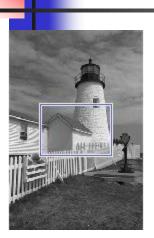
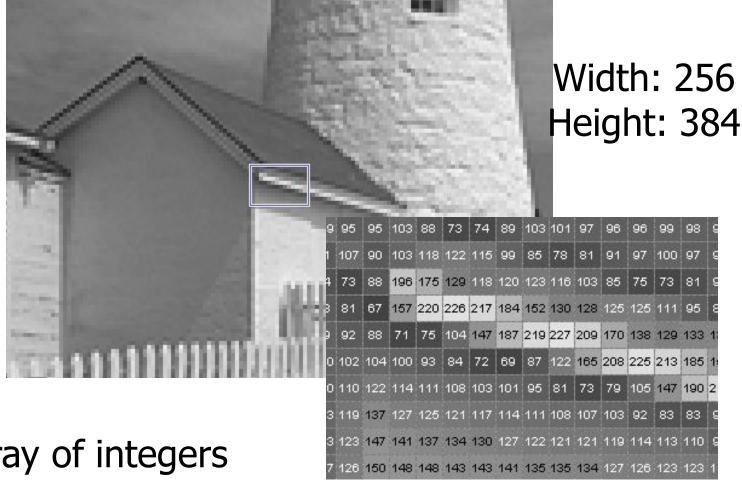
Fundamentals of Image Processing

Jayanta Mukhopadhyay
Dept. of Computer Science and Engg.

How images are represented in computer?





2D Array of integers



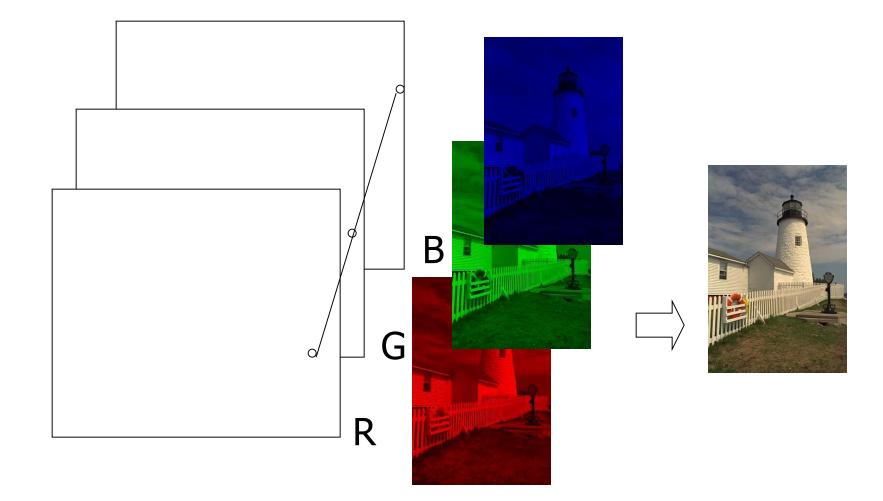
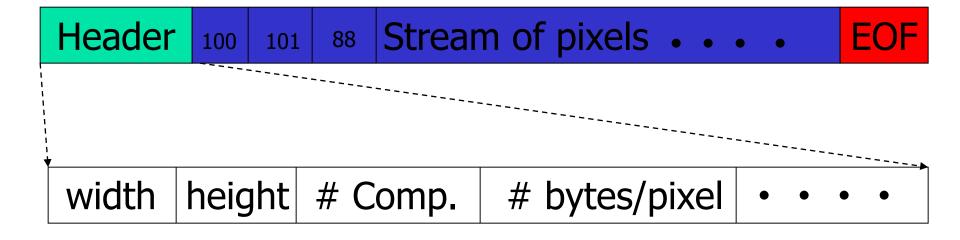
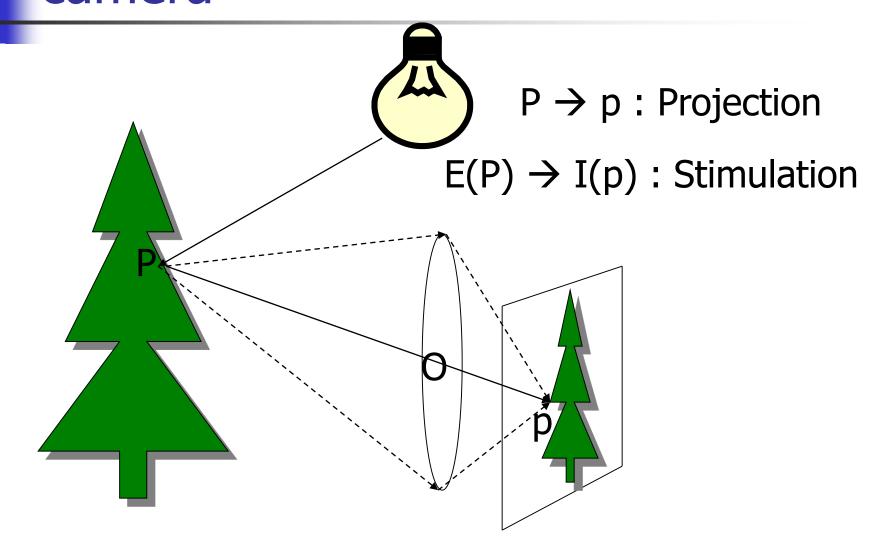


