

# Image Processing Theory Part-02

**Shaharear Emon C213079**

## How does the human eye work?

The human eye works like a camera, capturing light, processing it, and sending it to the brain to enable vision.

মানুষের চোখ একটি ক্যামেরার মতো কাজ করে, যা আলো গ্রহণ করে, সেটিকে প্রক্রিয়া করে এবং আমাদের মনস্তিক্ষে পাঠিয়ে আমাদের দেখার ক্ষমতা দেয়।

### 1 Light Enters the Eye ✨ আলো চোখে প্রবেশ করে ✨

- ✓ Light first enters through the **cornea**. আলো প্রথমে কর্নিয়ার (Cornea) মধ্য দিয়ে চোখে ঢোকে।
- ✓ Then, it passes through the **pupil**, which controls the amount of light entering the eye. এরপর এটি পিউপিল (Pupil) এর ভেতর দিয়ে যায়, যা আলো নিয়ন্ত্রণ করে।
- ✓ The **lens** focuses the light onto the **retina**. লেন্স (Lens) আলোকে ফোকাস করে রেটিনার (Retina) ওপর প্রক্ষেপণ করে।

### 2 The Retina Forms the Image 🖼 রেটিনা (Retina) ছবিটি তৈরি করে

- ✓ The **retina** is the black layer at the back of the eye, where the image is formed. রেটিনা হলো চোখের পেছনের কালো পর্দা, যেখানে ছবির প্রতিচ্ছবি পড়ে।
- ✓ It consists of multiple layers of cells, similar to a camera film. এটি একাধিক স্তরের কোষ দিয়ে তৈরি, যা ক্যামেরার ফিল্মের মতো কাজ করে।

### 3 Light is Converted into Signals 🔍 আলো থেকে সংকেত তৈরি হয়

- ✓ The retina contains two types of **light-sensitive cells**: রেটিনার ভেতরে দুই ধরনের আলো সংবেদনশীল কোষ থাকে—
  - **Rod cells**: Help in low-light or night vision. রড কোষ (Rod Cells): কম আলো বা রাতে দেখতে সাহায্য করে।
  - **Cone cells**: Help in detecting colors. কোন কোষ (Cone Cells): বিভিন্ন রঙ চিনতে সাহায্য করে।
- ✓ These cells **convert light into electrical signals**. এই কোষগুলো আলোকে বৈদ্যুতিক সংকেতে (electrical signals) রূপান্তর করে।

## 4 The Brain Interprets the Image মন্তিক্ষ ছবিটি বোঝে

- The optic nerve sends these electrical signals to the brain. অপটিক নার্ভ (Optic Nerve) এই সংকেতকে মন্তিক্ষে পাঠায়।
- The brain processes the signals, allowing us to see a clear image. মন্তিক্ষ সংকেত বিশ্লেষণ করে, ফলে আমরা ছবি স্পষ্টভাবে দেখতে পারি।

### Easy way:

Light enters the eye → The lens focuses the light → The retina captures the image → Rod and cone cells convert it into signals → The optic nerve sends the signals to the brain → The brain interprets the signals → We see! ☺

💡 আলো চোখে ঢোকে → লেন্স ফোকাস করে → রেটিনা ছবিটি ধরে → রড ও কোন কোষ সেটিকে সংকেতে রূপান্তর করে → অপটিক নার্ভ মন্তিক্ষে পাঠায় → মন্তিক্ষ সেটি বুঝে নেয় → আমরা দেখি! ☺

### Difference Between Eye and Camera

Feature	Human Eye	Camera
Light Focus	Eye lens focuses light on the retina	Camera lens focuses light on a sensor/film
Adjust Focus	Eye muscles change lens shape	Camera lens moves forward/backward
Light Control	Iris controls light entering	Aperture controls light entering
Image Formation	Forms an upside-down image on the retina	Forms an upside-down image on film/sensor
Processing	Brain processes the image	Camera captures and stores the image
Light Sensitivity	Adjusts automatically	Needs manual ISO setting
Blind Spot	Has a blind spot, but both eyes cover it	No blind spot
Operation	Works with the brain to see and understand	Works independently to capture images

