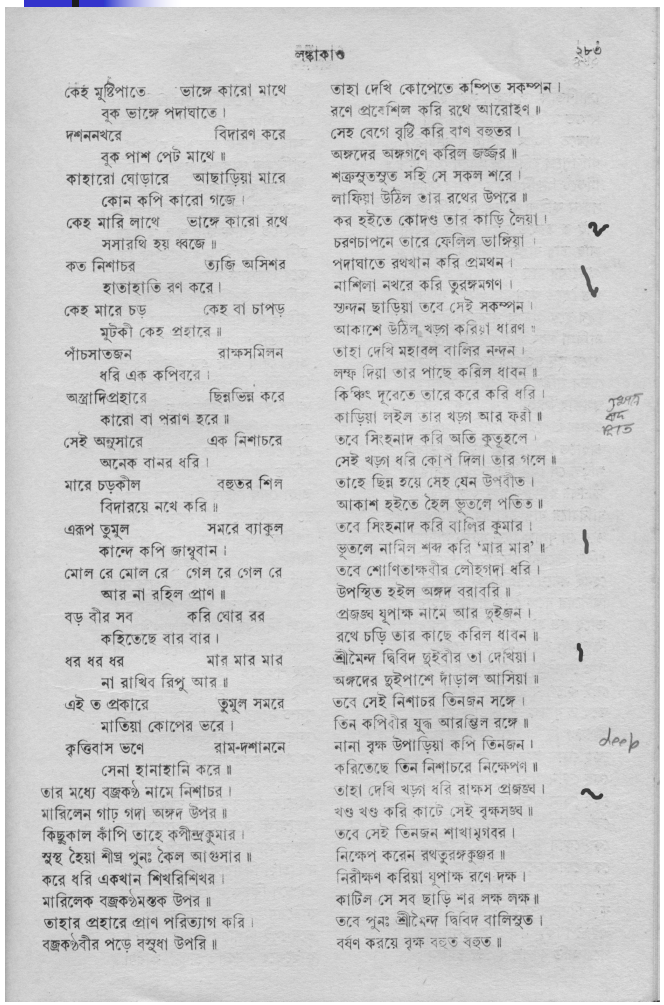


Image Processing Approaches

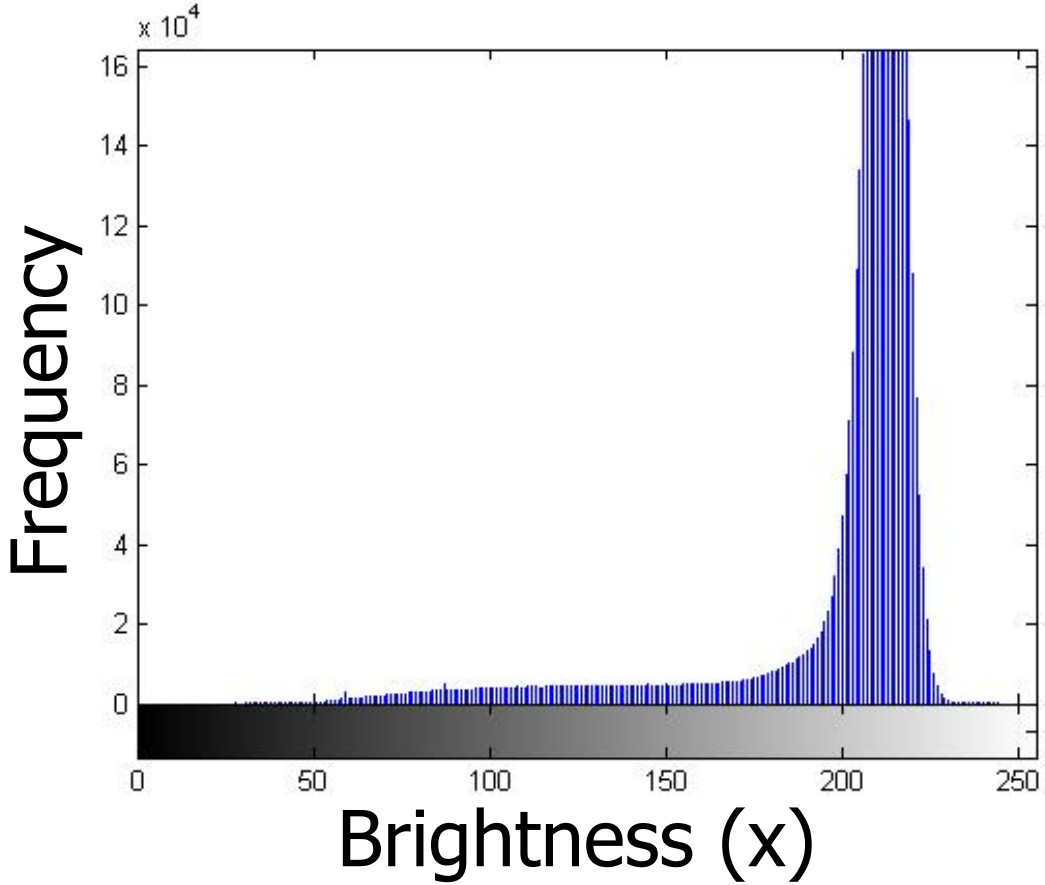
- Geometry based
  - Projective geometry
  - Digital geometry
- Signal processing based
  - Functional analysis
  - Linear system theory

Image histogram


লঙ্কাকাণ্ড ২৮৩

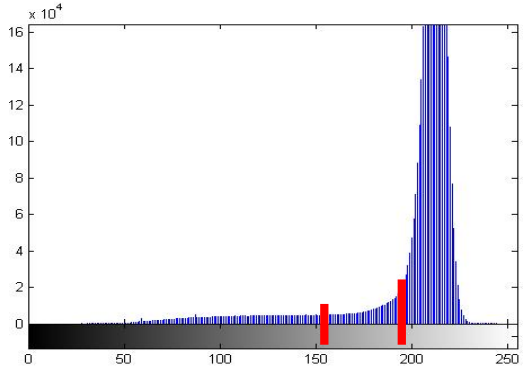
কেহ মুষ্টিপাতে ভাঙ্গে কারো মাথে
বুক ভাঙ্গে পদাঘাতে।
দশননখরে বিদারণ করে
বুক পাশ পেট মাথে॥
কাহারো ঘোড়ারে আছাড়িয়া মারে
কোন কপি কারো গজে।
কেহ মারি লাথে ভাঙ্গে কারো রথে
সসারথি হয় ধ্বজে॥
কত নিশাচর ত্যজি অসিশর
হাতাহাতি রণ করে।
কেহ মারে চড় কেহ বা চাপড়
মুটকী কেহ প্রহারে॥
পাঁচসাতজন রাক্ষসমিলন
ধরি এক কপিবরে।
অস্ত্রাদিপ্রহারে ছিন্নভিন্ন করে
কারো বা পরাণ হরে॥
সেই অনুসারে এক নিশাচরে
অনেক বানর ধরি।
মারে চড়কীল বহুতর শিল
বিদারয়ে নখে করি॥
এরূপ তুমুল সমরে ব্যাকুল
কান্দে কপি জাম্বুবান।
মোল রে মোল রে গেল রে গেল রে
আর না রহিল প্রাণ॥
বড় বীর সব করি ঘোর রব
কহিতেছে বার বার।
ধর ধর ধর মার মার মার
না রাখিব রিপু আর॥
এই ত প্রকারে তুমুল সমরে
মাতিয়া কোপের ভরে।
কৃত্তিবাস ভণে রাম-দশাননে
সেনা হানাহানি করে॥
তার মধ্যে বজ্রকণ্ঠ নামে নিশাচর।
মারিলেন গাঢ় গদা অঙ্গদ উপর॥
কিছুকাল কাঁপি তাহে কপীন্দ্রকুমার।
সুস্থ হৈয়া শীঘ্র পুনঃ কৈল আগুসার॥
করে ধরি একখান শিখরিশিখর।
মারিলেক বজ্রকণ্ঠমস্তক উপর॥
তাহার প্রহারে প্রাণ পরিত্যাগ করি।
বজ্রকণ্ঠবীর পড়ে বসুধা উপরি॥

