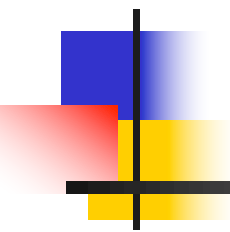


Fundamentals of Image Processing – Part I (Week-01, Lecture # 1)



Jayanta Mukhopadhyay
Dept. of Computer Science and Engg.
Indian Institute of Technology, Kharagpur

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

A 2D Array of integers

Color images

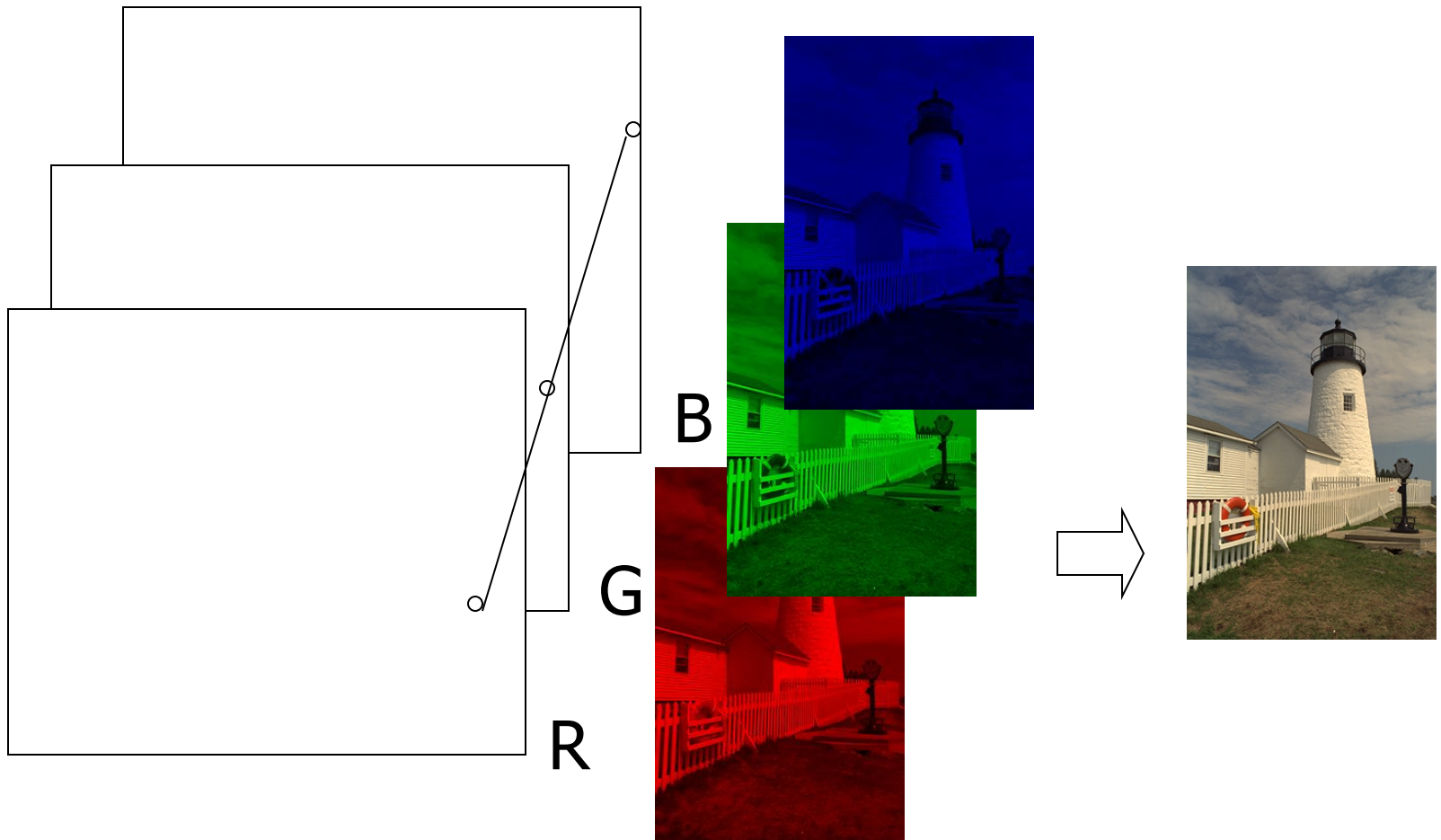
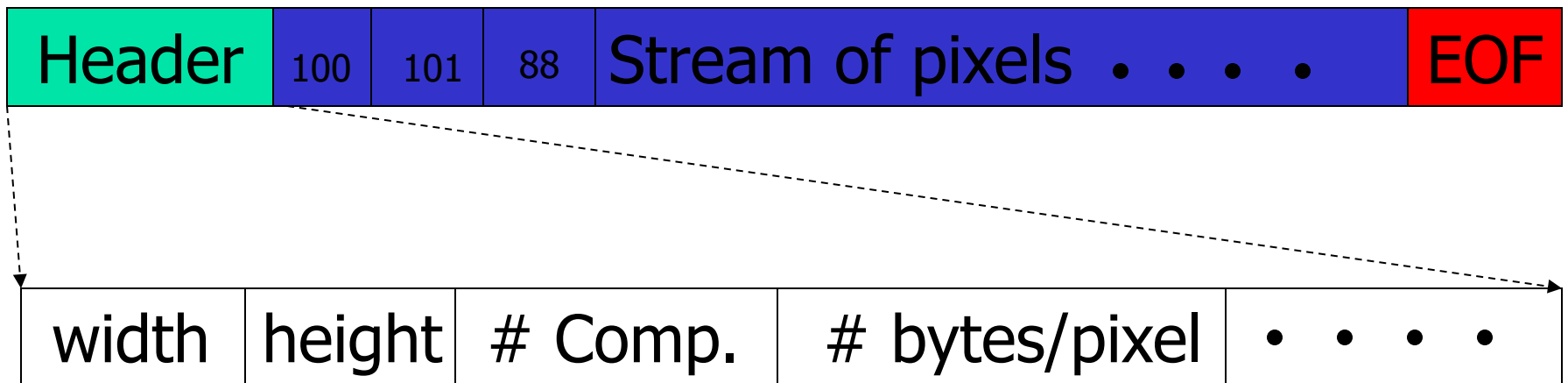




