



2110433 Computer Vision

Image Formation

Thanarat H. Chalidabhongse
Chula PIC Lab,
Dept. of Computer Engineering
Chulalongkorn University



Today's Outline

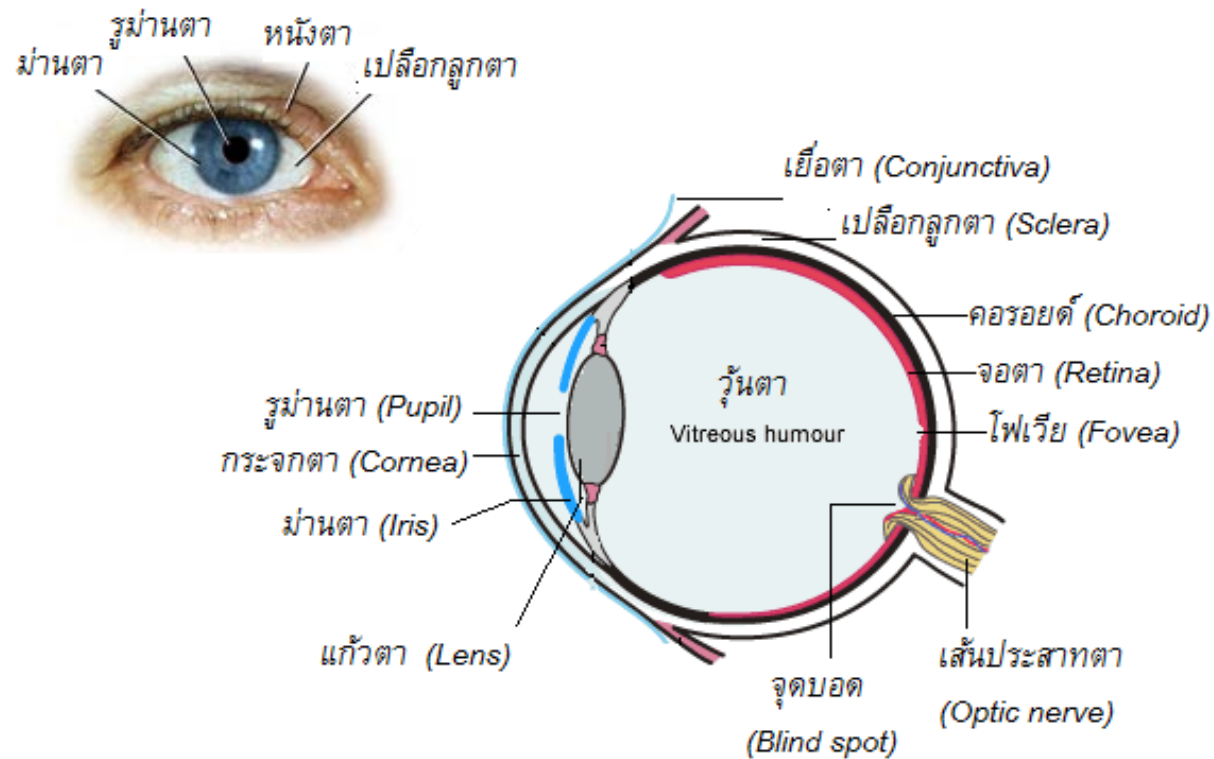
- Image formation
 - Human vision
 - Digital image formation

Human Vision

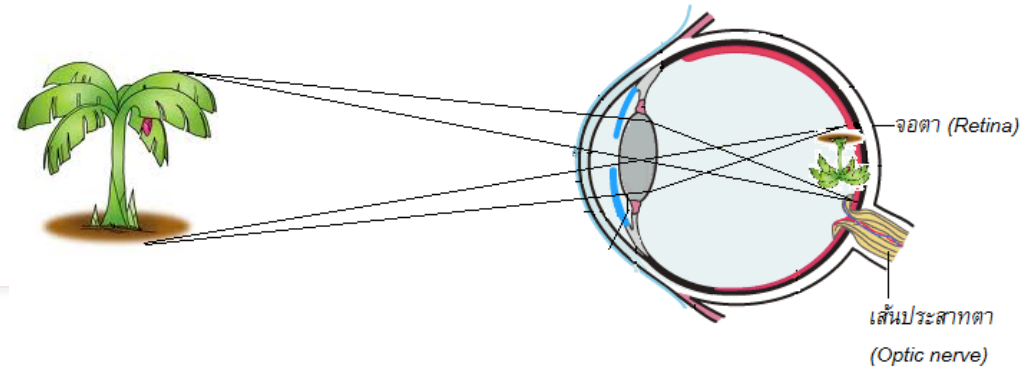
- Seamless
- Complicated process
- Eye and brain work together