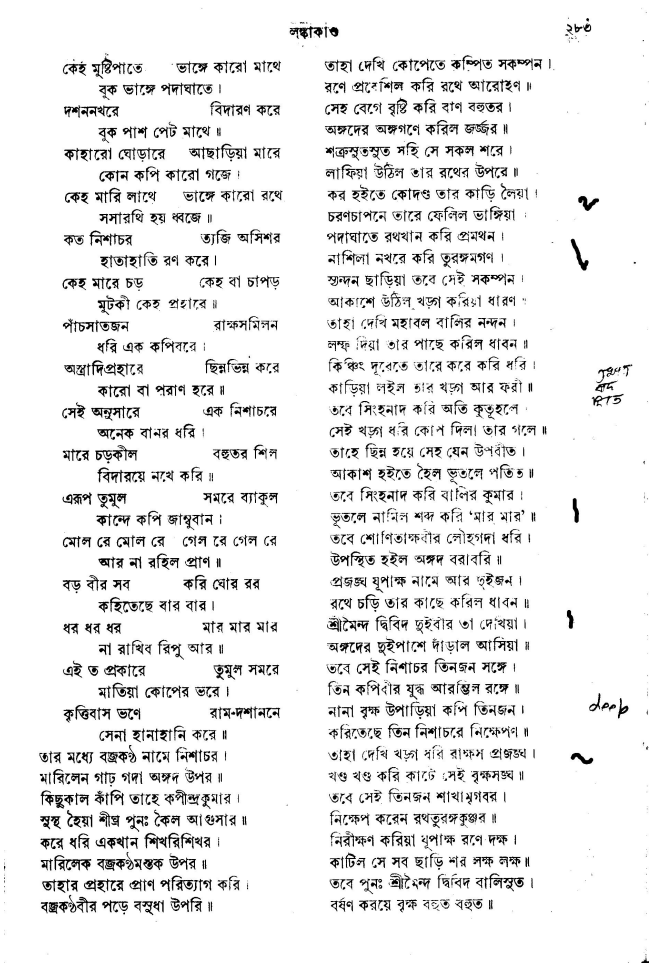
তাহা দেখি কোপেতে কম্পিত সকম্পন।
রণে প্রবেশিল করি রথে আরোহণ॥
সেহ বেগে বৃষ্টি করি বাণ বহুতর।
অঙ্গদের অঙ্গগণে করিল জর্জ্জর॥
শক্রসুতসুত সহি সে সকল শরে।
লাফিয়া উঠিল তার রথের উপরে॥
কর হইতে কোদণ্ড তার কাড়ি লৈয়া।
চরণচাপনে তারে ফেলিল ভাঙ্গিয়া॥
পদাঘাতে রথখান করি প্রমথন।
নাশিলা নখরে করি তুরঙ্গমগণ।
স্যন্দন ছাড়িয়া তবে সেই সকম্পন।
আকাশে উঠিল খড়্গ করিয়া ধারণ॥
তাহা দেখি মহাবল বালির নন্দন।
লম্ফ দিয়া তার পাছে করিল ধাবন॥
কিঞ্চিৎ দূরেতে তারে করে করি ধরি।
কাড়িয়া লইল তার খড়্গ আর ফরী॥
তবে সিংহনাদ করি অতি কুতূহলে।
সেই খড়্গ ধরি কোপ দিলা তার গলে॥
তাহে ছিন্ন হয়ে সেহ যেন উপবীত।
আকাশ হইতে হৈল ভূতলে পতিত॥
তবে সিংহনাদ করি বালির কুমার।
ভূতলে নামিল শব্দ করি 'মার মার'॥
তবে শোণিতাক্ষবীর লৌহগদা ধরি।
উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি॥
প্রজঙ্ঘ যূপাক্ষ নামে আর দুইজন।
রথে চড়ি তার কাছে করিল ধাবন॥
শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ দুইবীর তা দেখিয়া।
অঙ্গদের দুইপাশে দাঁড়াল আসিয়া॥
তবে সেই নিশাচর তিনজন সঙ্গে।
তিন কপিবীর যুদ্ধ আরম্ভিল রঙ্গে॥
নানা বৃক্ষ উপাড়িয়া কপি তিনজন।
করিতেছে তিন নিশাচরে নিক্ষেপণ॥
তাহা দেখি খড়্গ ধরি রাক্ষস প্রজঙ্ঘ।
খণ্ড খণ্ড করি কাটে সেই বৃক্ষসঙ্ঘ॥
তবে সেই তিনজন শাখামৃগবর।
নিক্ষেপ করেন রথতুরঙ্গকুঞ্জর॥
নিরীক্ষণ করিয়া যূপাক্ষ রণে দক্ষ।
কাটিল সে সব ছাড়ি শর লক্ষ লক্ষ॥
তবে পুনঃ শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ বালিসুত।
বর্ষণ করয়ে বৃক্ষ বহুত বহুত॥



Normalized Histogram → p(x)