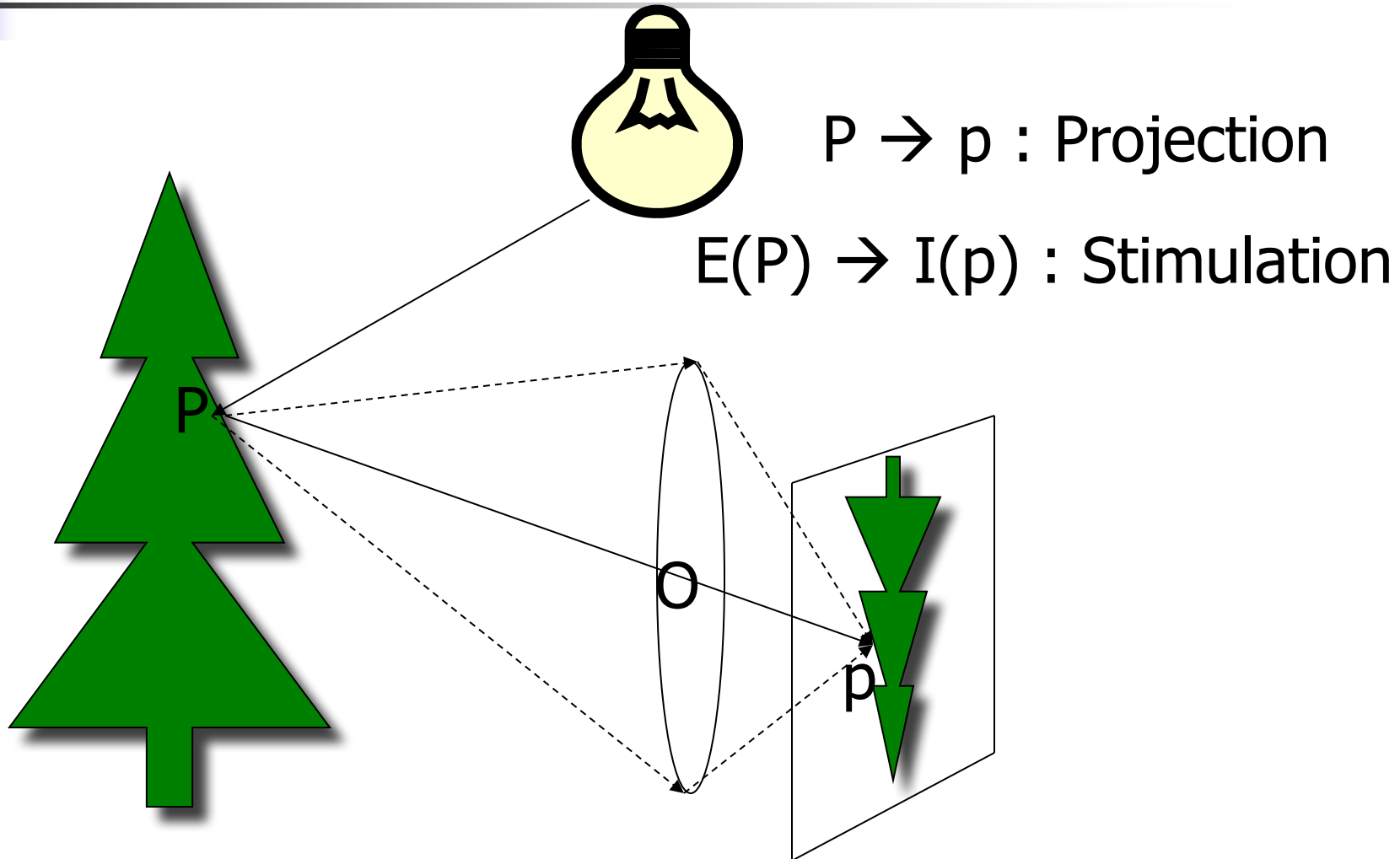
Image File



Standard File Formats:

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

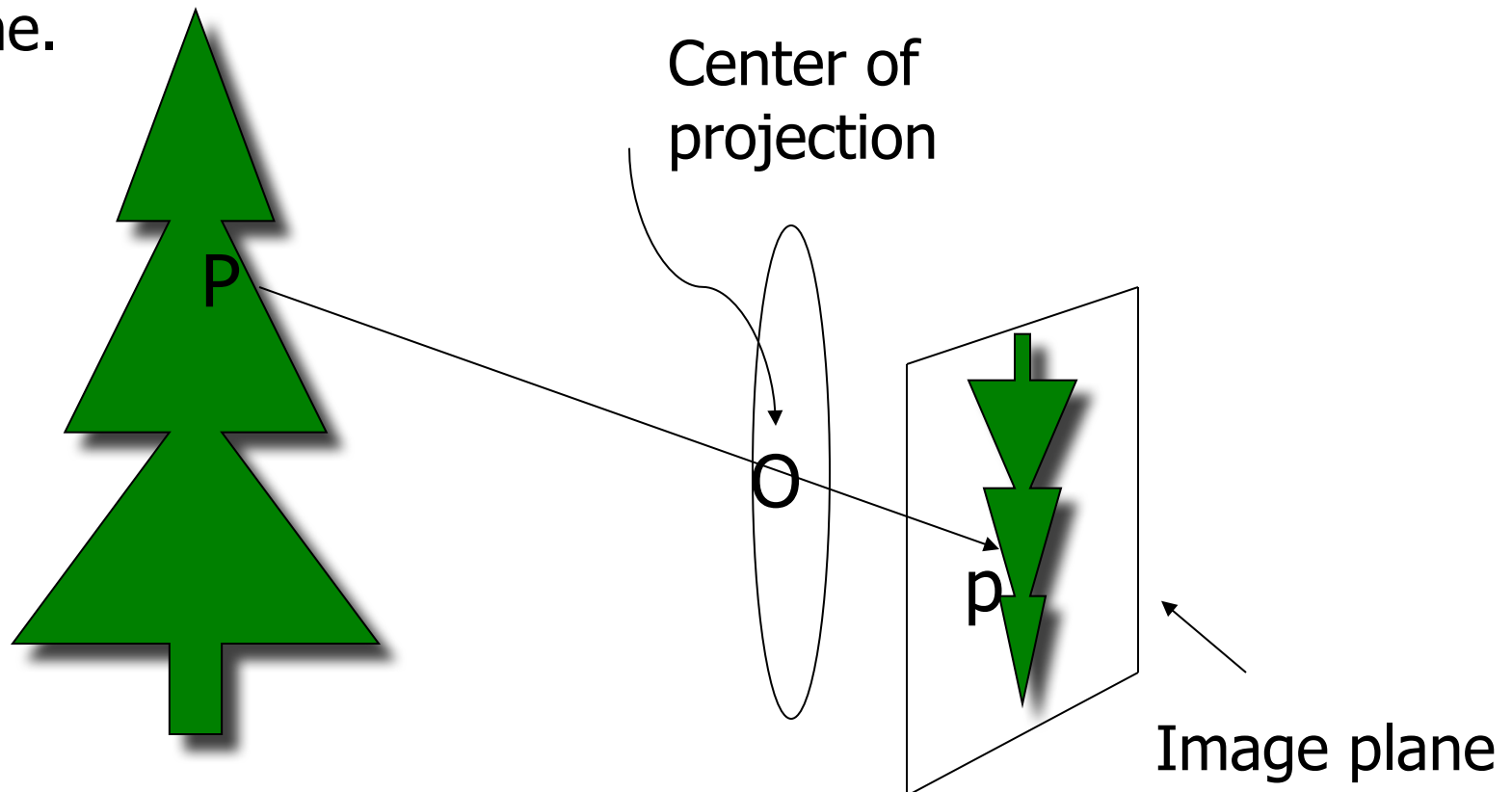
Image formation in optical camera



Rules of projection

Perspective projection

Image points formed by intersection of the ray from a point P passing through the center of projection O with the image plane.