## Similarities Between Eye and Camera

Light Focus	Both focus light using a lens to form an image.
Image Formation	Both create an upside-down image (eye: retina, camera: sensor/film).
Light Control	Eye uses the iris, and the camera uses an aperture to control light.
Lens Function	Both have lenses to focus light at different distances.
Sensitivity to Light	Eye adjusts to brightness (pupil size changes), and cameras use ISO settings.
Storage	Eye sends images to the brain, while a camera stores them in memory.
Purpose	Both help capture and process images for recognition and memory.

5 Describe the image formation in the eye.

Ans:

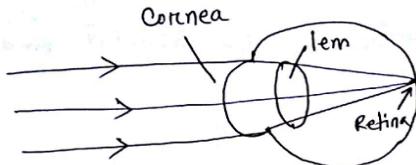


Fig: Image formation in the eye.

Referencing to the simplified diagram, ~~on the~~  
Light rays travel into the cornea and  
refracted by the cornea and the lens.  
In a normal eye, the image is formed  
on the retina and is upside down.

## Monocular vision and Binocular vision:

### **Monocular vision**

**Monocular Vision:** Monocular vision refers to the ability to perceive depth and three dimensional aspects of the environment using only one eye. It relies on the visual information captured by a single eye.

**মোনোকুলার ভিশন:** মোনোকুলার ভিশন হল একটি চোখ ব্যবহার করে গভীরতা (depth) এবং ত্রি-মাত্রিক (3D) দৃষ্টিকোণ বোঝার ক্ষমতা। এটি শুধুমাত্র এক চোখ থেকে পাওয়া দৃশ্যমান তথ্যের উপর নির্ভর করে।



## Monocular vision

### Humans and Monocular Vision:

While humans have two eyes, certain situations can reduce vision to a monocular state (e.g., covering one eye).

Monocular cues, such as perspective, relative size, and overlap, provide depth information even with one eye.

### মানুষ এবং মোনোকুলার ভিশন:

মানুষের দুটি চোখ থাকলেও, কিছু পরিস্থিতিতে দৃষ্টি মোনোকুলার অবস্থায় চলে যেতে পারে (যেমন, এক চোখ ঢেকে রাখা)।

মোনোকুলার সংকেত (Monocular Cues), যেমন দূরদৃষ্টি, আপেক্ষিক আকার এবং ওভারল্যাপ, এক চোখ দিয়েও গভীরতা বোঝার তথ্য সরবরাহ করে।

### Binocular Vision:

**Binocular Vision:** Binocular vision involves using both eyes simultaneously to create a single, unified visual perception. It enables depth perception and the ability to perceive the environment in three dimensions.

### বাইনোকুলার ভিশন:

বাইনোকুলার ভিশন হলো দুটি চোখ একসাথে ব্যবহার করে একটি একক, সুসংহত দৃশ্য তৈরি করার প্রক্রিয়া। এটি গভীরতা অনুধাবন করতে সাহায্য করে এবং পরিবেশকে ত্রিমাত্রিকভাবে (3D) দেখার সক্ষমতা প্রদান করে।

## Binocular vision



**Humans and Binocular Vision:** Humans typically have binocular vision due to the forward-facing placement of their eyes. Binocular cues, such as convergence (eye muscle movements) and binocular disparity (slight differences in images from each eye), contribute to depth perception.