Thresholding



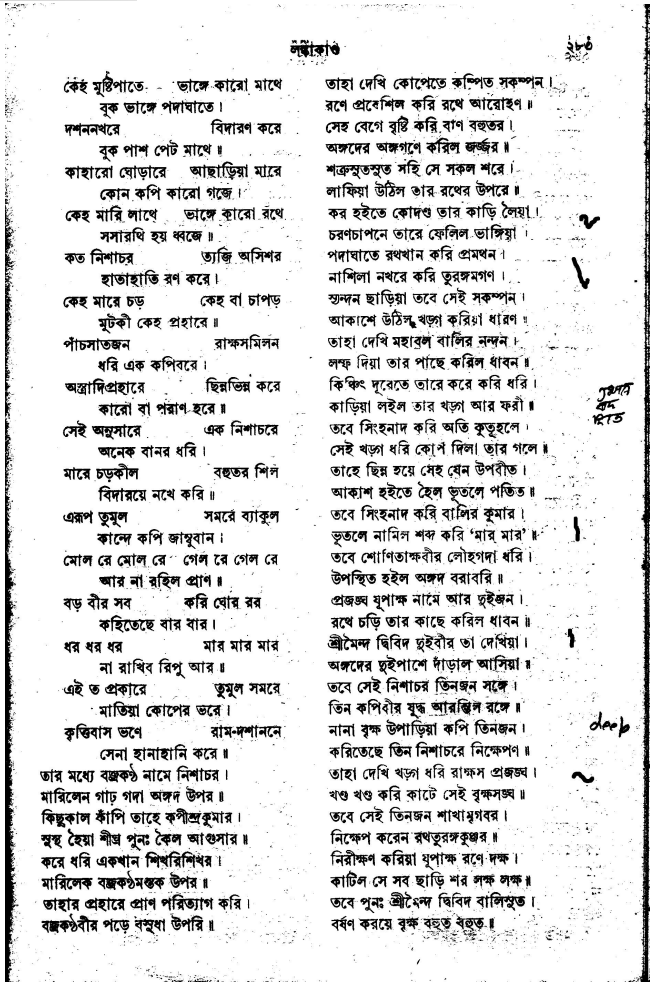


লঙ্কাকাণ্ড ২৮৩

কেহ মুষ্টিপাতে ভাঙ্গে কারো মাথে
বুক ভাঙ্গে পদাঘাতে।
দশননখরে বিদারণ করে
বুক পাশ পেট মাথে॥
কাহারো ঘোড়ারে আছাড়িয়া মারে
কোন কপি কারো গজে।
কেহ মারি লাথে ভাঙ্গে কারো রথে
সসারথি হয় ধ্বজে॥
কত নিশাচর ত্যজি অসিশর
হাতাহাতি রণ করে।
কেহ মারে চড় কেহ বা চাপড়
মুটকী কেহ প্রহারে॥
পাঁচসাতজন রাক্ষসমিলন
ধরি এক কপিবরে।
অস্ত্রাদিপ্রহারে ছিন্নভিন্ন করে
কারো বা পরাণ হরে॥
সেই অনুসারে এক নিশাচরে
অনেক বানর ধরি।
মারে চড়কীল বহুতর শিল
বিদারয়ে নখে করি॥
এরূপ তুমুল সমরে ব্যাকুল
কান্দে কপি জাম্বুবান।
মোল রে মোল রে গেল রে গেল রে
আর না রহিল প্রাণ॥
বড় বীর সব করি ঘোর রব
কহিতেছে বার বার।
ধর ধর ধর মার মার মার
না রাখিব রিপু আর॥
এই ত প্রকারে তুমুল সমরে
মাতিয়া কোপের ভরে।
কৃত্তিবাস ভণে রাম-দশাননে
সেনা হানাহানি করে॥
তার মধ্যে বজ্রকণ্ঠ নামে নিশাচর।
মারিলেন গাঢ় গদা অঙ্গদ উপর॥
কিছুকাল কাঁপি তাহে কপীন্দ্রকুমার।
সুস্থ হৈয়া শীঘ্র পুনঃ কৈল আগুসার॥
করে ধরি একখান শিখরিশিখর।
মারিলেক বজ্রকণ্ঠমস্তক উপর॥
তাহার প্রহারে প্রাণ পরিত্যাগ করি।
বজ্রকণ্ঠবীর পড়ে বসুধা উপরি॥

তাহা দেখি কোপেতে কম্পিত সকম্পন।
রণে প্রবেশিল করি রথে আরোহণ॥
সেহ বেগে বৃষ্টি করি বাণ বহুতর।
অঙ্গদের অঙ্গগণে করিল জর্জ্জর॥
শক্রসুতসুত সহি সে সকল শরে।
লাফিয়া উঠিল তার রথের উপরে॥
কর হইতে কোদণ্ড তার কাড়ি লৈয়া।
চরণচাপনে তারে ফেলিল ভাঙ্গিয়া।
পদাঘাতে রথখান করি প্রমথন।
নাশিলা নখরে করি তুরঙ্গমগণ।
স্যন্দন ছাড়িয়া তবে সেই সকম্পন।
আকাশে উঠিল খড়্গ করিয়া ধারণ॥
তাহা দেখি মহাবল বালির নন্দন।
লম্ফ দিয়া তার পাছে করিল ধাবন॥
কিঞ্চিৎ দূরেতে তারে করে করি ধরি।
কাড়িয়া লইল তার খড়্গ আর ফরী॥
তবে সিংহনাদ করি অতি কুতূহলে।
সেই খড়্গ ধরি কোপ দিলা তার গলে॥
তাহে ছিন্ন হয়ে সেহ যেন উপবীত।
আকাশ হইতে হৈল ভূতলে পতিত॥
তবে সিংহনাদ করি বালির কুমার।
ভূতলে নামিল শব্দ করি 'মার মার'॥
তবে শোণিতাক্ষবীর লৌহগদা ধরি।
উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি॥
প্রজঙ্ঘ যূপাক্ষ নামে আর দুইজন।
রথে চড়ি তার কাছে করিল ধাবন॥
শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ দুইবীর তা দেখিয়া।
অঙ্গদের দুইপাশে দাঁড়াল আসিয়া॥
তবে সেই নিশাচর তিনজন সঙ্গে।
তিন কপিবীর যুদ্ধ আরম্ভিল রঙ্গে॥
নানা বৃক্ষ উপাড়িয়া কপি তিনজন।
করিতেছে তিন নিশাচরে নিক্ষেপণ॥
তাহা দেখি খড়্গ ধরি রাক্ষস প্রজঙ্ঘ।
খণ্ড খণ্ড করি কাটে সেই বৃক্ষসঙ্ঘ॥
তবে সেই তিনজন শাখামৃগবর।
নিক্ষেপ করেন রথতুরঙ্গকুঞ্জর॥
নিরীক্ষণ করিয়া যূপাক্ষ রণে দক্ষ।
কাটিল সে সব ছাড়ি শর লক্ষ লক্ষ॥
তবে পুনঃ শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ বালিসুত।
বর্ষণ করয়ে বৃক্ষ বহুত বহুত॥