Human Vision



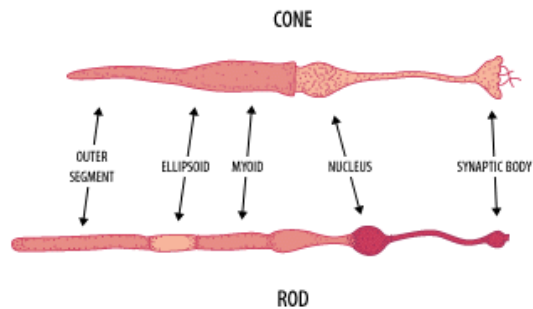
Human Vision



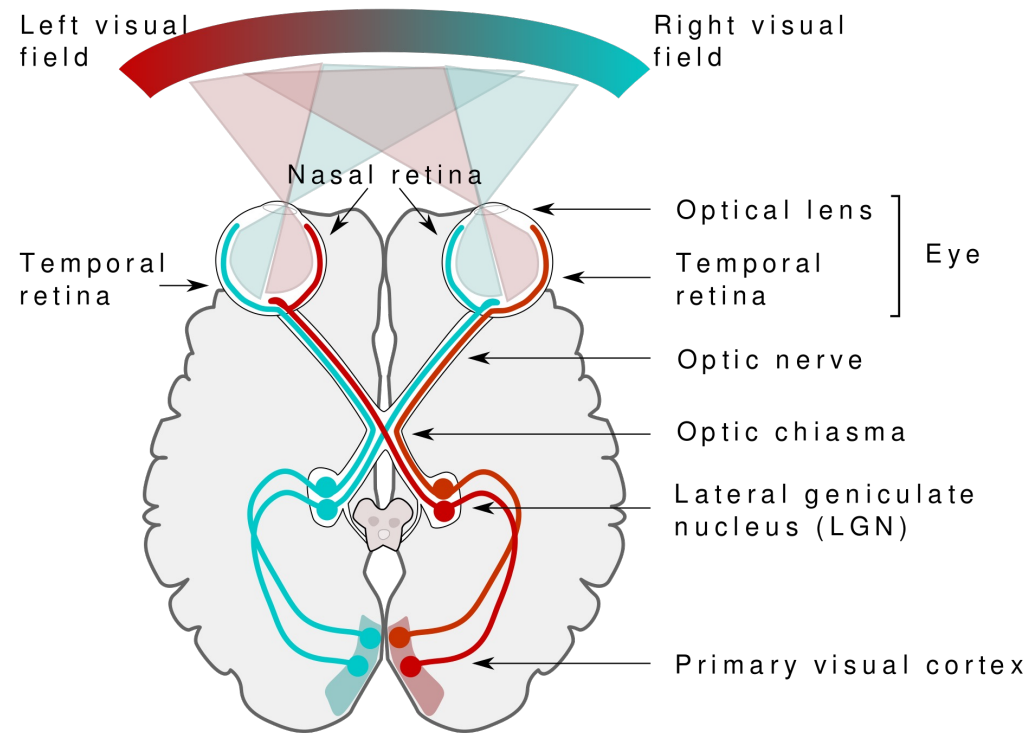
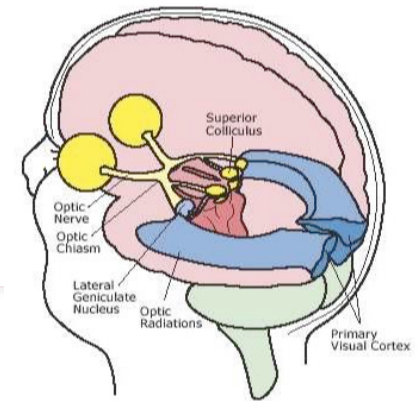
- แสงผ่านเข้ารูม่านตา ผ่านเลนส์ ตกลงที่จอตา เป็นภาพหัวกลับ
- เซลล์รับแสง (photoreceptor cell) จะเปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณประสาท ส่งไปยังสมอง
- สมองทำหน้าที่ประมวลผล แปลงเป็นภาพหัวตั้งเหมือนวัตถุจริง