Parallel
projection

Other imaging principle

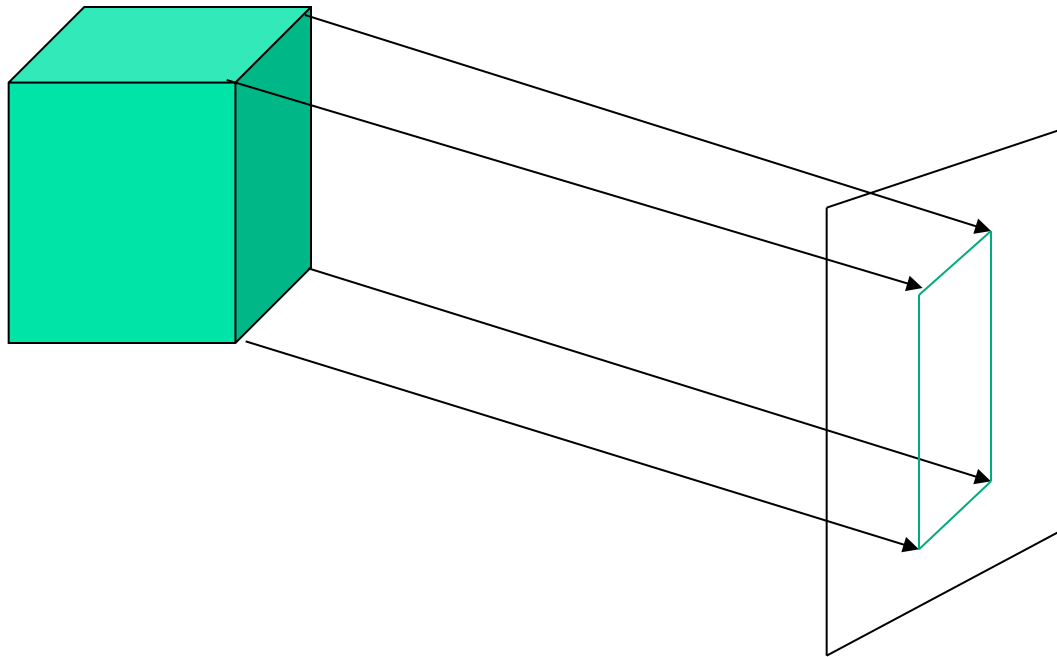
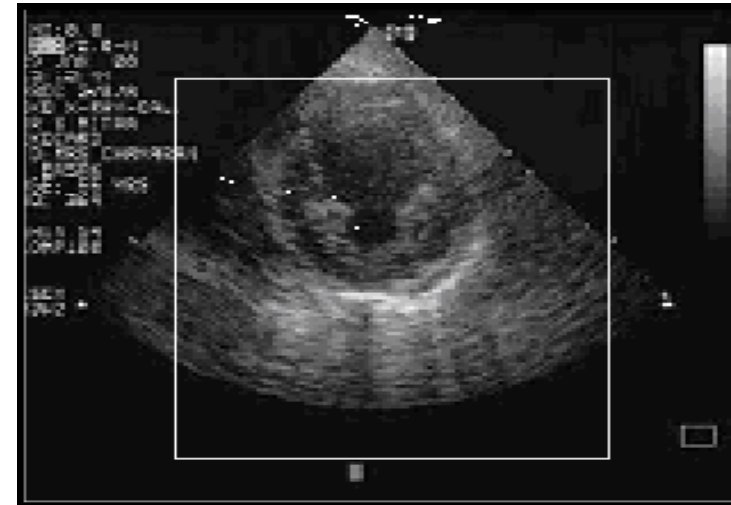
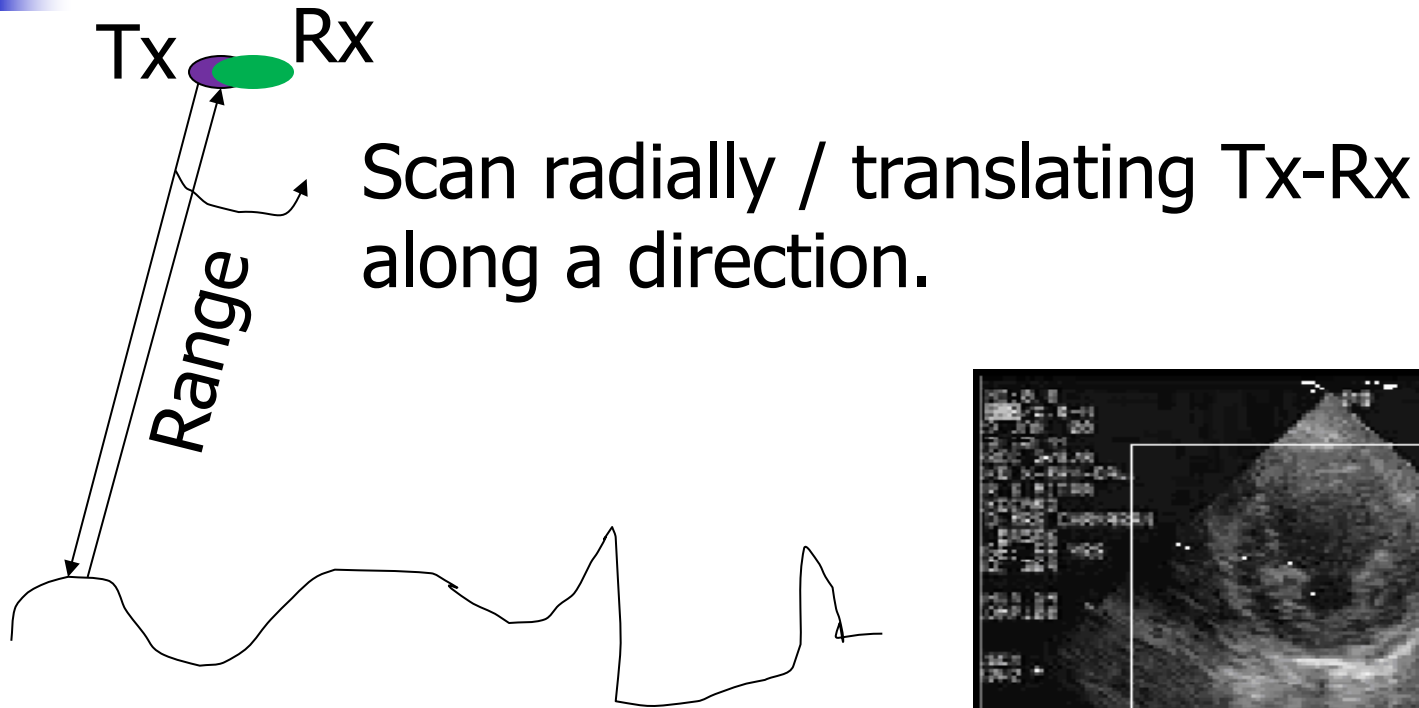


Image points formed by intersection of parallel rays with the image plane.