Th=156



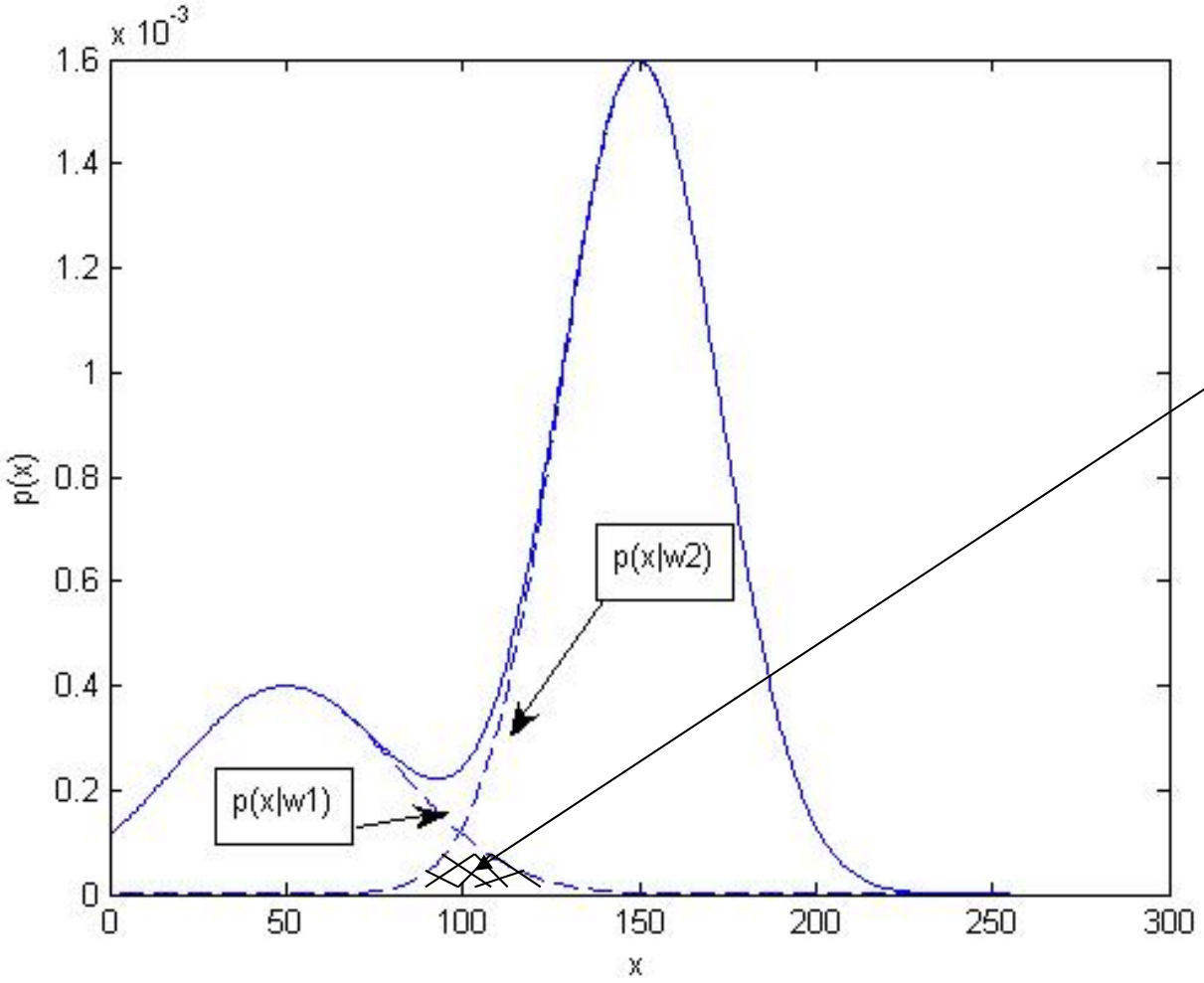
লঙ্কাকাণ্ড ২৮৩

কেহ মুষ্টিপাতে ভাঙ্গে কারো মাথে
বুক ভাঙ্গে পদাঘাতে।
দশননখরে বিদারণ করে
বুক পাশ পেট মাথে॥
কাহারো ঘোড়ারে আছাড়িয়া মারে
কোন কপি কারো গজে।
কেহ মারি লাথে ভাঙ্গে কারো রথে
সসারথি হয় ধ্বজে॥
কত নিশাচর ত্যজি অসিশর
হাতাহাতি রণ করে।
কেহ মারে চড় কেহ বা চাপড়
মুটকী কেহ প্রহারে॥
পাঁচসাতজন রাক্ষসমিলন
ধরি এক কপিবরে।
অস্ত্রাদিপ্রহারে ছিন্নভিন্ন করে
কারো বা পরাণ হরে॥
সেই অনুসারে এক নিশাচরে
অনেক বানর ধরি।
মারে চড়কীল বহুতর শিল
বিদারয়ে নখে করি॥
এরূপ তুমুল সমরে ব্যাকুল
কান্দে কপি জাম্বুবান।
মোল রে মোল রে গেল রে গেল রে
আর না রহিল প্রাণ॥
বড় বীর সব করি ঘোর রব
কহিতেছে বার বার।
ধর ধর ধর মার মার মার
না রাখিব রিপু আর॥
এই ত প্রকারে তুমুল সমরে
মাতিয়া কোপের ভরে।
কৃত্তিবাস ভণে রাম-দশাননে
সেনা হানাহানি করে॥
তার মধ্যে বজ্রকণ্ঠ নামে নিশাচর।
মারিলেন গাঢ় গদা অঙ্গদ উপর॥
কিছুকাল কাঁপি তাহে কপীন্দ্রকুমার।
সুস্থ হৈয়া শীঘ্র পুনঃ কৈল আগুসার॥
করে ধরি একখান শিখরিশিখর।
মারিলেক বজ্রকণ্ঠমস্তক উপর॥
তাহার প্রহারে প্রাণ পরিত্যাগ করি।
বজ্রকণ্ঠবীর পড়ে বসুধা উপরি॥

তাহা দেখি কোপেতে কম্পিত সকম্পন।
রণে প্রবেশিল করি রথে আরোহণ॥
সেহ বেগে বৃষ্টি করি বাণ বহুতর।
অঙ্গদের অঙ্গগণে করিল জর্জ্জর॥
শক্রসুতসুত সহি সে সকল শরে।
লাফিয়া উঠিল তার রথের উপরে॥
কর হইতে কোদণ্ড তার কাড়ি লৈয়া।
চরণচাপনে তারে ফেলিল ভাঙ্গিয়া।
পদাঘাতে রথখান করি প্রমথন।
নাশিলা নখরে করি তুরঙ্গমগণ।
স্যন্দন ছাড়িয়া তবে সেই সকম্পন।
আকাশে উঠিল খড়্গ করিয়া ধারণ॥
তাহা দেখি মহাবল বালির নন্দন।
লম্ফ দিয়া তার পাছে করিল ধাবন॥
কিঞ্চিৎ দূরেতে তারে করে করি ধরি।
কাড়িয়া লইল তার খড়্গ আর ফরী॥
তবে সিংহনাদ করি অতি কুতূহলে।
সেই খড়্গ ধরি কোপ দিলা তার গলে॥
তাহে ছিন্ন হয়ে সেহ যেন উপবীত।
আকাশ হইতে হৈল ভূতলে পতিত॥
তবে সিংহনাদ করি বালির কুমার।
ভূতলে নামিল শব্দ করি 'মার মার'॥
তবে শোণিতাক্ষবীর লৌহগদা ধরি।
উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি॥
প্রজঙ্ঘ যূপাক্ষ নামে আর দুইজন।
রথে চড়ি তার কাছে করিল ধাবন॥
শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ দুইবীর তা দেখিয়া।
অঙ্গদের দুইপাশে দাঁড়াল আসিয়া॥
তবে সেই নিশাচর তিনজন সঙ্গে।
তিন কপিবীর যুদ্ধ আরম্ভিল রঙ্গে॥
নানা বৃক্ষ উপাড়িয়া কপি তিনজন।
করিতেছে তিন নিশাচরে নিক্ষেপণ॥
তাহা দেখি খড়্গ ধরি রাক্ষস প্রজঙ্ঘ।
খণ্ড খণ্ড করি কাটে সেই বৃক্ষসঙ্ঘ॥
তবে সেই তিনজন শাখামৃগবর।
নিক্ষেপ করেন রথতুরঙ্গকুঞ্জর॥
নিরীক্ষণ করিয়া যূপাক্ষ রণে দক্ষ।
কাটিল সে সব ছাড়ি শর লক্ষ লক্ষ॥
তবে পুনঃ শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ বালিসুত।
বর্ষণ করয়ে বৃক্ষ বহুত বহুত॥

Th=192

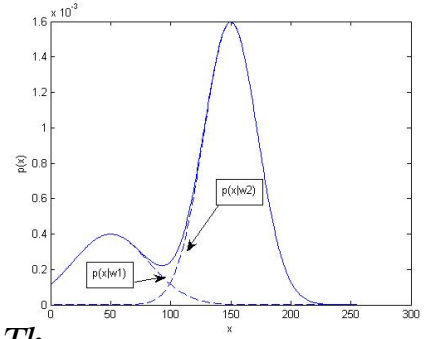
Bayesian Classification



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.