Image File



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

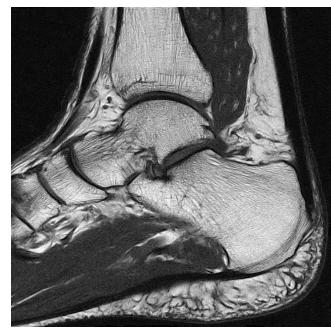
Image formation in optical camera

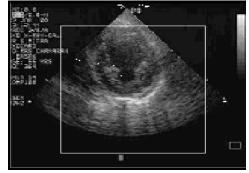


Other forms of images











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



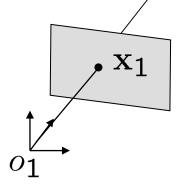
Image Processing: A few perspectives

- 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.

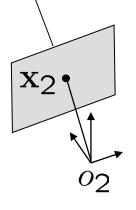
Example: Structure Recovery







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

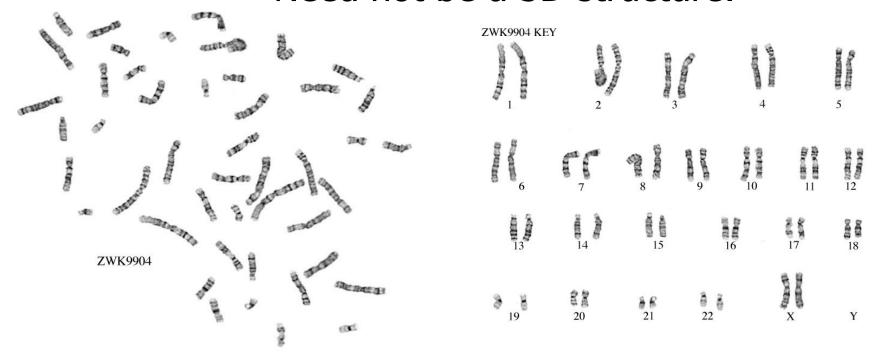


Courtesy: www.cs.gmu.edu/~kosecka/lect4.ppt



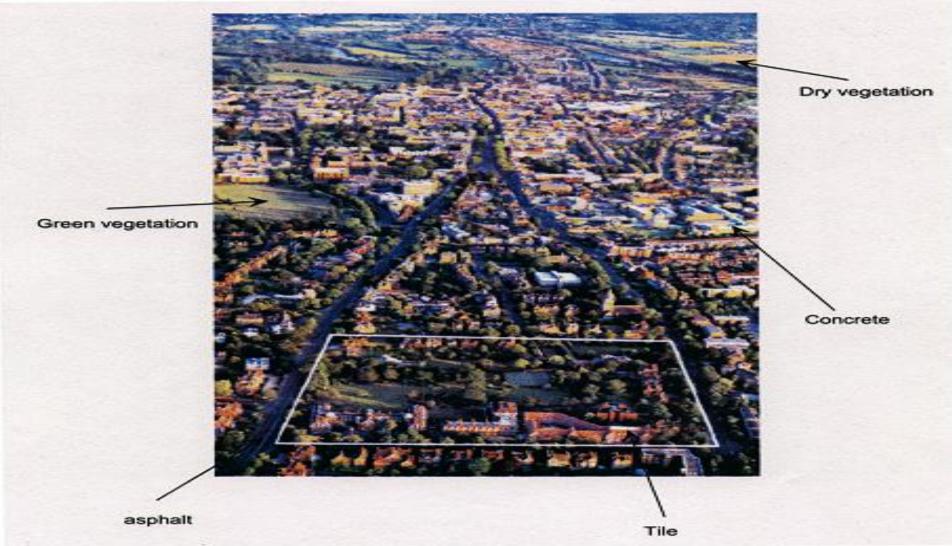
Example: Karyotyping

Need not be a 3D structure.



Structure description may be relative!

Example: Material Property from Remote Sensing Images



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

Example: Document Analysis

most after the wint over Paperson removed and processes a the buries are string seen stope and any their own a THE COUNTY IS NOT THE WAY ARTHURSTED SHOW NOT A THE WAY WAS A TO SERVE THE SE WHITE SEE STORY ET .. SERVICE AND AN EARLY SERVICE. WANTED THE MALE WANTED mid one or with the bit i MARKET MARKET MARK AND ASSESSED. METS FIRE SCHOOL ON ASPECT WOR ON PERSON SHIP SHIP HARDS ... Series wheelik soon privat-Select April 18 10 Locate 1 THE BUT TO ALL INFO Pitting is not cell more forms. SCOR ARM STON ROOM STONE talest etcs chan fight vickes a Personal state of the state of अर्थ किन वर्ता का करता बाँग वर्ति । Responsible to application (INVESTIGAÇÃO POR DEÑETA MODILA WORK WAS REPORT MANUFACTURE. NAMES OF STREET AND ADDRESS. PROBLEM GOS COLUMNS proton syrue auton warms where a THE RESERVE WE SHEET IS NOT STATE SPECIFIC AND STREET OF FIRST STREET, AND RESCOULTED, STATES OF A PARTY enter you git so the service o WITH ARTHUR MATCHING WITH THE SER LESS HER WANTED BY A

कविता का सम अभि अपे !!