Other imaging principle





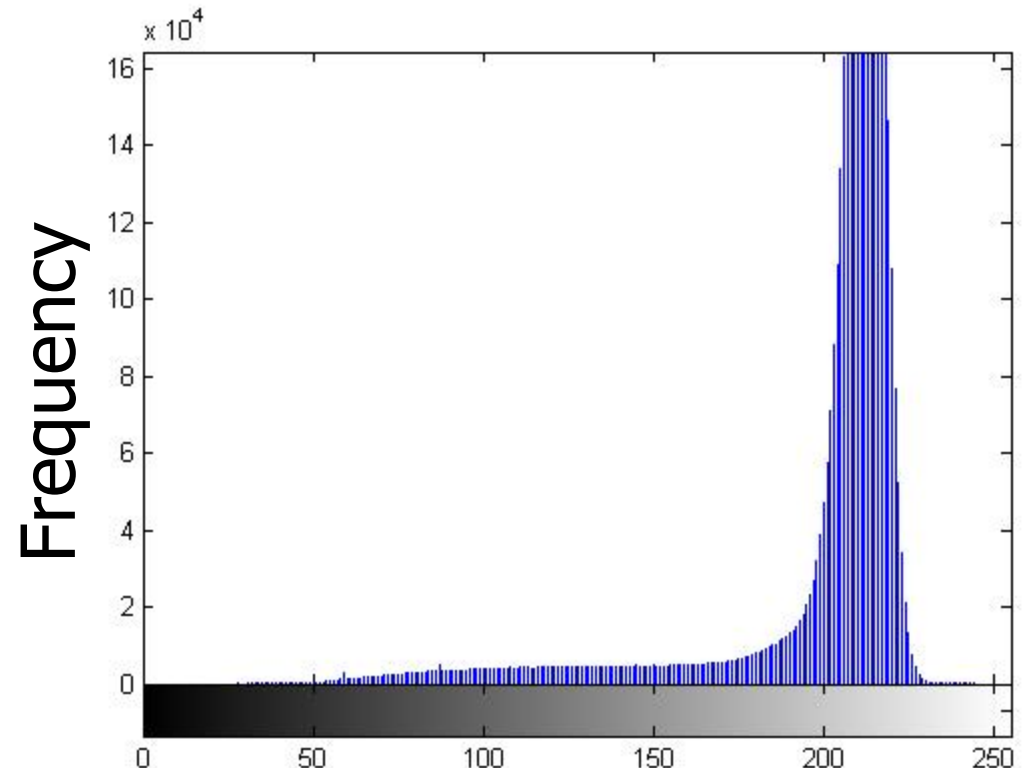
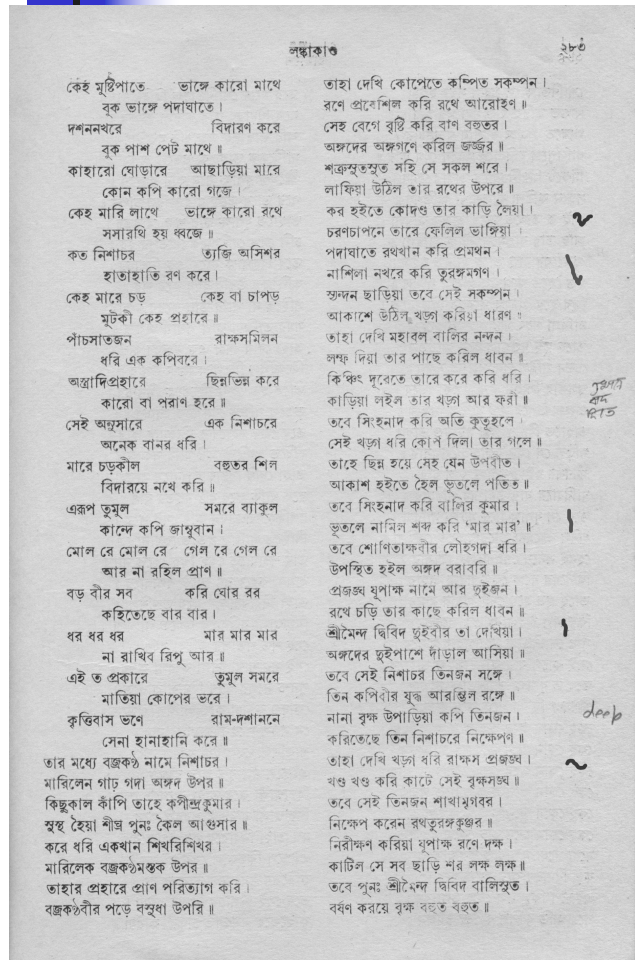
What is an image?

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



A few concepts and operations

Image histogram



Brightness (x)

Normalized Histogram $\rightarrow p(x)$



Binarization (Thresholding)

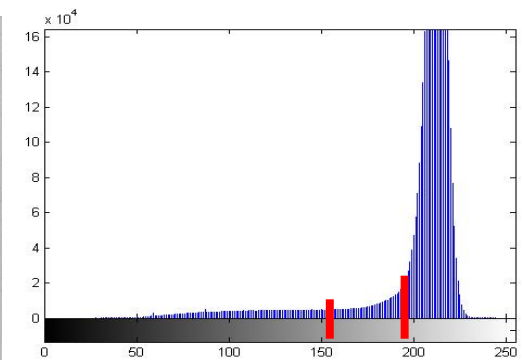
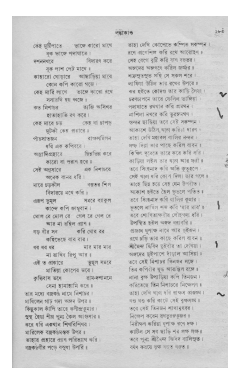
- Separation of foreground from background.
 - Foreground: Dark pixels (text)
 - Background: Bright pixels (white region)
- Pixels in a binarized image set to one of the two values (e.g. 255 or 0).
 - 255 for background.
 - 0 for foreground.



Binarization (Thresholding)

- A simple algorithm
 - Choose a threshold value T .
 - A pixel greater than T is set to 255 (background), otherwise to 0 (foreground).

Thresholding



Can you automate this operation?