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

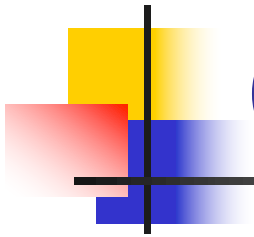
$$p(w2) = 1 - p(w1)$$

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

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

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

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



Otsu Thresholding

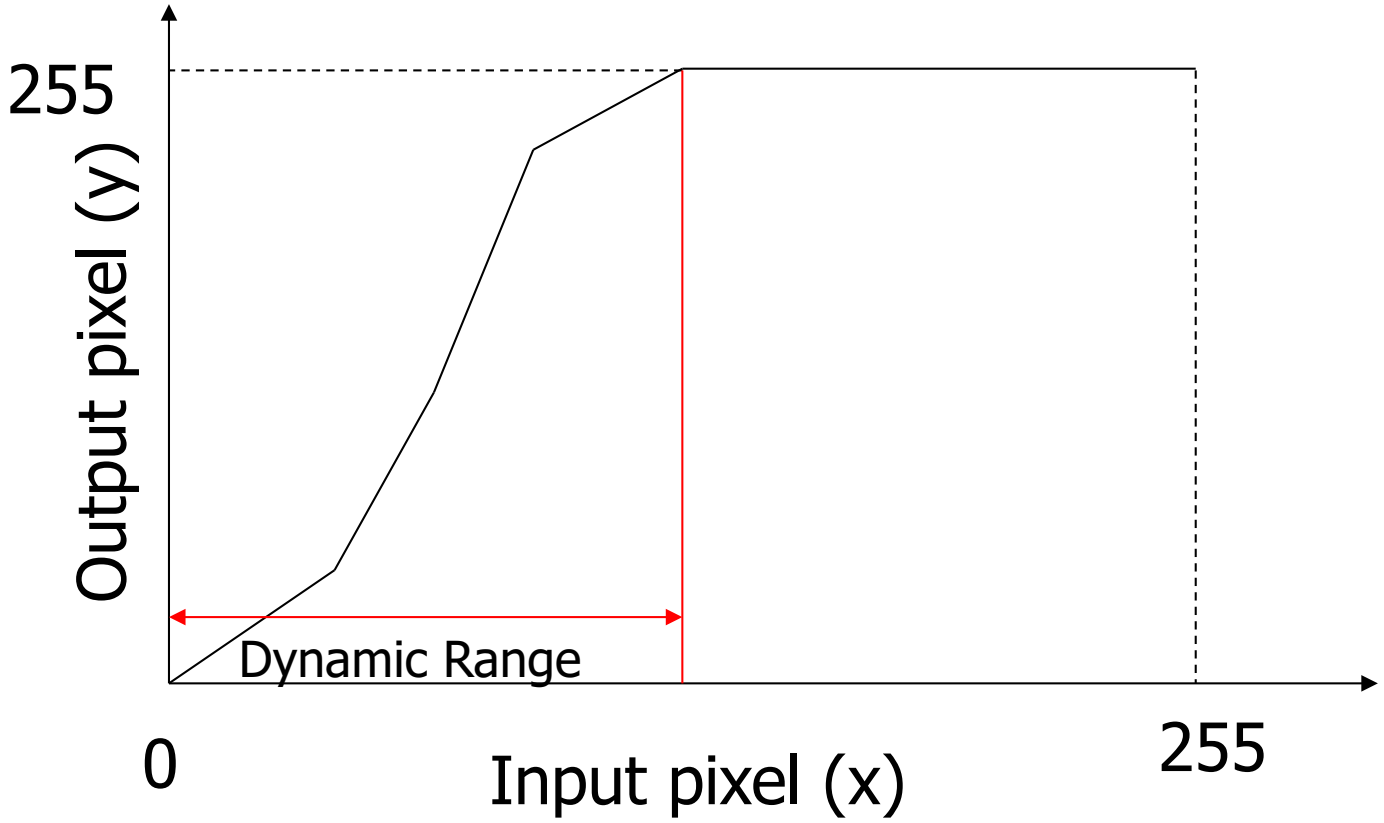
- Choose a threshold value, which maximizes between class variance (σ^2_B).

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

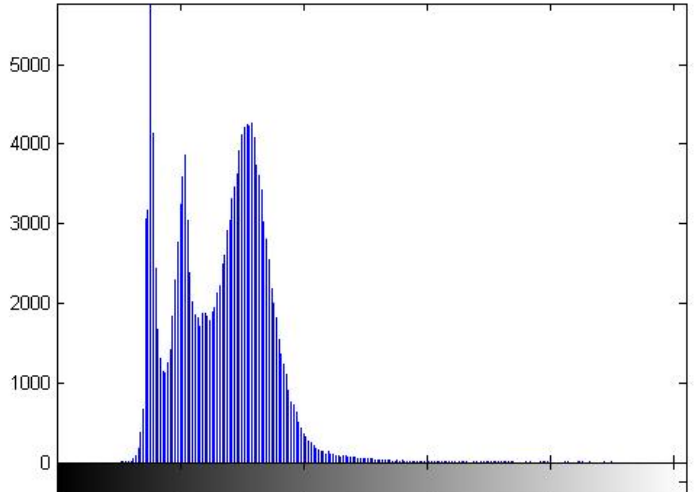
Pixel mapping

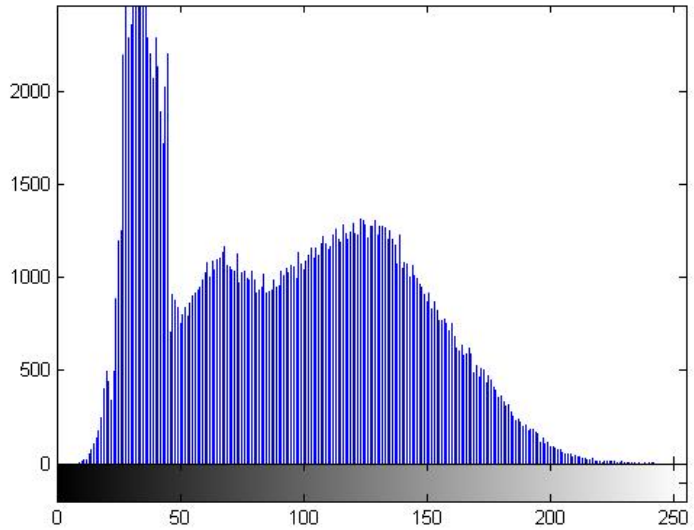
$$y = 255.\sum_{t=0}^{x} p(t)$$

Function is monotonic.