Human Vision

- ในจอตามีเซลล์ที่ทำหน้าที่รับแสง (photoreceptor cell) ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณประสาทส่งไปยังสมอง
 - เซลล์รูปกรวย (cone cell) > *photopic* (bright–light vision)
 - เซลล์รูปแท่ง (rod cell) > *scotopic* (dim–light vision)



Human Vision





Hand-on : หาจุดบอด

1. ทำเครื่องหมายจุดกลมทางซ้ายและกากบาททางขวาบนกระดาษขาว ดังรูป
2. ใช้มือซ้ายถือกระดาษเหยียดแขนออกไปจนสุด
3. ใช้มือขวาปิดตาขวา
4. เพ่งดูกากบาทด้วยตาซ้าย โดยไม่ขำเล็งดูจุดกลม
5. เลื่อนกระดาษให้ใกล้เข้ามาเรื่อย ๆ สังเกตภาพจุดกลมว่าเปลี่ยนแปลงหรือไม่



ชวนคิด : ทำไม

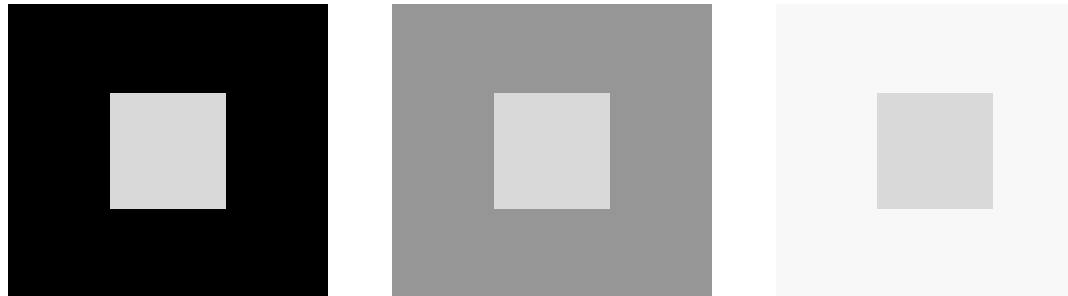


- ☞ เราไม่เห็นบริเวณจุดบอดเป็นรูดำ ๆ
- ☞ ยามปกติเราไม่สังเกตเห็นจุดบอด
- ☞ เราจึงเห็นภาพที่มีสีสันและชัดเจน เฉพาะบริเวณกลางภาพที่เราโฟกัส ส่วนด้านข้างรอบ ๆ จะเห็นภาพที่มีสีสันและขอบไม่ค่อยชัด

Human Vision Phenomena



- Simultaneous contrast



Human Vision Phenomena



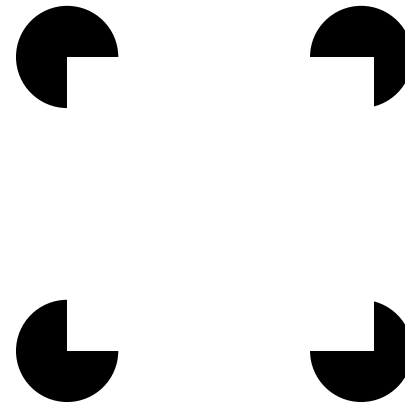
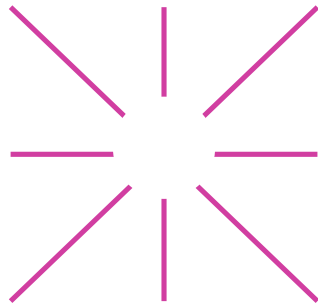
- Simultaneous contrast