WHICH THE PERSON WHEN THE

WAY ON HERE WE HERE SHE'S

BETSH

WHEN THE RESIDENCE AND ADDRESS. WHEN THE RESIDENCE OF THE PARTY NAMED IN STREET, STREET, SQUARE, SQUARE, WE SET IN AN ASSESSMENT OF THE P. 4 PRO THEO HE HOME 45 BESTER SERVER THE RESIDENCE OF SERVICE their aid, we have allow more at these soon win bed on Site MICH WITH SUPPLIES AND ADDRESS. OF THE WHITE A RESIDENCE OF THE PARTY. WITH ACRES THE OTHER AND A WHEN MER WITH PERSON THE series in a real passent of the little wet whom will as written propri-AND AN NEW SEX SAN ALREST F. AN OTHER DOCK SPECIMEN THE DECK OF WHITE SELECTION WHOSE ! AT RES ROOM WITH WITHIN WRITE & PARTIES WHERE WHEN LESSEY & Telepor per em escamación; chiece a representation with a AND NOT THE REST FOR COS. sees Sent will not by a clima a the Report Will Will add and and WHITE PERSONS AND PROPERTY. What effect day of Severally is prices receive with near case not a affects was now remove within medication was weard with a (feet of to \$5 with Sep) CHIEF CHIEF SHIPS HIS PRINT HISTORY OF HIS WAY WAY AF SHIPEN YES HER YES. With free we will a fire while sea, my Alp Alp and soldies a set me har offers here was: Mar Pers and the Senior will /

Marrie 202 will 76/3 76/3 (15) MCV 10 STORY NOW AND A MED PINCE MODINGS DESIGNATION MEDICAL WILLIAMS COMMAND

REPRESENTE MALE PARTY.

MARKET WE SELECT THE

man with will be an order MITTER NOT BEEN ACCUMENT. segment open spill seller passe. 284 911 22 010 6764 762 265 MR STEE SERVICE OF STREET, STR THE PARTY OF THE PARTY A Major eries press for arby-see my text on six on in Mail the one toy her life to b. saw other work free laws all a man cross from an flori plint. HE SIC O'C AN ISSUES ASSESS. OR STREET, SHE WASHINGTON, SERVICE STREET, STREET, SECOND are for elect appet urbi-WHEN WHIS WAS THE WELL MEDITARY LATER THE LATE WELL MEETS PETTER NITH HE FOR HERE A also you do not all on. within williams was not a state. MIN'NY WYER OF WHICH WAR WEEK STOPE AND ARM MOVED IN audi allier got altr. aven i and there are no personal to WERE THE RESIDENCE OF THE PARTY BE BE 175, SK-40 TOTAL with past sen and 40 less who lively free next white a BRICK INTOO, This, not will we -Militia economicali de Se de Se de Se de