Histogram Equalization





Gradient Operations

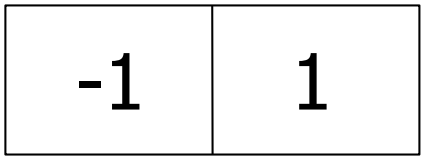
Consider the image as a 2D function: $f(x,y)$

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

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

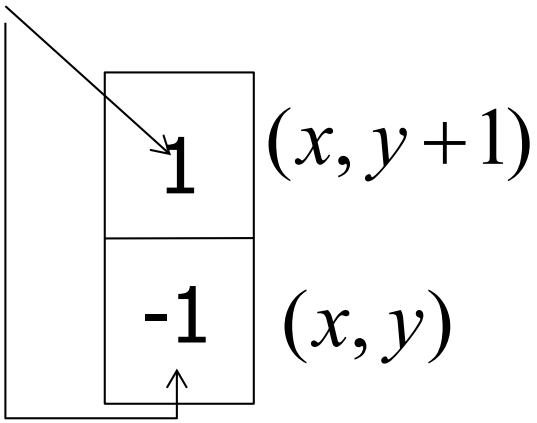
$$\nabla f(x,y) = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\hat{j}$$

Computation with mask



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

Weights



$(x, y+1)$

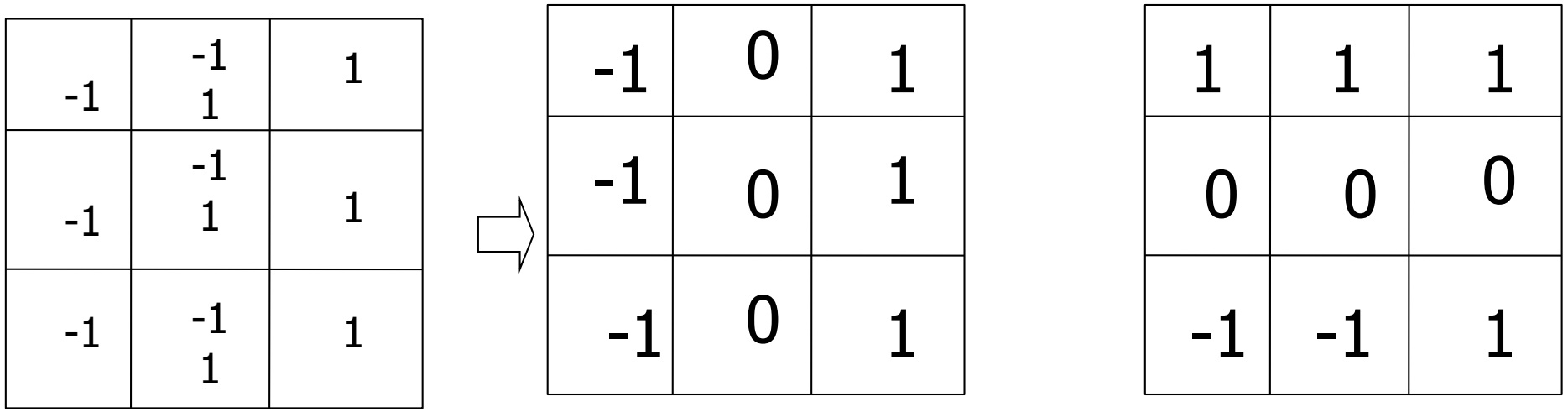
(x, y)

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

Robust gradient computation

Averaging neighboring gradient values

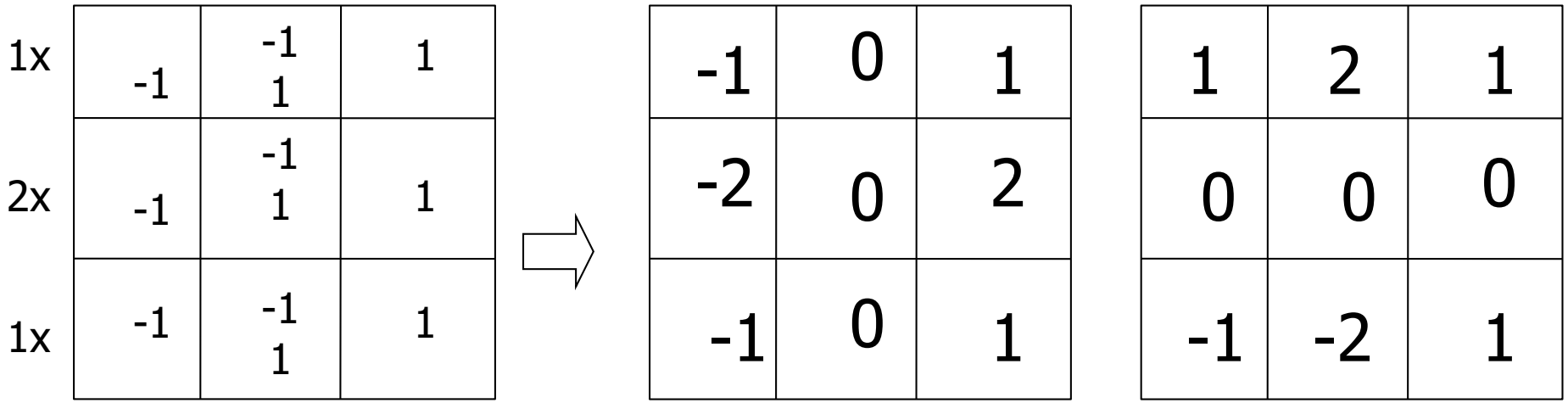


Prewitt operator

(6 times of the gradient value in any direction)

Robust gradient computation

Weighted average of neighboring gradient values

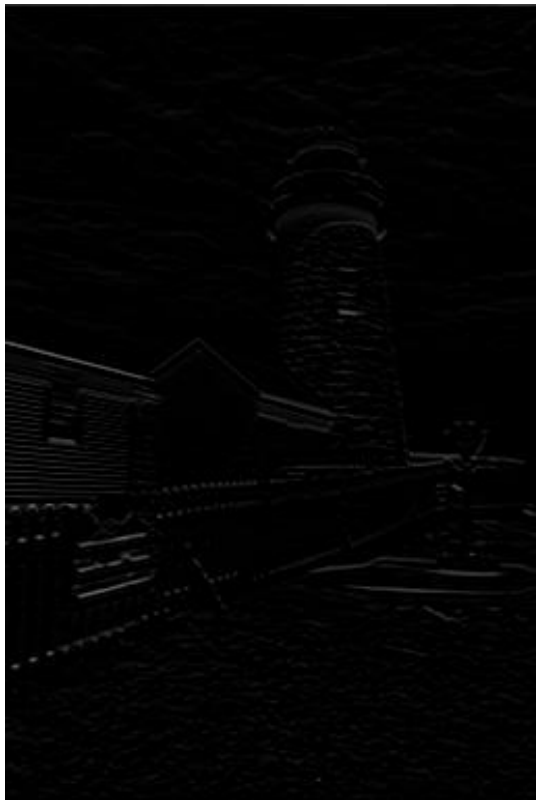


Sobel operator

(8 times of the gradient value in any direction)