### মানুষ এবং বাইনোকুলার ভিশন:

মানুষ সাধারণত বাইনোকুলার ভিশন সম্পন্ন, কারণ তাদের চোখ সামনে দিকে অবস্থিত।  
বাইনোকুলার সংকেত, যেমন কনভারজেন্স (চোখের পেশির নড়াচড়া) এবং বাইনোকুলার ডিসপ্যারিটি (দুই চোখের পাওয়া ছবির সামান্য পার্থক্য), গভীরতা অনুধাবনে সাহায্য করে।

### CCD(Charged-Coupled Device)

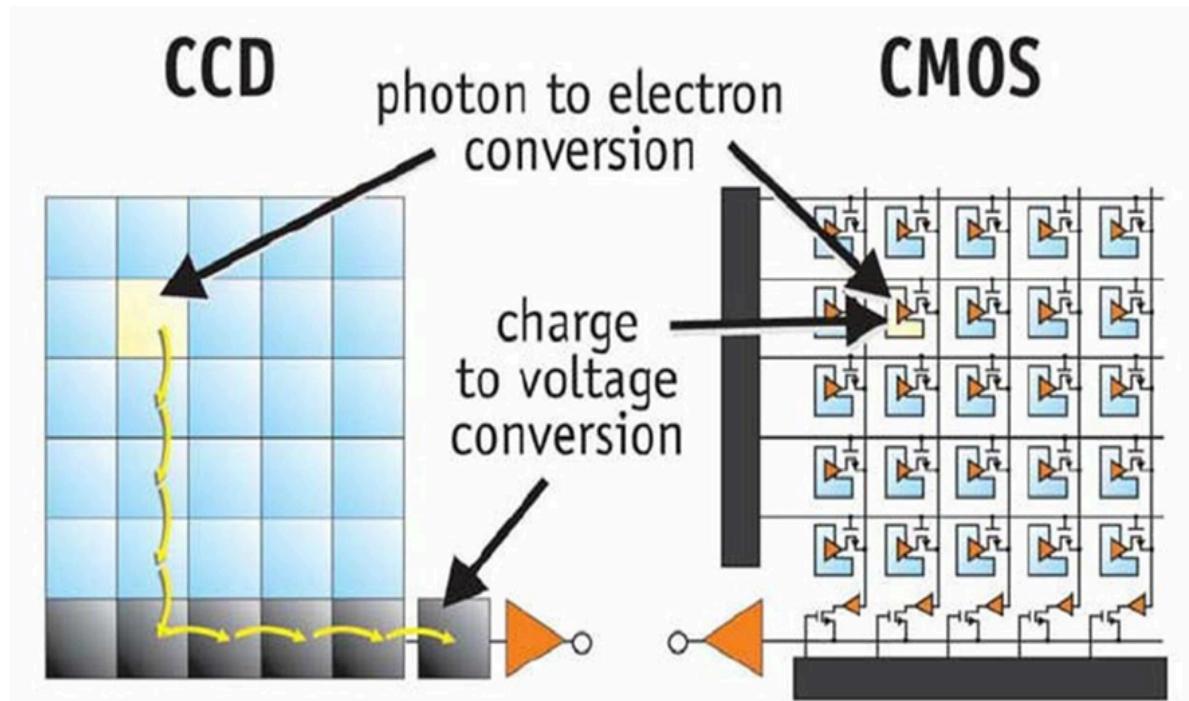
A CCD, or a Charged-Coupled Device, is a photosensitive analog device that records light as a small electrical charge in each of its pixels or cells.

CCD হলো একটি আলোক সংবেদনশীল অ্যানালগ ডিভাইস, যা প্রতিটি পিক্সেল বা সেলের মাধ্যমে আলোকে ছোট ছোট বৈদ্যুতিক চার্জ হিসেবে সংরক্ষণ করে।

### CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)

A CMOS, or Complementary Metal Oxide Semiconductor, each pixel has neighboring transistors which locally perform the analog to digital conversion.