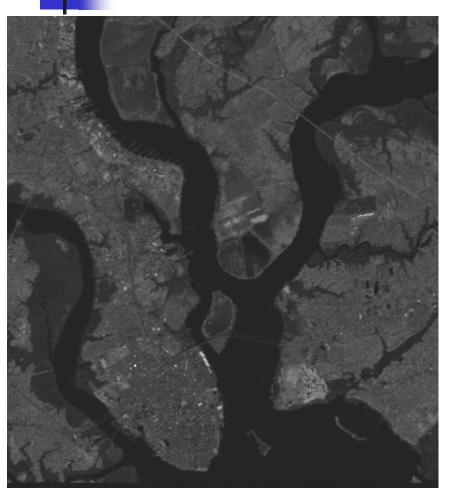
moved with a real or stops; APPENDING STOCKED STATES Name round whose or a WANTED SECTION OF THE ACTION then beriebt um uffer men : HERE ATTENDED HER LIST DAY more and any free was a WE NOT BE AN ACCUSE OF REAL THE STREET OF STREET WAS A WHOSE SPEEDS HE REPORTS ARYSE MERCEN PROPERTY. OF PROPERTY OF STREET tereform of any or SHEET SCHOOL STREET SECTION 1 STREET, SON STREET, ST. Bell & Bearing attention of a or first other tags like Constant. and the free rate more reports a A RE LITE STIP FOR SEC SCHOOL May 62 House December 1 self-role to rich are the OF SECRETARIST SECTION 1 MARK STORY AND ARREST THE STREET STREET, STREET, STREET, WITE THE WEST ON ASSETT Will will say again the HER ON PARKING THE WORLD NOW IN . A SHE'S JULY ON HOME MEDICAL limits rose-Algebra (artist) THE REPORT OF ALL PROPERTY. THE OWNER WHEN THE PARTY IN AN AN ARRIVAN OR SPECT ! ADD AND AN USE OF STREET the address of the later way o FEW BOOK OF CONTRACT. print or writer age of the relative p HEADER AND AND MARKET SPECIAL With the the the the will all TOP WIT WOOD CROSS TO PRODUCE OF THE A Software witness would write a a THE REPORT OF THE PARTY OF THE MINISTER AND NOTICE WITH HERE! UR Find will rest with reflecting critical residence of the wife of Naverwarden on her Account in मिक्न रहत नहत्त्व तक ताल कर्त वर्ग । and elegated year influence year a DE PRINT WILLIAMS ment was explose specifics was a seed, they got first with sometimes a NAME OF TAXABLE PARTY. PERSONAL MEDITAL AND A Read way door out out was WHEN REPORT WHE WINDOW WORLD WHEN PARTY WHEN WHEN PARTY PARTY CORNER COOK WITH WITH JUST BY A PROFESSION NO SHOULD BE ! WHEN HE WIS STORY WITH ! THE DWG IN YOU VESTON सामाने कवित्रमानाम प्राप्ताति साहर । HATCHEST PRINTED BY ME Water of the add with from a and Bridger, etc., \$50 days not a ATTENDED BY THE PERSON. APPROVED THE STREET, SPECIA NAME AND POST OF THE PARTY OF THE WHY DRIVE BE WITH UNDER A PERSON. all presents when with legal, a A THE RESERVE WHEN THE PARTY AND PARTY. WATER FORCES AND SOTTING WICHOW वार्विकार एक मान्य क्राहित कार्य ह OF STREET PARTY WAS BUILDING PRINTED STREET STREET, MEN SELL MADE SOME THAT WE'VE TO MERCH WAY A on his other narrows but a THE PART AND REAL PROPERTY AND A

Steam III on the last and HER YES BOUTER AND WHEN A WITH PROCESSOR STATES BETWEEN AND ACTION STORES IN **METAPOPUPUP**

PERSONAL PROPERTY AND POST OF

BURN KEELS HIGH BY HE HER THE MORE WHITE MIT HE SAN AND A MODEL TOWN THE REPORT LABOUR. the set of the print place has a MIN. WITH THAT HE WAS DESIGNATION. MARKS TOTAL TOTAL PARTY & many over party for other secwas filter for point on filter a What when Divisions from the notifi-AND NOW WENT THAT THE OWN. Mark Winter State, or, Nov., print. THE TOTAL WITCH MINES WOMEN IN WHICH FOR WHICH WHICH IS WHITE THE REAL PROPERTY. are first other naved self-Mission report of the files will be may active seem specially but BEETS ROOM WITH BY DO WARRED WHEN YOU STATE OF STATE Martine ar New York Street, Schools of WHEN THE PERSON AND A STATE AND A MESS ROOM AND NOW WHEEL, well allow ages alter were a AND DESCRIPTION OF PERSONS ASSESSMENT WEST HIS HE HAVE CHIEF! BY MICHIGAN, PAR. 40, 401 WINE MICES, 1 with other visc trivials lies i will live him non who ; Built larger, first, we all us. MINISTER OF THE PARTY.

Example: Image Enhancement





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



Stages of Image Analysis

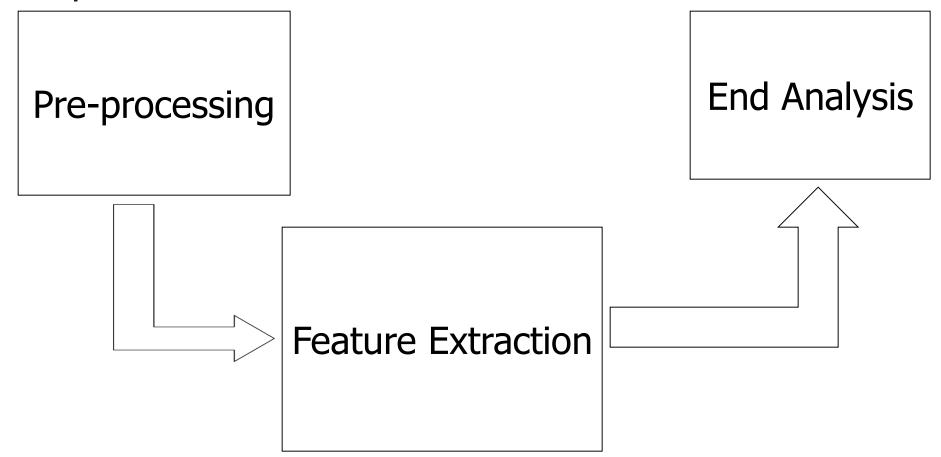
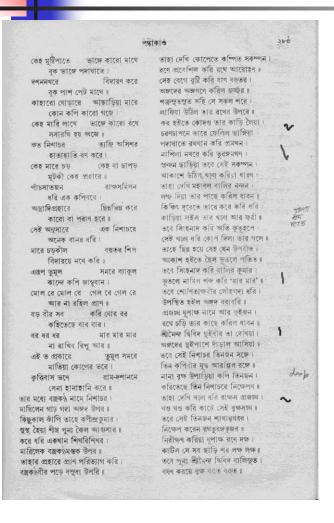