লঙ্কাবাত

২৮৬

কেই মুষ্টিপাতে ভাসে কারো মাথে
বুক ভাসে পদাধাতে।
দর্শনমথরে বিদারণ করে
বুক পাশ পেট মাথে।
কাহারো বোড়ারে আছাড়িয়া মারে
কোন কপি কারো গাঙ্গে।
কেহ মারি লাগে ভাসে কারো রথে
সমারথি হয় ধ্বজে।
কত নিশাচর তাজ্জি অসিধর
হাতাহাতি রণ করে।
কেহ মারে চড় কেহ বা চাপড়
মুটকী কেহ প্রহারে।
পাঁচাত্তজন রাফসমিসন
ধরি এক কপিবারে।
অগ্ন্যগ্নিগ্রহারে ছিন্নভিন্ন করে
কাছো বা পরাগ হরে।
সেই অমসারে এক নিশাচরে
অনেক বানর ধরি।
মারে চড়কাল বহুতর শিল
বিদারয়ে নখে করি।
এরূপ তুমুল সমরে ব্যাকুল
কাম্পে কপি জাম্বুবান।
মোল রে মোল রে গেল রে গেল রে
আর না রহিল প্রাণ।
বড় বীর সব করি যোঁর 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-দশনামে
সেনা হানাহানি করে।

তার মধ্যে বজ্রকণ্ঠ নামে নিশাচর।
মারিলেন গাঢ় গাঢ় অঙ্গ উপর।
কিছুকাল কাঁপি তাহে কপীন্দ্রকুমার।
সুস্থ হৈয়া শীঘ্র পুনঃ কৈল আগ্রসার।
করে ধরি একখান শিখরিশিখর।
মারিলেক বজ্রকণ্ঠমস্তক উপর।
তাহার প্রহারে প্রাণ পরিত্যাগ করি।
বজ্রকণ্ঠবীর পড়ে লম্বা উপরি।

তাহা দেবি কোপেতে কণ্ঠিত সৰুসম্পন্ন।
রণে প্রবেশিল করি রথে আরোহণ।
সেহ বেগে বৃটি করি বাণ বহুতর।
অঙ্গদের অঙ্গগণে করিল ছর্জর।
শত্রুস্বত্বহৃত সহি সে সকল শরে।
লাফিয়া উঠিল তার রথের উপরে।
কর হইতে কোদণ্ড তার কাড়ি লৈয়া।
চরণচাপনে তারে ফেলিল ডাকিয়া।
পদাধাতে রথখান করি প্রমথন।
নাশিলা নথরে করি তুরঙ্গমগণ।
স্বদমন ছাড়িয়া তার সেই সৰুসম্পন্ন।
আকাশে উঠিল খড়্গা করিয়া ধারণ।
তাহা দেখি মহাবল বাণির নন্দন।
লক্ষ দিয়া তার পাছে করিল ধাবন।
কিঞ্চিৎ দূরেতে তারে করে করি ধরি।
কাড়িয়া লইল তার খড়্গা আর ফরি।
তারে সিংহনাদ করি অতি ক্রুদ্ধহলে।
সেই খড়্গা ধরি কোণ দিলা তার গলে।
তাহে ছিন্ন হয়ে সেই বেন উপবীত।
আকাশ হইতে হৈল ভূতলে পতিত।
তবে সিংহনাদ করি বাণির কুমার।
ভূতলে নামিল শব্দ করি 'মার মার'।
তবে শোণিতাকবীর লৌহগদা ধরি।
উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি।
প্রজন্ম যুগ্মক নামে আর দুইজন।
রথে চড়ি তার কাছে করিল ধাবন।
ক্রীমৈন্দ্র দ্বিবিদ দুইবার তা দেখিয়া।
অঙ্গদের দুইপাশে পাড়াল আসিয়া।
তবে সেই নিশাচর ভিন্নজন সঙ্গে।
তিন কপিবার যুদ্ধ আরম্ভিল সঙ্গে।
নানা বৃক্ষ উপাড়িয়া কপি ভিন্নজন।
করিতেছে তিন নিশাচরে নিক্ষেপণ।
তাহা দেখি খড়্গা ধরি রাফস প্রজন্ম।
যগু যগু করি কাটে সেই বৃক্ষসম্মুখ।
তবে সেই ভিন্নজন শাখাযগবর।
নিক্ষেপ করেন রথতুরঙ্গকুঞ্জর।
নিরীক্ষণ করিয়া যুগ্মক রণে দক্ষ।
কাটিল সে সব ছাড়ি শর লক্ষ লক্ষ।
তবে পুনঃ ক্রীমৈন্দ্র দ্বিবিদ বাসিহুত।
বর্ধন করয়ে বৃক্ষ বহুত বহুত।

২৮৬

দার

লঙ্কাবাত

২৮৬

কেই মুষ্টিপাতে ভাসে কারো মাথে
বুক ভাসে পদাধাতে।
দর্শনমথরে বিদারণ করে
বুক পাশ পেট মাথে।
কাহারো বোড়ারে আছাড়িয়া মারে
কোন কপি কারো গাঙ্গে।
কেহ মারি লাগে ভাসে কারো রথে
সমারথি হয় ধ্বজে।
কত নিশাচর তাজ্জি অসিধর
হাতাহাতি রণ করে।
কেহ মারে চড় কেহ বা চাপড়
মুটকী কেহ প্রহারে।
পাঁচাত্তজন রাফসমিসন
ধরি এক কপিবারে।
অগ্ন্যগ্নিগ্রহারে ছিন্নভিন্ন করে
কাছো বা পরাগ হরে।
সেই অমসারে এক নিশাচরে
অনেক বানর ধরি।
মারে চড়কাল বহুতর শিল
বিদারয়ে নখে করি।
এরূপ তুমুল সমরে ব্যাকুল
কাম্পে কপি জাম্বুবান।
মোল রে মোল রে গেল রে গেল রে
আর না রহিল প্রাণ।
বড় বীর সব করি যোঁর 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-বশনামে
সেনা হানাহানি করে।

তার মধ্যে বজ্রকণ্ঠ নামে নিশাচর।
মারিলেন গাঢ় গাঢ় অঙ্গ উপর।
কিছুকাল কাঁপি তাহে কপীন্দ্রকুমার।
সুস্থ হৈয়া শীঘ্র পুনঃ কৈল আগ্রসার।
করে ধরি একখান শিখরিশিখর।
মারিলেক বজ্রকণ্ঠমস্তক উপর।
তাহার প্রহারে প্রাণ পরিত্যাগ করি।
বজ্রকণ্ঠবীর পড়ে লম্বা উপরি।