CMOS হলো একটি প্রযুক্তি, যেখানে প্রতিটি পিক্সেলের পাশে ট্রানজিস্টর থাকে, যা স্থানীয়ভাবে অ্যানালগ থেকে ডিজিটাল রূপান্তর সম্পন্ন করে।



# CCD vs CMOS

- Create high-quality, low-noise images.
- Light sensitivity is higher
- 100 times more power
- Needs extra circuitry to convert to digital signal
- More susceptible to noise
- Light sensitivity is lower
- Consume little power
- On-chip analog-to-digital conversion

Feature	CCD	CMOS
<b>Power Consumption</b>	Higher	Lower
<b>Manufacturing Cost</b>	Generally higher	Generally lower
<b>Sensitivity to Light</b>	More sensitive	Less sensitive
<b>Pixel Quality</b>	Generally higher quality	Advancements narrowing gap
<b>Readout Speed</b>	Generally slower	Faster
<b>Integration with Electronics</b>	External components	Integrated with on-chip processing
<b>Dynamic Range</b>	Better in certain conditions	Competitive
<b>Global Shutter</b>	Available, more complex	Easier implementation
<b>Noise Levels</b>	Lower noise levels	Higher noise levels, improving
<b>Applications</b>	Professional photography, astronomy	Consumer cameras, smartphones

11) Write down the some basic relationship between pixel.

Ans:  Neighbors of pixels:

4-neighbors of P,  $N_4(P)$

diagonal neighbors of P,  $N_d(P)$

8-neighbors of P,  $N_8(P)$

Adjacency

connectivity

Regions

Boundaries.

I bharat

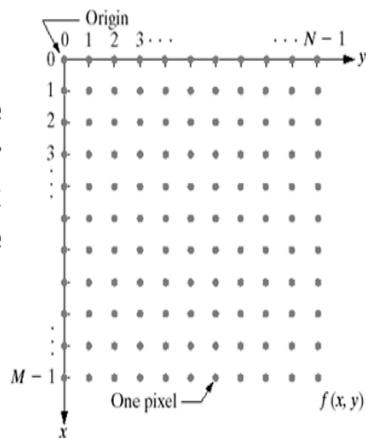
**1** Write down the difference between analog image and digital image.

Ans:	Analog Image	Digital Image
	(1) An analog image is an image represented by continuous variation in tone, such as a photograph.	(1) A digital image is a numeric representation (binary) of a two dimensional image.
	(2) continuous	(2) Matrix of pixels.
	(3) For human viewing	(3) for computer system

### Mathematical Model for Digital image

#### Mathematical model for digital image:

An image may be defined as a two-dimensional function,  $f(x, y)$ , where  $x$  and  $y$  are spatial (plane) coordinates, and the amplitude off at any pair of coordinates  $(x, y)$  is called the intensity or gray level of the image at that point. When  $x$ ,  $y$ , and the amplitude values of  $f$  are all finite, discrete quantities, we call the image a digital image.



**FIGURE 2.18**  
Coordinate convention used in this book to represent digital images.

Explain the mathematical model of an analog image. How can we convert an analog image to digital image?

## Analog Image mathematical model

### A Simple Image Model

- Illumination & reflectance components:
  - Illumination:  $i(x,y)$
  - Reflectance:  $r(x,y)$
  - $f(x,y) = i(x,y) \cdot r(x,y)$
  - $0 < i(x,y) < \infty$   
and  $0 < r(x,y) < 1$   
(from total absorption to total reflectance)

An **analog image** is formed based on two key components:

- 1 **Illumination ( $i(x, y)$ )** – The amount of light falling on an object at a point  $(x, y)$ .
- 2 **Reflectance ( $r(x, y)$ )** – The amount of light reflected from the object at point  $(x, y)$ .

The mathematical equation for an analog image is:

$$f(x, y) = i(x, y) \times r(x, y)$$

Where:

- $i(x, y)$  represents illumination, with values ranging from **0 to  $\alpha$**  (0 means no light, and  $\alpha$  means maximum possible light).
- $r(x, y)$  represents reflectance, with values between **0 and 1** (0 means total absorption, and 1 means total reflection).