Results of gradient operations

Vertical



Horizontal

Resultant

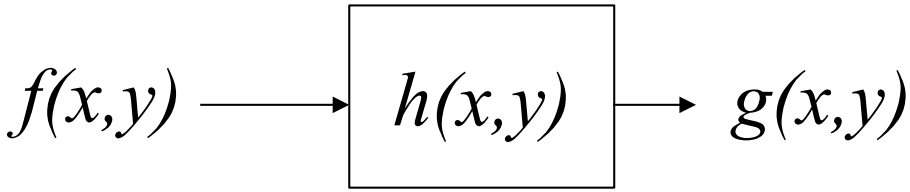
More on computation with mask

w_1	w_2	w_3
w_4	w_c	w_5
w_6	w_7	w_8

Convolution operation

Filtering

Mask→ Filter Response ($h(x,y)$)

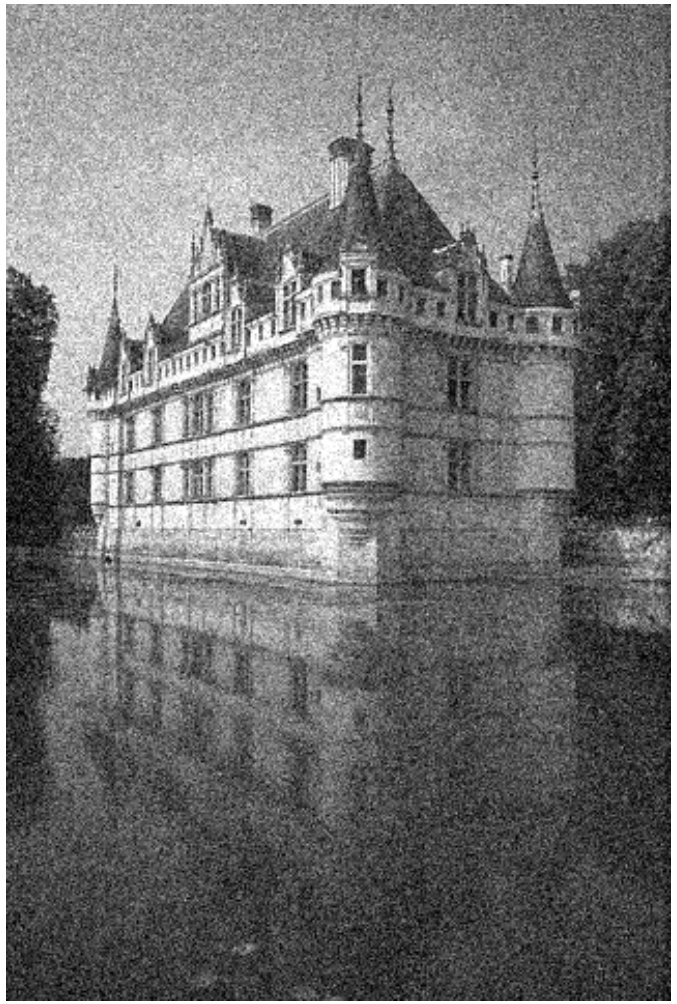


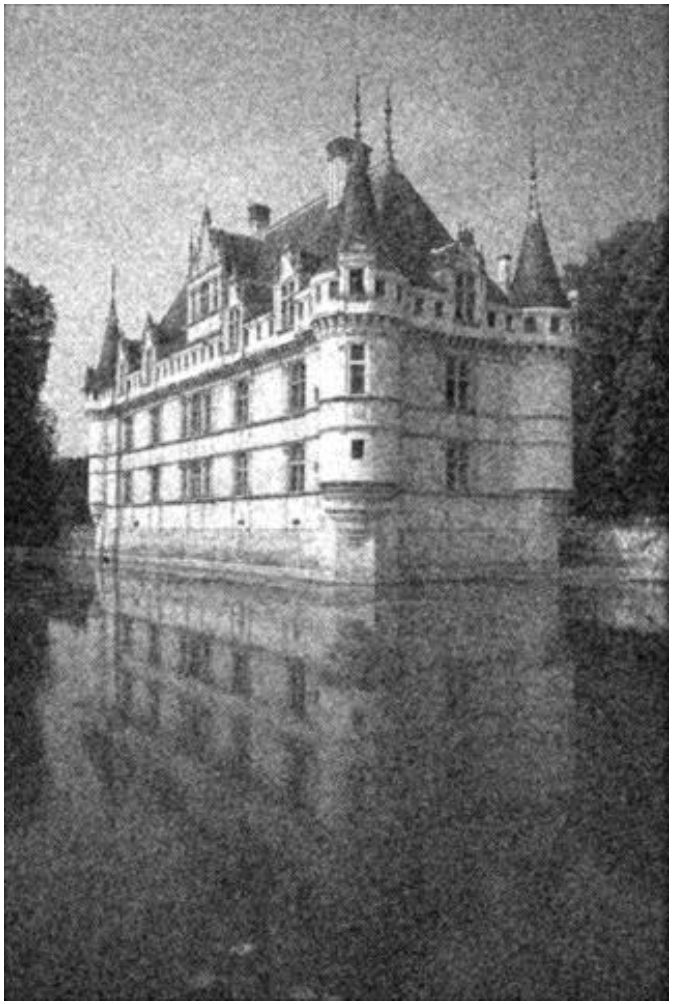
$$g(x,y) = w_1 f(x-1,y+1) + w_2 f(x,y+1) + w_3 f(x+1,y+1) + w_4 f(x-1,y) +$$
$$w_c f(x,y) + w_5 f(x+1,y) + w_6 f(x-1,y-1) + w_7 f(x,y+1) + w_8 f(x+1,y+1)$$