তাহা দেবি কোপেতে কণ্ঠিত সৰুসম্পন্ন।
রণে প্রবেশিল করি রথে আরোহণ।
সেহ বেগে বৃটি করি বাণ বহুতর।
অঙ্গদের অঙ্গগণে করিল ছর্জর।
শত্রুস্বত্বহৃত সহি সে সকল শরে।
লাফিয়া উঠিল তার রথের উপরে।
কর হইতে কোদণ্ড তার কাড়ি লৈয়া।
চরণচাপনে তারে ফেলিল ডাকিয়া।
পদাধাতে রথখান করি প্রমথন।
নাশিলা নথরে করি তুরঙ্গমগণ।
স্বদমন ছাড়িয়া তার সেই সৰুসম্পন্ন।
আকাশে উঠিল খড়্গা করিয়া ধারণ।
তাহা দেখি মহাবল বাণির নন্দন।
লক্ষ দিয়া তার পাছে করিল ধাবন।
কিঞ্চিৎ দূরেতে তারে করে করি ধরি।
কাড়িয়া লইল তার খড়্গা আর ফরি।
তারে সিংহনাদ করি অতি ক্রুদ্ধহলে।
সেই খড়্গা ধরি কোণ দিলা তার গলে।
তাহে ছিন্ন হয়ে সেই বেন উপবীত।
আকাশ হইতে হৈল ভূতলে পতিত।
তবে সিংহনাদ করি বাণির কুমার।
ভূতলে নামিল শব্দ করি 'মার মার'।
তবে শোণিতাকবীর লৌহগদা ধরি।
উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি।
প্রজন্ম যুগ্মক নামে আর দুইজন।
রথে চড়ি তার কাছে করিল ধাবন।
ক্রীমৈন্দ্র দ্বিবিদ দুইবার তা দেখিয়া।
অঙ্গদের দুইপাশে পাড়াল আসিয়া।
তবে সেই নিশাচর ভিন্নজন সঙ্গে।
তিন কপিবার যুদ্ধ আরম্ভিল সঙ্গে।
নানা বৃক্ষ উপাড়িয়া কপি ভিন্নজন।
করিতেছে তিন নিশাচরে নিক্ষেপণ।
তাহা দেখি খড়্গা ধরি রাফস প্রজন্ম।
যগু যগু করি কাটে সেই বৃক্ষসম্মুখ।
তবে সেই ভিন্নজন শাখাযগবর।
নিক্ষেপ করেন রথতুরঙ্গকুঞ্জর।
নিরীক্ষণ করিয়া যুগ্মক রণে দক্ষ।
কাটিল সে সব ছাড়ি শর লক্ষ লক্ষ।
তবে পুনঃ ক্রীমৈন্দ্র দ্বিবিদ বাসিহুত।
বর্ধন করয়ে বৃক্ষ বহুত বহুত।

২৮৬

দার

Th=156

Th=192

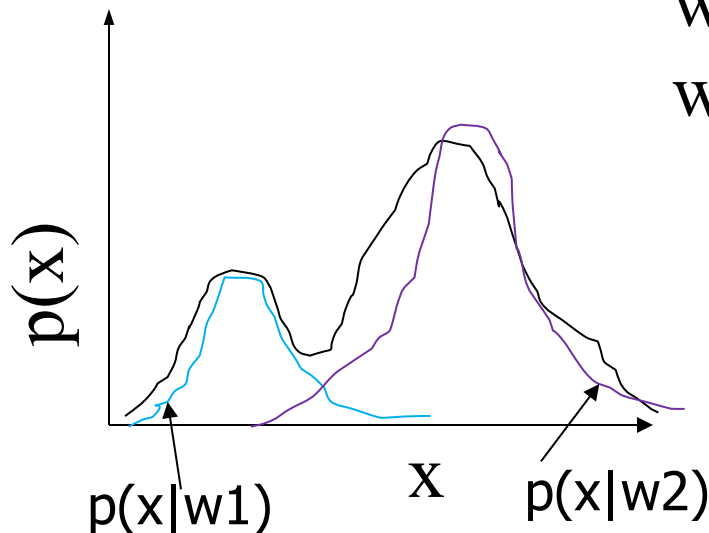
Bayesian Classification of foreground and background pixels

Pixels belonging to two classes:
w1: Foreground
w2: Background

Compute $p(w1|x)$ and $p(w2|x)$.

Bayes' theorem:

$$p(\omega | x) = \frac{p(\omega) p(x | \omega)}{p(x)}$$



Bayes' classification rule:

Assign x to $w1$ if $p(w1|x) > p(w2|x)$ else to $w2$.



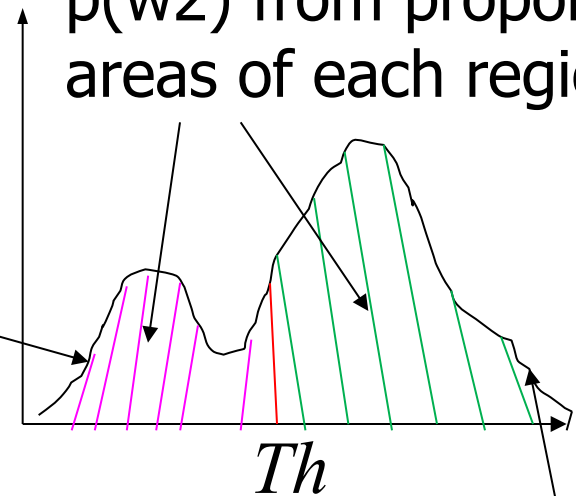
To check whether $p(w1)p(x|w1) > p(w2)p(x|w2)$

Expectation-Maximization Algorithm

2. Compute parameters of $p(x|w_1)$ by assuming it Gaussian.

\Downarrow
 μ_1, σ_1

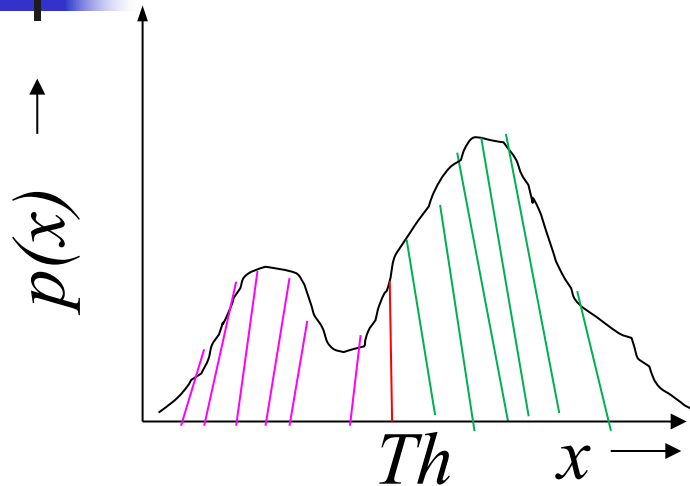
1. Compute $p(w_1)$ and $p(w_2)$ from proportional areas of each region.



3. Compute parameters of $p(x|w_2)$ by assuming it Gaussian. $\Rightarrow \mu_2, \sigma_2$

$$N(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Expectation-Maximization Algorithm



4. Compute new threshold value so that for $x < Th$, $p(w1|x) > p(w2|x)$, and vice versa.
5. Iterate till the value of Th converges.