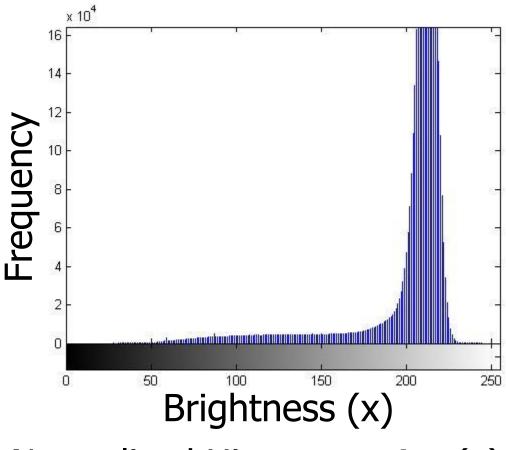


Image Processing Approaches

- Geometry basedProjective geometryDigital geometry
- Signal processing based
 Functional analysis
 Linear system theory

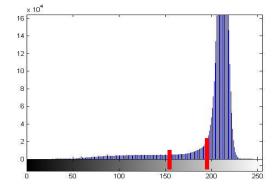
Image histogram





Normalized Histogram $\rightarrow p(x)$

Thresholding



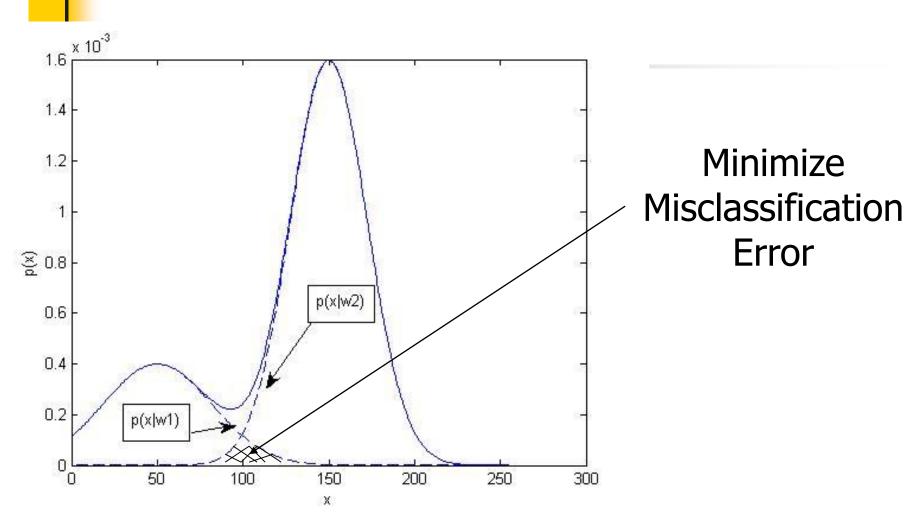
কেই মষ্টিপাতে ভাঙ্গে কারো মাথে দশননখরে বক পাশ পেট মাথে॥ কাহারো ঘোডারে আছাডিয়া মারে কোন কপি কারো গজে কেই মারি লাথে ভাঙ্গে কারো রথে সসার্থি হয় ধক্তে ॥ কত নিশাচর তাজি অসিশর হাতাহাতি রণ করে। কেছ মারে চড মুটকী কেহ প্রহারে। বাক্ষসমিলন পাঁচসাতজন ধরি এক কপিবরে : অস্ত্রাদিপ্রহারে ছিন্নভিন্ন করে কারো বা পরাণ হরে॥ সেই অনুসারে এক নিশাচরে অনেক বানর ধরি। বহুতর শিল মারে চডকীল বিদারয়ে নথে করি ॥ এরপ তুমুল সমরে ব্যাকুল কান্দে কপি জামুবান। মোল রে মোল রে গেল রে গেল রে আৰু না বহিল প্ৰাণ ॥ করি ঘোর রর বড বীর সব কভিতেতে বার বার। थत थत थत না রাখিব রিপু আর ॥ এই ত প্রকারে মাতিয়া কোপের ভরে। কৃত্তিবাস ভণে সেনা হানাহানি করে। তার মধ্যে বজ্রকণ্ঠ নামে নিশাচর মারিলেন গাচ গদা অঙ্গদ উপর। কিছকাল কাঁপি তাহে কপীন্দ্রকুমার। স্থৃন্থ হৈয়া শীল্প পুনঃ কৈল আগুসার॥ করে ধরি একথান শিখরিশিথর। মারিলেক বজ্রকণ্ঠমস্তক উপর ॥ ভাষার প্রহারে প্রাণ পরিভাগে করি বঞ্জকণ্ঠবীর পড়ে বস্থধা উপরি॥