Human Vision Phenomena



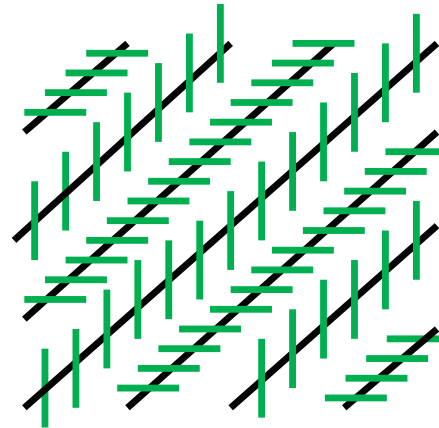
- Optical illusion
 - Eyes fill in non-existing information



Human Vision Phenomena



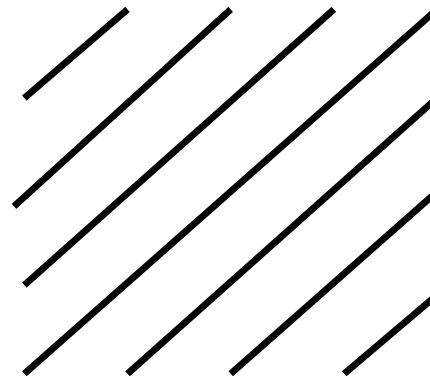
- Optical illusion
 - Eyes wrongly perceive geometric properties of objects