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

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

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

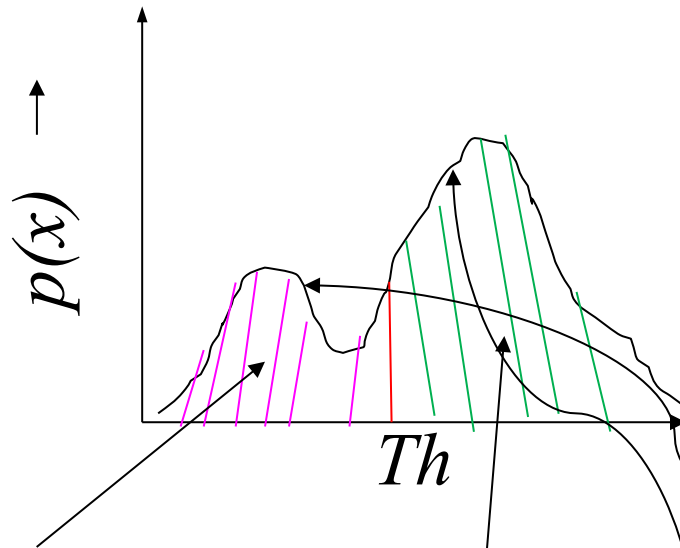
$$\sigma_1^2 = \sum_{x=0}^{Th} x^2 \cdot p(x) - \mu_1^2$$

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

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

Otsu Thresholding

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



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

An example

Otsu:157

লঙ্কা৩

২৮৬

কেই মুষ্টিপাতে ভাঙ্গে কারো মাথে
বুক ভাঙ্গে পদাঘাতে ।
দশননখরে বিদারণ করে
বুক পাশ পেট মাথে ॥
কাহারো ঘোড়ারে আছাড়িয়া মারে
কোন কপি কারো গজে ।
কেহ মারি লাখে ভাঙ্গে কারো মাথে
সমারথি হয় ধ্বজে ॥
কত নিশাচর তাজি অসিশর
হাতাহাতি রণ করে ।
কেহ মারে চড় কেহ বা চাপড়
মুটকী কেহ প্রহারে ॥
পাঁচসাতজন রাফসমিলন
ধরি এক কপিবারে ।
অস্ত্রাদিগ্রহায়ে ছিন্নভিন্ন করে
কারো বা পরাণ হরে ॥
সেই অমুসারে এক নিশাচরে
অনেক বানর ধরি ।
মারে চড়কীল বজ্রতর শিল
বিদারয়ে নখে করি ॥
এরূপ তুমুল সমরে ব্যাকুল
কান্দে কপি জাখুবান ।
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 ।
কৃতিবাস ভণে রামদশনানে
সেনা হানাহানি করে ।
তার মধ্যে বজ্রকণ্ট নামে নিশাচর ।
মারিলেন গাট গালা অঙ্গ উপর ॥
কিছুকাল কাঁপি তাহে কপীন্দ্রকুমার ।
বুহু হৈয়া শীঘ্র পুনঃ কৈল আগুসার ॥
করে ধরি একখান শিখরিশিখর ।
মারিলেক বজ্রকণ্টমস্তক উপর ॥
তাহার প্রহারে প্রাণ পরিত্যাগ করি ।
বজ্রকণ্টবীর পড়ে বনুখা উপরি ॥

তাহা দেখি কোপেতে কল্লিত সঙ্কম্পন ।
রণে প্রবেশিল করি রথে আরোহণ ॥
সেহ বেগে বৃষ্টি করি বাণ বজ্রতর ।
অঙ্গদের অঙ্গগণে করিল জর্জর ॥
শক্রমৃত্যুত 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 তুরঙ্গনগণ ।
স্বন্দন ছাড়িয়া তবে সেই সঙ্কম্পন ॥
আকাশে উঠিল খজা করি ধারণ ॥
তাহা দেখি মহাবল বালির নন্দন ।
লক্ষ দিয়া তার পাছে করিল ধাবন ॥
কিঞ্চিৎ দূরেতে তারে করে করি ধরি ।
কাড়িয়া লইল তার খজা আর ফরি ॥
তবে সিংহনাদ করি অতি কুতূহলে ।
সেই খজা ধরি কোণ দিলা তার গলে ॥
তাহে ছিন্ন হয়ে সেই ঘেন উপবীত ।
আকাশ হইতে হৈল ভূতলে পতিত ॥
তবে সিংহনাদ করি বালির কুমার ।
ভূতলে নামিল শব্দ করি 'মার মার' ॥
তবে শোণিতাকবীর সৌহগদা ধরি ।
উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি ॥
প্রজ্ঞব যুগাক নামে আর দুইজন ।
রথে চড়ি তার কাছে করিল ধাবন ॥
শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ দুইবার 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 খজা ধরি রাফস প্রজ্ঞব ।
বগু বগু করি কাটে সেই বৃক্ষসম্ম ॥
তবে সেই তিনজন শাখামুগবর ।
নিক্ষেপ করেন রথতুরঙ্গর ॥
নিরাক্ষণ করিয়া খুপাক রণে দক্ষ ।
কাটিল সে সব ছাড়ি শর লক্ষ লক্ষ ॥
তবে পুনঃ শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ বালিব্রত ।
বর্ধন করয়ে বৃক্ষ বজ্রত বজ্রত ॥