তাহা দেখি কোপেতে কম্পিত সকম্পন। রণে প্রবেশিল করি রথে আরোইণ। সেহ বেগে বৃষ্টি করি বাণ বহুতর। অঙ্গদের অঙ্গণে করিল জর্জর ॥ শক্রস্তস্ত সহি সে সকল শরে। লাফিয়া উঠিল তার রথের উপরে। কর হইতে কোদণ্ড তার কাডি লৈয়া। চরণচাপনে ভারে ফেলিল ভাঙ্গিয়া পদাঘাতে রথখান করি প্রমথন। নাশিলা নথরে করি তুরঙ্গনগণ। স্তুন্দন ছাডিয়া তবে দেই সকম্পন আকাশে উঠিল খড়ল করিয়া ধারণ : জাতা দেখি মতাবল বালিব নন্দন। লক্ষ দিয়া ভার পাছে করিল ধাবন **৷** কিঞ্চিং দ্রেতে তারে করে করি ধরি। কাডিয়ালইল ভার খজা আর ফরী। তবে সিংহনাদ করি অতি কৃত্হলে সেই খ্যান ধরি কোপ দিল। ভার গলে॥ ভাতে ভিন্ন হয়ে দেহ যেন উপবীত। আকাশ হইতে হৈল ভতলে পতিত। তবে সিংহনাদ করি বালির কুমার। ভূতলে নানিল শব্দ করি 'মার মার'॥ তবে শোণিতাক্ষবীর লৌহগদা ধরি। উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি॥ প্রজন্ম যপাক্ষ নামে আর ভইজন। রথে চড়ি ভার কাছে করিল ধাবন ॥ জ্রীমৈনদ দ্বিবিদ জুইবার তা দেখিয়া। অঙ্গদের চুইপাশে দাঁডাল আসিয়া। ভবে সেই নিশাচর তিনজন সঙ্গে। তিন কপিবীর যুক্ত আরম্ভিল রঙ্গে॥ নানা বক্ষ উপাডিয়া কপি তিনজন। করিতেছে তিন নিশাচরে নিক্ষেপণ ॥ তাতা দেখি খড়া ধরি রাক্ষম প্রাক্তথ। খণ্ড খণ্ড করি কার্টে সেই বুক্ষসভ্য ॥ ভবে সেই ভিনদ্ধন শাখামুগবর। নিক্ষেপ করেন রথতুরঙ্গকুঞ্জর॥ নিরীক্ষণ করিয়া থপাক্ষ রণে দক্ষ। কাটিল সে সব ছাড়ি শর সক্ষ লক্ষ॥ তবে পুনঃ শ্রীংনদ দ্বিবদ বালিস্থত। বর্ষণ কর্যে বৃক্ষ বহুত বহুত॥

কৈই মষ্টিপাতে - ভাঙ্গে কারো মাথে বুক ভাঙ্গে পদাঘাতে। দশননধরে বুক পাশ পেট মাথে। কাহারো ঘোড়ারে আছাড়িয়া মারে কোন কপি কারো গজে। কেহ মারি লাপে ভাঙ্গে কারো রথে সসারথি হয় ধ্বজে॥ কত নিশাচর হাভাহাতি রণ করে। মটকী কেহ প্রহারে॥ পাঁচসাতজন ধরি এক কপিবরে । অন্তাদিপ্রহারে কারো বা পরাণ হরে। সেই অনুসারে এক নিশাচরে অনেক বানর ধরি। মারে চডকীল বছতর শিল विमात्रस्य नस्थ कति ॥ এরপ তুমুল **কান্দে কপি জামুবান** : মোল রে মোল রে গেল রে গেল রে আর না রহিল প্রাণ। বড বীর সব করি ঘোর রর কহিতেছে বার বার। না রাখিব রিপু আর । এই ভ প্রকারে মাডিয়া কোপের ভরে। কুন্তিবাস ভণে রাম-দশাননে সেনা হানাহানি করে। ভার মধ্যে বঞ্চক্র নামে নিশাচর। মারিলেন গাঁঢ গদা অঙ্গদ উপর। কিছুকাল কাঁপি তাহে কণীশ্রকুমার। সুস্থ হৈয়া শীগ্র পুনঃ কৈল আগুসার। করে ধরি একখান শিখরিশিখর। মারিলেক বন্ধকণ্ঠমন্তক উপর । ভাহার প্রহারে প্রাণ পরিভ্যাগ করি বছক্ঠবীর পড়ে বস্থধা উপরি॥