Human Vision Phenomena

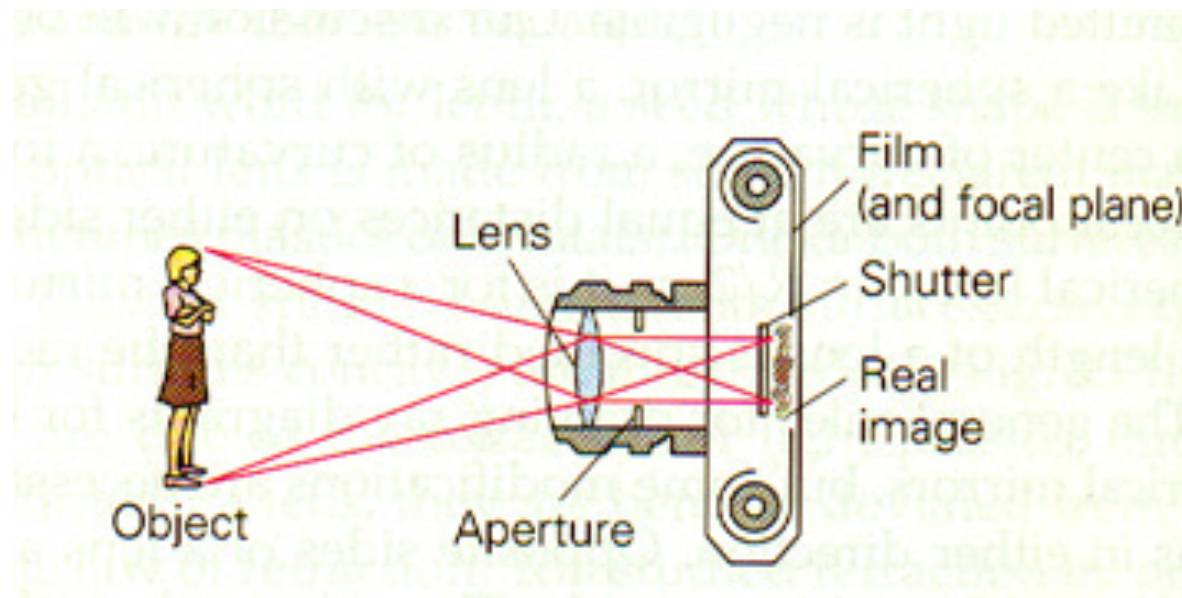


- Optical illusion
 - Eyes wrongly perceive geometric properties of objects



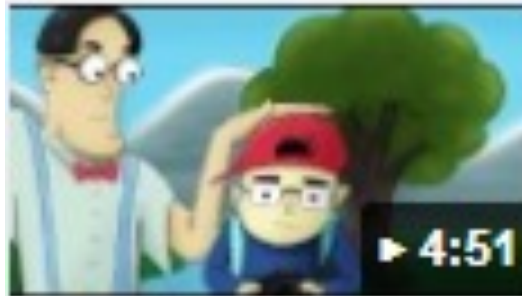
Digital Image Formation

- How camera works



Digital Image Formation

- How camera works



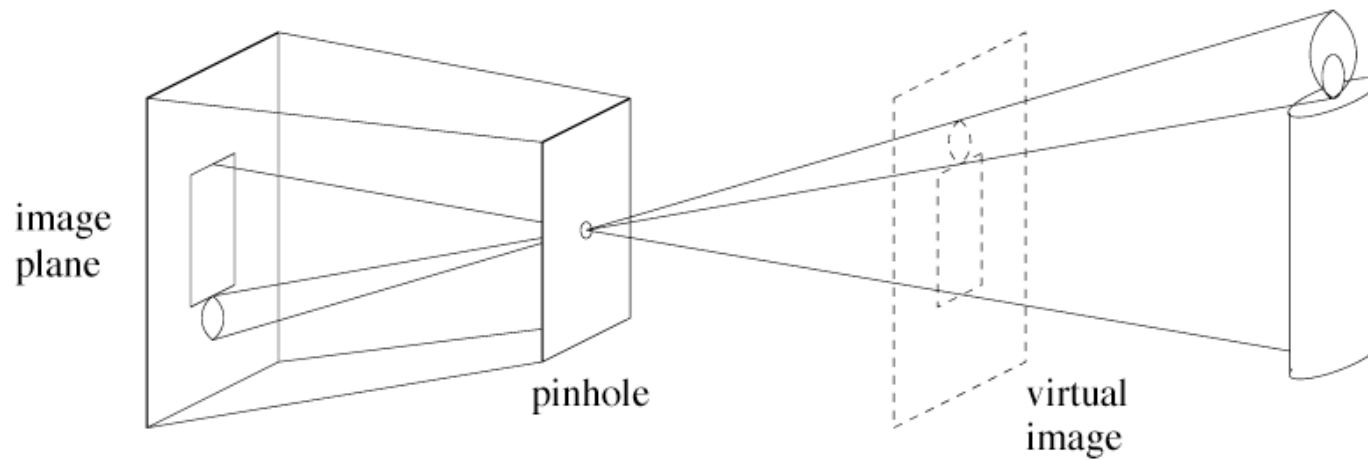
<https://www.youtube.com/watch?v=BN97LaWLF0>

Digital Image Formation

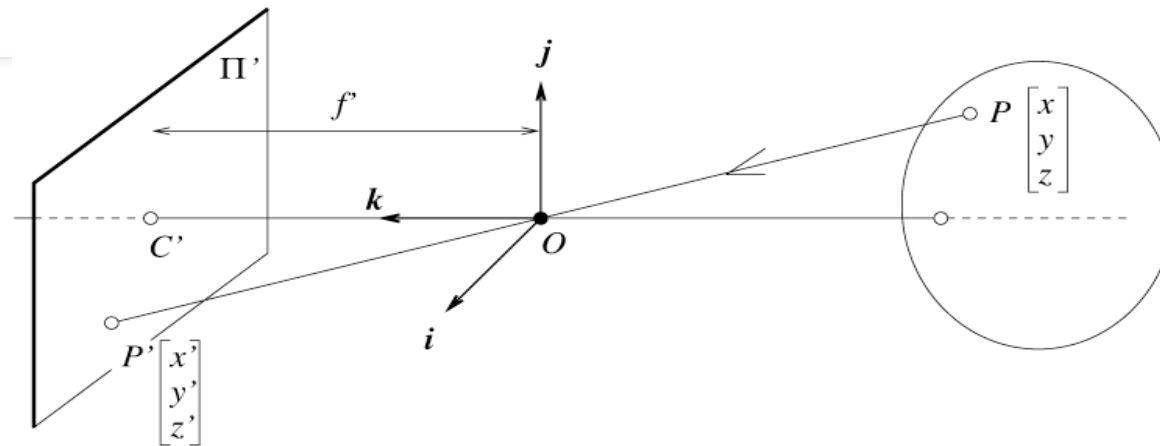
- ด้านเรขาคณิต (Image geometry)
 - ว่าด้วยการคำนวณหาตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ในโลกจริง 3 มิติ ว่าจะเป็นจุดใดบนภาพ 2 มิติ
- ด้านแสงสี (Image radiometry)
 - ว่าด้วยการคำนวณความสว่างและสีของจุดต่าง ๆ ในโลกจริง 3 มิติ ว่าจะมีความสว่างและสีเป็นอย่างไรบนภาพ 2 มิติ