১৮৫
১৮৫

১৮৫

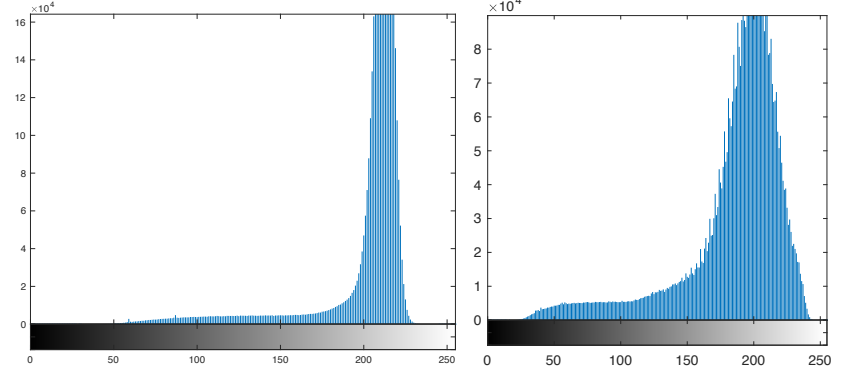
Bayesian
:157

কেই মুষ্টিপাতে ভাঙ্গে কারো মাথে
বুক ভাঙ্গে পদাঘাতে ।
দশননখরে বিদারণ করে
বুক পাশ পেট মাথে ॥
কাহারো ঘোড়ারে আছাড়িয়া মারে
কোন কপি কারো গজে ।
কেহ মারি লাখে ভাঙ্গে কারো মাথে
সমারথি হয় ধ্বজে ॥
কত নিশাচর তাজি অসিশর
হাতাহাতি রণ করে ।
কেহ মারে চড় কেহ বা চাপড়
মুটকী কেহ প্রহারে ॥
পাঁচসাতজন রাফসমিলন
ধরি এক কপিবারে ।
অস্ত্রাদিগ্রহায়ে ছিন্নভিন্ন করে
কারো বা পরাণ হরে ॥
সেই অমুসারে এক নিশাচরে
অনেক বানর ধরি ।
মারে চড়কীল বজ্রতর শিল
বিদারয়ে নখে করি ॥
এরূপ তুমুল সমরে ব্যাকুল
কান্দে কপি জাখুবান ।
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 ।
কৃতিবাস ভণে রামদশনানে
সেনা হানাহানি করে ॥
তার মধ্যে বজ্রকণ্ট নামে নিশাচর ।
মারিলেন গাট গালা অঙ্গ উপর ॥
কিছুকাল কাঁপি তাহে কপীন্দ্রকুমার ।
বুহু হৈয়া শীঘ্র পুনঃ কৈল আগুসার ॥
করে ধরি একখান শিখরিশিখর ।
মারিলেক বজ্রকণ্টমস্তক উপর ॥
তাহার প্রহারে প্রাণ পরিত্যাগ করি ।
বজ্রকণ্টবীর পড়ে বনুখা উপরি ॥

তাহা দেখি কোপেতে কল্লিত সঙ্কম্পন ।
রণে প্রবেশিল করি রথে আরোহণ ॥
সেহ বেগে বৃষ্টি করি বাণ বজ্রতর ।
অঙ্গদের অঙ্গগণে করিল জর্জর ॥
শক্রমৃত্যুত 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 তুরঙ্গনগণ ।
স্বন্দন ছাড়িয়া তবে সেই সঙ্কম্পন ॥
আকাশে উঠিল খজা করি ধারণ ॥
তাহা দেখি মহাবল বালির নন্দন ।
লক্ষ দিয়া তার পাছে করিল ধাবন ॥
কিঞ্চিৎ দূরেতে তারে করে করি ধরি ।
কাড়িয়া লইল তার খজা আর ফরি ॥
তবে সিংহনাদ করি অতি কুতূহলে ।
সেই খজা ধরি কোণ দিলা তার গলে ॥
তাহে ছিন্ন হয়ে সেই ঘেন উপবীত ।
আকাশ হইতে হৈল ভূতলে পতিত ॥
তবে সিংহনাদ করি বালির কুমার ।
ভূতলে নামিল শব্দ করি 'মার মার' ॥
তবে শোণিতাকবীর সৌহগদা ধরি ।
উপস্থিত হইল অঙ্গদ বরাবরি ॥
প্রজ্ঞব যুগাক নামে আর দুইজন ।
রথে চড়ি তার কাছে করিল ধাবন ॥
শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ দুইবার 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 খজা ধরি রাফস প্রজ্ঞব ।
বগু বগু করি কাটে সেই বৃক্ষসম্ম ॥
তবে সেই তিনজন শাখামুগবর ।
নিক্ষেপ করেন রথতুরঙ্গর ॥
নিরাক্ষণ করিয়া খুপাক রণে দক্ষ ।
কাটিল সে সব ছাড়ি শর লক্ষ লক্ষ ॥
তবে পুনঃ শ্রীমৈন্দ দ্বিবিদ বালিব্রত ।
বর্ধন করয়ে বৃক্ষ বজ্রত বজ্রত ॥

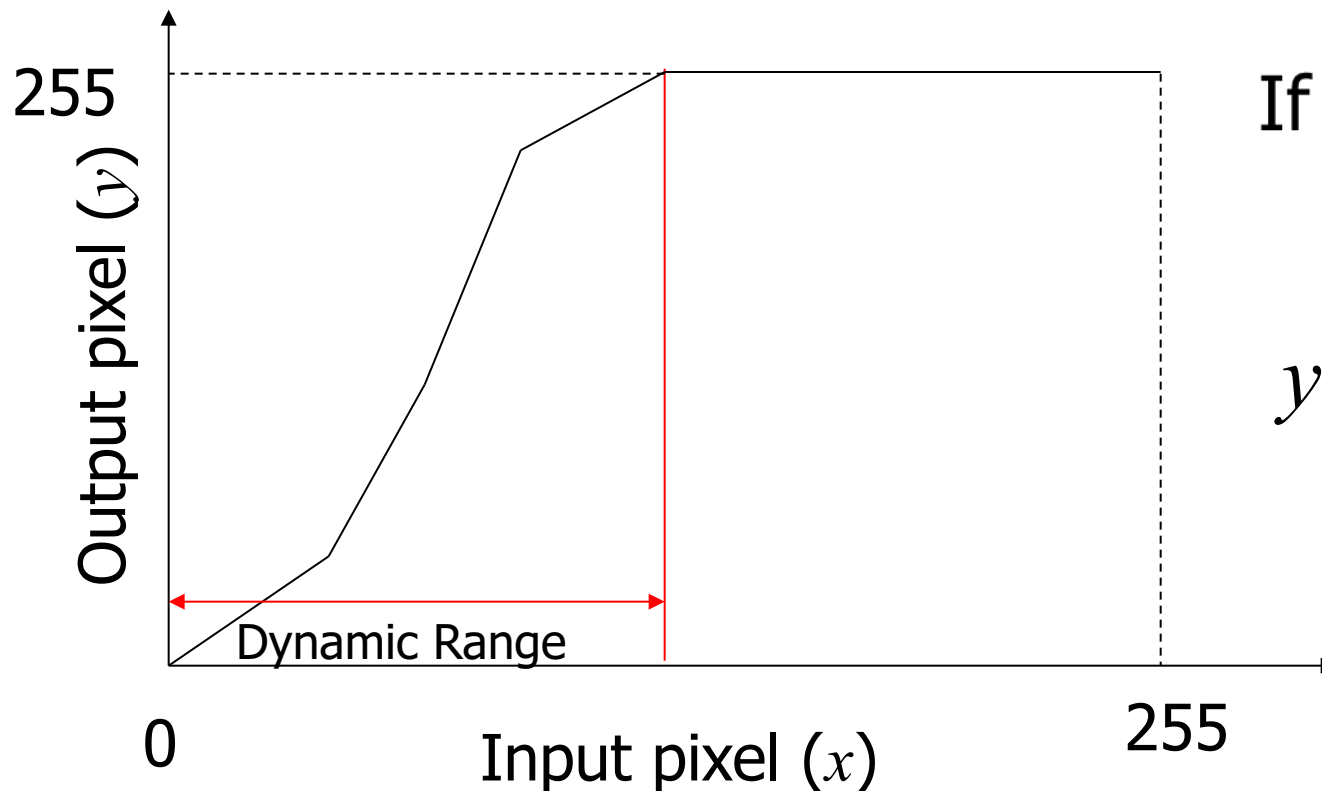
১৮৫
১৮৫

১৮৫



Contrast Enhancement: Pixel mapping

Function is monotonically increasing.



If $x_1 > x_2$, $y_1 \geq y_2$

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

Histogram Equalization