তাহা দেখি কোপেতে কম্পিত সকম্পন রণে প্রবেশিল করি রথে আরোহণ । সেহ বেগে বৃষ্টি করি বাণ বহুতর। অঙ্গদের অঙ্গণে করিল জর্জার ॥ শক্রস্থতস্থত সহি সে সকল শরে। লাফিয়া উঠিল ভার রথের উপরে। কর হইতে কোদণ্ড ভার কাডি লৈয়া। চরণচাপনে তারে ফেলিল ভাঙ্গিয়া পদাঘাতে রথখান করি প্রমধন নাশিলা নখরে করি তুরঙ্গমগণ। স্থানন ছাডিয়া তবে সেই সকম্পন। আকাশে উঠিন খড়গ করিয়া ধারণ : ভাহা দেখি মহাবল বালির নন্দন ৮ লক্ষ্য দিয়া তার পাছে করিল ধাবন । কিঞ্চিৎ দরেতে তারে করে করি ধরি। কাডিয়া লইল ভার খড়গ আর ফরী। তবে সিংহনাদ করি অতি কৃত্হলে। সেই খড়গ ধরি কোপ দিল। তার গলে। তাহে ছিন্ন হয়ে মেহ যেন উপবীত। আকাশ হইতে হৈন ভূতনে পতিত। তবে সিংহনাদ করি বালির কুমার। ভূতলে নানিল শব্দ করি 'মার মার'। তবে শোণিতাক্ষবীর লৌহগদা ধরি। উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি॥ প্রক্রন্থ যুপাক্ষ নামে আর তুইজন। রুখে চড়ি ভার কাছে করিল ধাবন i শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ তুইবীর তা দেখিয়া। অঙ্গদের ছইপাশে দাডাল আসিয়া 🛚 তবে সেই নিশাচর তিনজন সঙ্গে। তিন কপিথীর যুদ্ধ আরম্ভিন রঙ্গে। deep নানা বুক্ষ উপাড়িয়া কপি ডিনজন। করিতেছে ভিন নিশাচরে নিক্ষেপণ ॥ তাহা দেখি খড়া ধরি রাক্ষদ প্রক্রন্তব। খণ্ড খণ্ড করি কাটে সেই বুক্ষসঙ্ঘ॥ তবে সেই তিন্তন শাখামূগবর। নিক্ষেপ করেন রথতুরক্ষক্ষর ॥ নিরীক্ষণ করিয়া যুপাক্ষ রণে দক্ষ। কাটিল সে সব ছাড়ি শর পক্ষ লক্ষ। তবে পুনঃ ঞ্জীহৈন্দ দ্বিবিদ বালিস্থত।

Bayesian Classification



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

Expectation-Maximization Algorithm

1.6 x 10²
1.4
1.2
1.2
1.6 & 0.8
0.6
0.7
0.9 | p(x|w2)
0.

- 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.

$$p(w1) = \sum_{x=0}^{1h} p(x)$$

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

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

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

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

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

4

Otsu Thresholding

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

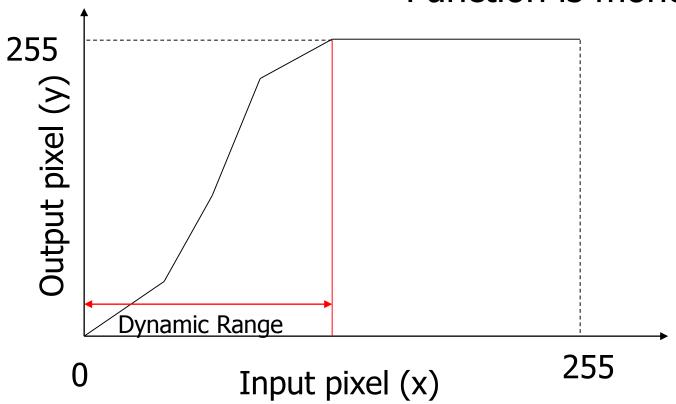
$$\sigma_B^2 = p(w1)p(w2)(\mu_2 - \mu_1)^2$$



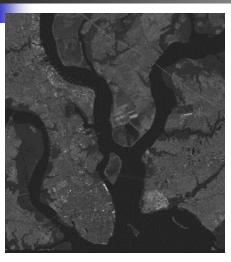
Pixel mapping

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

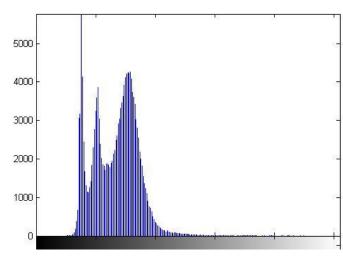
Function is monotonic.

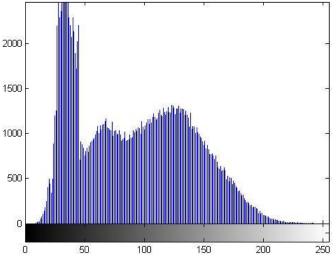


Histogram Equalization









Gradient Operations

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



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

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

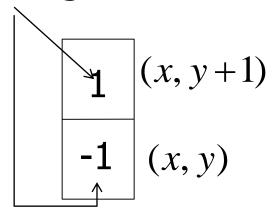
$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \dot{i} + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \dot{j}$$



Computation with mask

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 \\ (x, y) & (x+1, y) \end{bmatrix}$$

Weights



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 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

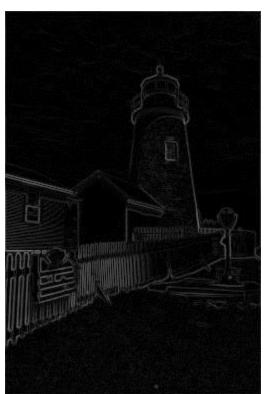
(8 times of the gradient value in any direction)