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

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

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

σ=2

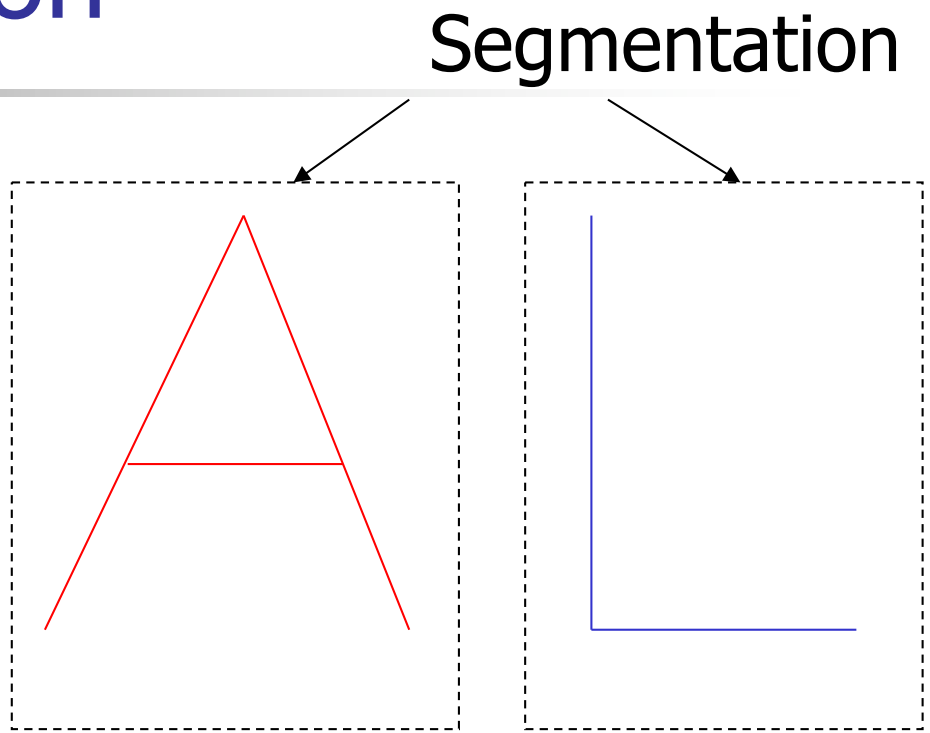
Mask size: 9x9

Median Filtering

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

Feature Selection and Computation

- 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

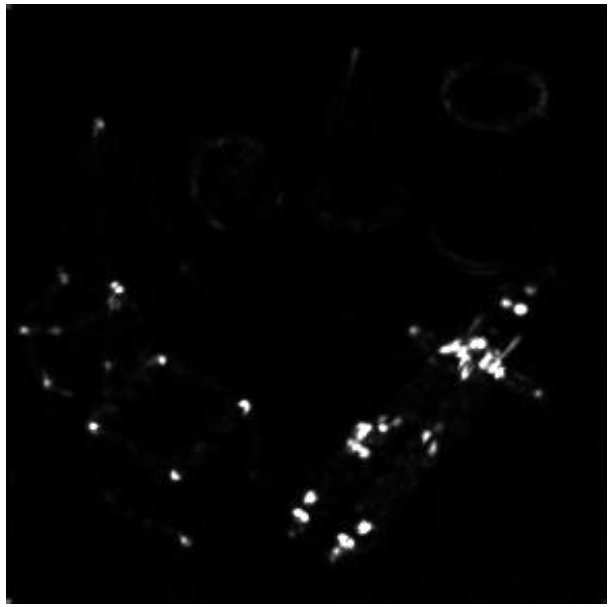
Harris corner detector

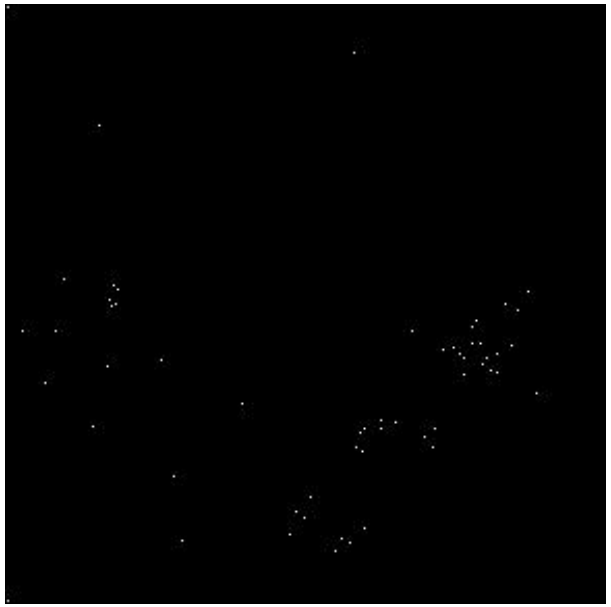
$$H = \begin{bmatrix} \overline{f_x^2} & \overline{f_x f_y} \\ \overline{f_y f_x} & \overline{f_y^2} \end{bmatrix}$$

Algorithm:

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

Examples: Harris corner points





Other key-point extractor

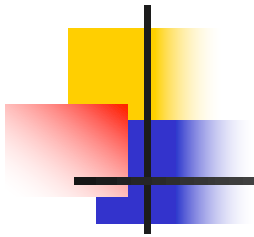
- Difference of Gaussian (DoG)
- Measures from Hessian Matrix

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

Local Maxima

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

Smaller values

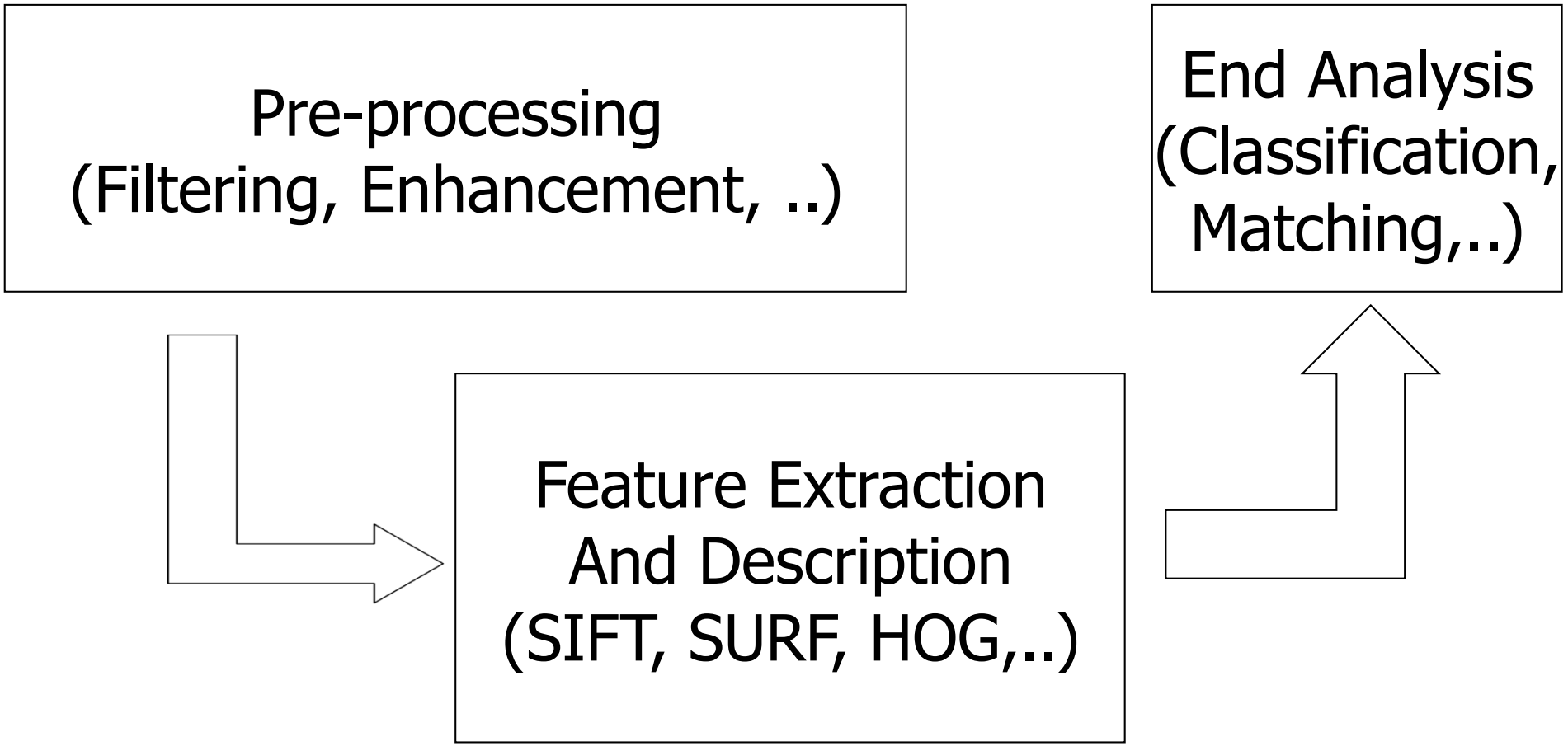


Feature Descriptors

- 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




Thank you!