#### Examples of Illumination ( $i(x, y)$ ):

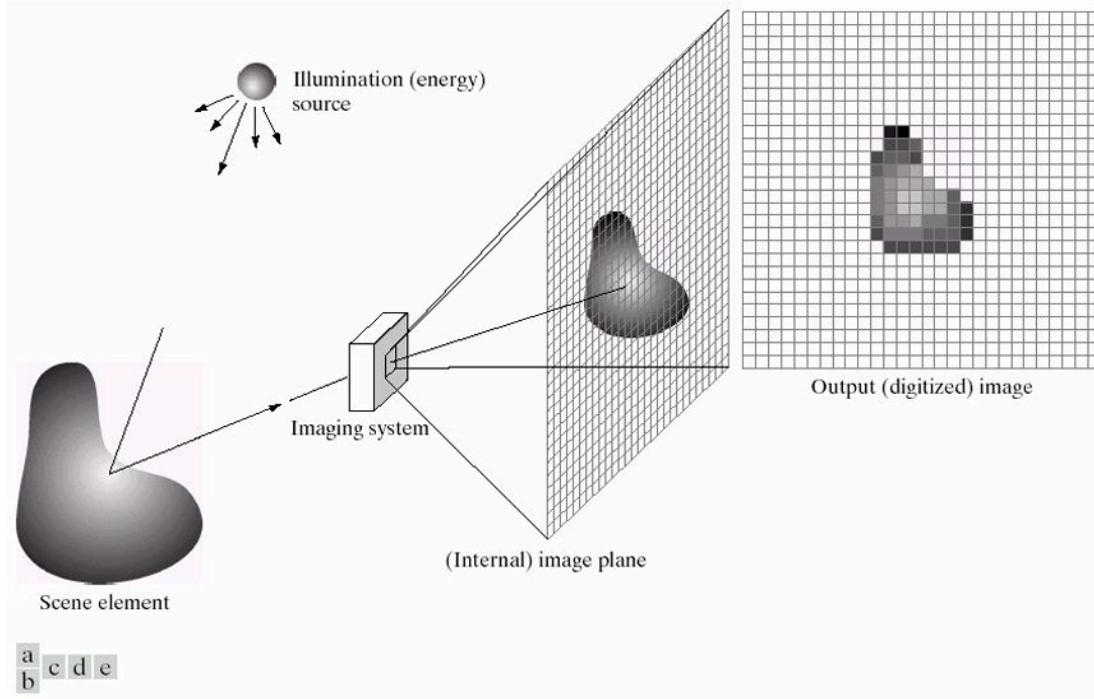
- ☀ Clear sunny day → 10,000 ft-candles
- ☁ Cloudy day → 1,000 ft-candles
- 🌙 Full moon → 0.01 ft-candles
- 💡 Office light → 100 ft-candles

#### Examples of Reflectance ( $r(x, y)$ ):

- ❤ Black velvet → 0.01 (almost no reflection)
- 🏠 Stainless steel → 0.65
- 🏠 White wall → 0.8
- ⚡ Silver-plated metal → 0.9
- ❄ Snow → 0.93 (high reflection)

This model helps in **image processing** by understanding how light interacts with objects, which is crucial for improving image contrast, brightness, and recognition in various applications.

এই গাণিতিক মডেলটি ডিজিটাল ইমেজ প্রসেসিং-এ গুরুত্বপূর্ণ কারণ এটি বোঝাতে সাহায্য করে কিভাবে আলো কোনো বস্তুর উপর পড়ে ও প্রতিফলিত হয়। এটি ইমেজের উজ্জ্বলতা, কন্ট্রাস্ট উন্নতি, এবং অবজেক্ট শনাক্তকরণ এর ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়।



**FIGURE 2.15** An example of the digital image acquisition process. (a) Energy (“illumination”) source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

④ How to convert an analog image into digital image?

Ans: Analog to digital image conversion take place  
in 3 steps –

1. Sampling

Sampling which measure the amplitude of  
the signal at equal interval.