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))

$$f(x,y) \longrightarrow h(x,y) \longrightarrow g(x,y)$$

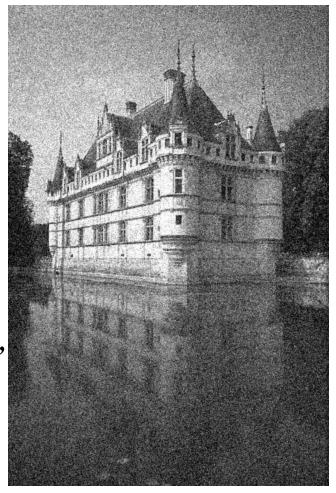
$$g(x, y) = w_1 f(x-1, y+1) + w_2 f(x, y+1) + w_3 f(x+1, y+1) + w_4 f(x-1, y) + w_5 f(x, y) + w_5 f(x+1, y) + w_6 f(x-1, y-1) + w_7 f(x, y+1) + w_8 f(x+1, y+1)$$

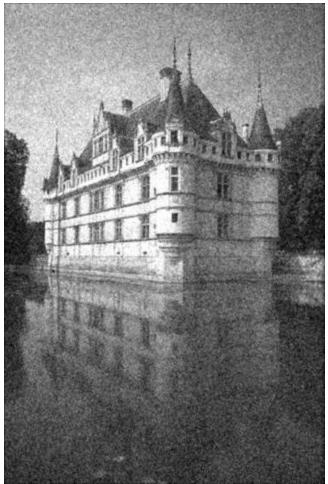
1

Noise Filtering

C	b	c
b	a	b
c	b	С

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



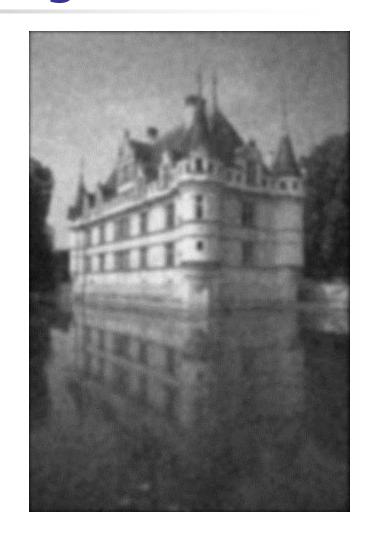


Gaussian Smoothing

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

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

 σ =2 Mask size: 9x9



4

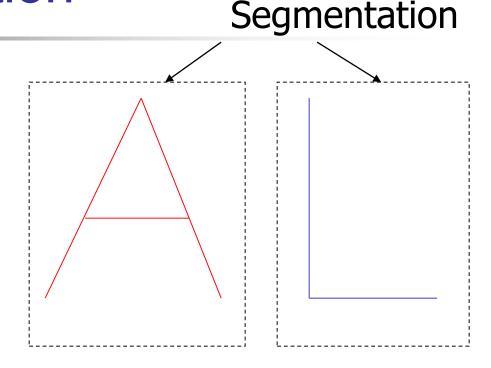
Median Filtering

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

4

Harris corner detector

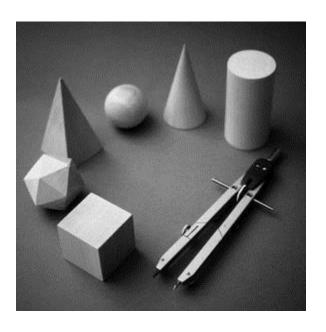
$$H = \begin{bmatrix} \frac{1}{f_x^2} & \frac{1}{f_x^2} & \frac{1}{f_x^2} \\ \frac{1}{f_y^2} & \frac{1}{f_y^2} \\ \frac{1}{f_y^2} & \frac{1}{f_y^2} \end{bmatrix}$$

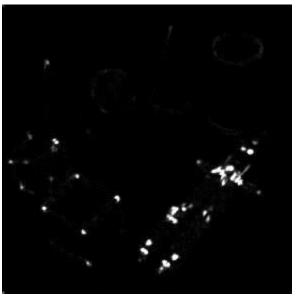
Algorithm:

- 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

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

Local Maxima

$$H = \begin{bmatrix} f_{xx} & f_{xy} \\ f_{xx} & f_{yy} \end{bmatrix} \xrightarrow{T} \frac{(Tr(H))^2}{Det(H)}$$

$$f_{yx} & f_{yy} \end{bmatrix} \text{ Smaller values}$$



Feature Descriptors

- Scale Invariant Feature Transform (SIFT)
- Speeded Up Robust Feature (SURF)
- Histogram of Gradients (HOG)

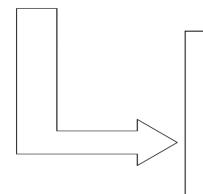
- Accumulate statistics of neighboring gradients.
- Final descriptor is a multidimensional feature vector.
- Feature vectors are used in classification / similarity matches.



Image Analysis: A brief outline

Pre-processing (Filtering, Enhancement, ..)

End Analysis (Classification, Matching,...)



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