Image Geometry

- กล้องรูเข็ม (Pinhole camera)



Perspective Projection



- Cartesian coordinates:

- We have, by similar triangles, that $[x, y, z] \rightarrow \left[f \frac{x}{z}, f \frac{y}{z}, -f \right]$

- Ignore the third coordinate, and get

$$[x, y, z] \rightarrow \left[f \frac{x}{z}, f \frac{y}{z} \right]$$

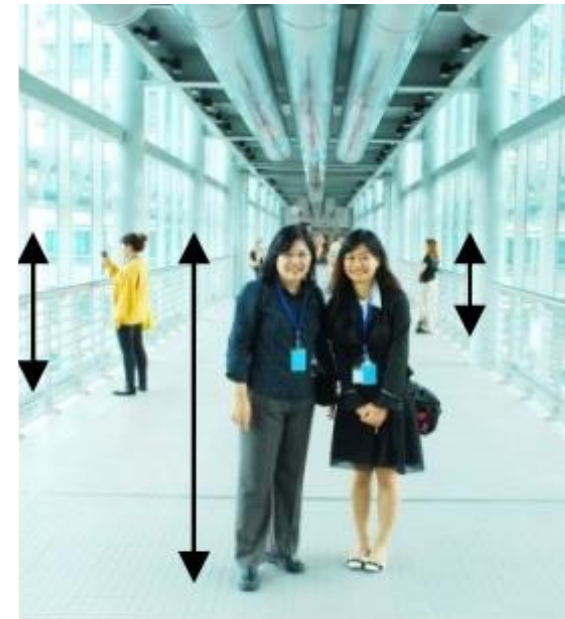
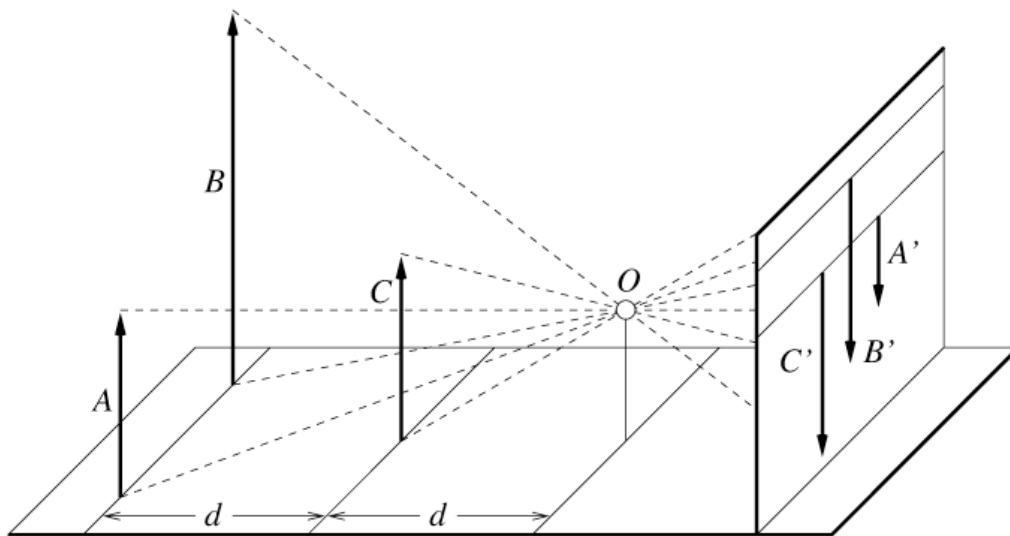
Perspective Projection