2. Quantization

It is the process of rounding of the signal  
to the nearest finite level.

### 3. Code word generation

Finally converts the analog image into binary form.

- Digitizing the coordinate values is called sampling.
- Digitizing the amplitude values is called the quantization.

## Digital image

A digital image is a representation of a two-dimensional image as a finite set of digital values, known as picture elements or pixels.

Q8] Write down the types of acquisition devices.

Ans: There are three types of acquisition devices -

- 1) Single image sensor.
- 2) Linear sensor
- 3) Array sensor.

### **❖ Spatial Resolution:**

Spatial resolution is a measure of the smallest **discernible detail** in an image. It defines how **finely** an image is sampled, affecting the clarity and sharpness of the image.

### **❖ স্থানিক রেজোলিউশন (Spatial Resolution):**

স্থানিক রেজোলিউশন হল ছবির মধ্যে সবচেয়ে ছোট পরিচিত বিস্তারিত অংশ পরিমাপ করার একটি উপায়। এটি নির্ধারণ করে ছবিটি কতটা সৃষ্টিভাবে নমুনা নেওয়া হয়েছে, যা ছবির স্বচ্ছতা ও তীক্ষ্ণতা প্রভাবিত করে।

### **❖ Intensity Resolution:**

Intensity resolution refers to the smallest **discernible change** in the **intensity level** of an image. It determines how many different brightness levels can be represented in the image.

### **❖ তীব্রতা রেজোলিউশন (Intensity Resolution):**

তীব্রতা রেজোলিউশন হল ছবির উজ্জ্বলতার মাত্রার স্ফুরিত পরিবর্তন নির্ধারণের ক্ষমতা। এটি নির্ধারণ করে ছবিতে কতগুলো বিভিন্ন উজ্জ্বলতার স্তর উপস্থাপন করা যেতে পারে।

Q3] what is image interpolation?

Ans: - Image interpolation is a basic tool used in tasks such as zooming, shrinking, rotating and geometric corrections.

Image interpolation is about digital to Analog conversion.

**Discuss the effects of reducing the spatial resolution of a digital image and effects of varying the number of intensity levels in a digital image. Give necessary example.**

## **Effects of Reducing Spatial Resolution & Intensity Levels in a Digital Image:**

### **1. Effects of Reducing Spatial Resolution:**

- **Loss of Detail:** Fine details disappear as pixels are reduced.
- **Blurry Appearance:** The image looks pixelated or unclear.
- **Aliasing Artifacts:** Jagged edges or unwanted patterns appear.
- **Limited Enlargement:** Low-resolution images lose quality when enlarged.  
    📌 **Example:** A  $3000 \times 2000$  pixel image reduced to  $1500 \times 1000$  pixels loses detail in textures like grass and tree leaves.

### **2. Effects of Varying Intensity Levels:**

- **Loss of Color Gradient:** Abrupt transitions appear instead of smooth shading.
- **Posterization:** Gradients turn into harsh color bands.
- **Reduced Dynamic Range:** Brightness variations become less visible.
- **Loss of Contrast:** Image appears dull or flat.  
    📌 **Example:** A grayscale image with 256 levels reduced to 64 levels shows visible banding in smooth areas like the sky.

Both reducing spatial resolution and intensity levels degrade image quality, causing loss of detail, sharpness, and natural appearance.

## **How gray level slicing enhance the image?**

Gray level slicing is a technique used in image processing to enhance specific features or regions of interest within an image by manipulating the intensity levels of pixels. It involves selectively highlighting or isolating certain intensity ranges while suppressing others.

Enhancement with gray level slicing works as follows:

- 1. Selecting a range of intensity levels:** A specific intensity range is chosen to enhance desired features.
- 2. Mapping intensity levels:** Intensities within the range are increased, while others remain unchanged or reduced.
- 3. Output image generation:** The modified intensities create an image where the targeted features stand out.