- Homogenous coordinates:
 - Turn previous expression into HC's

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{pmatrix}$$

Perspective Projection

- Distance objects are smaller

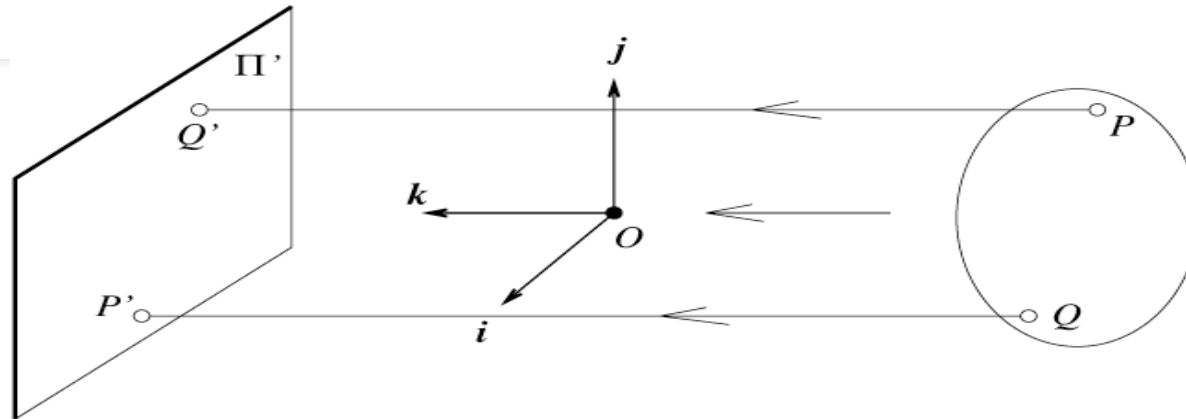


Perspective Projection

- Vanishing point



Orthographic Projection



- The projection **matrix** for orthographic projection

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{pmatrix}$$

Orthographic & Perspective Projections

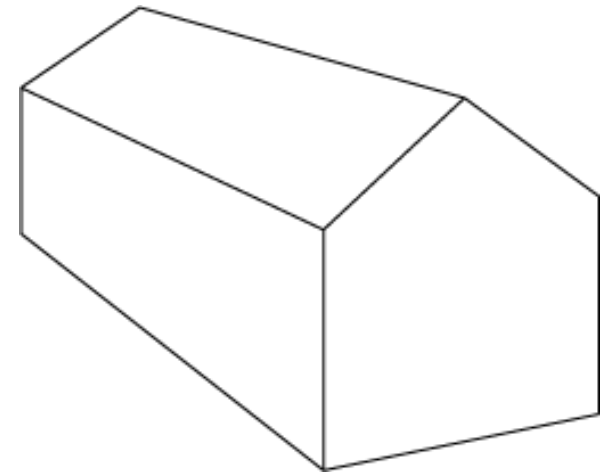
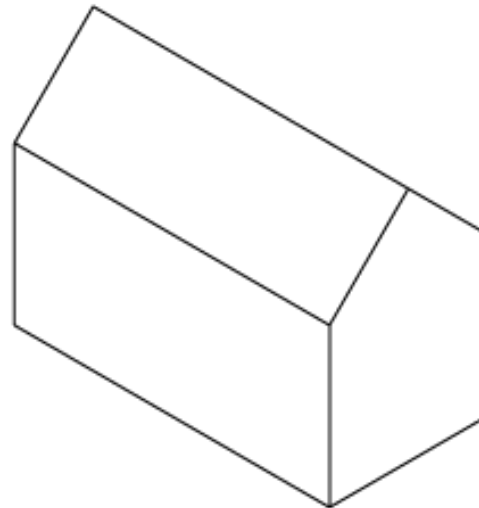
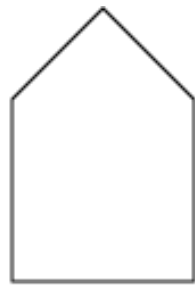
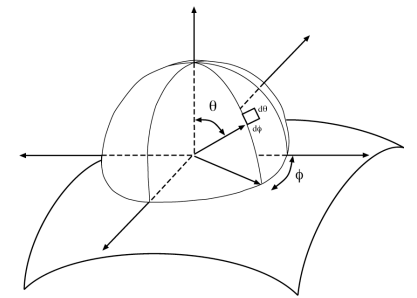
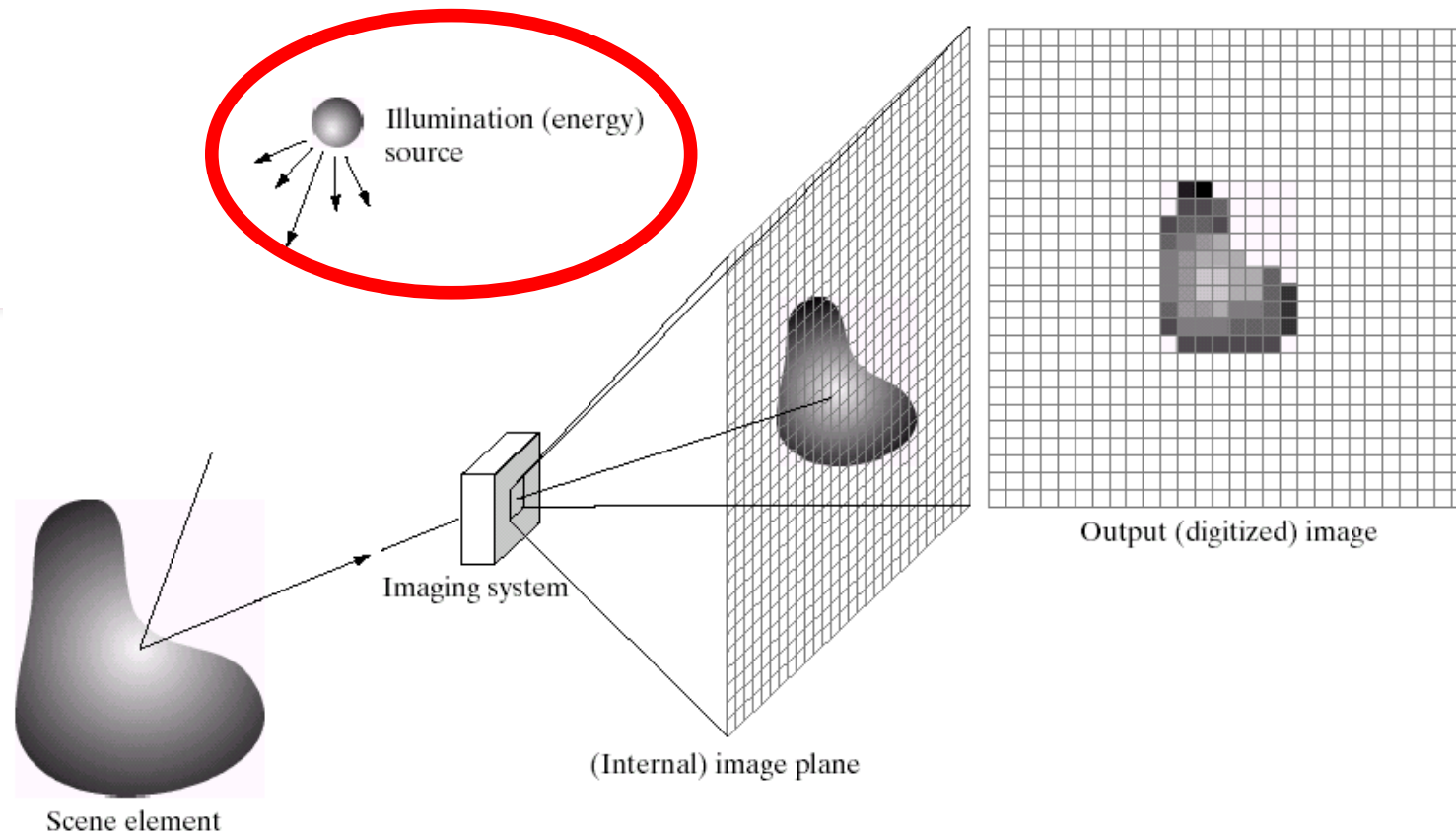


Image Radiometry

- How “bright” and “colored” will surfaces be?
- What is “brightness”?
 - measuring light
 - interactions between light and surfaces

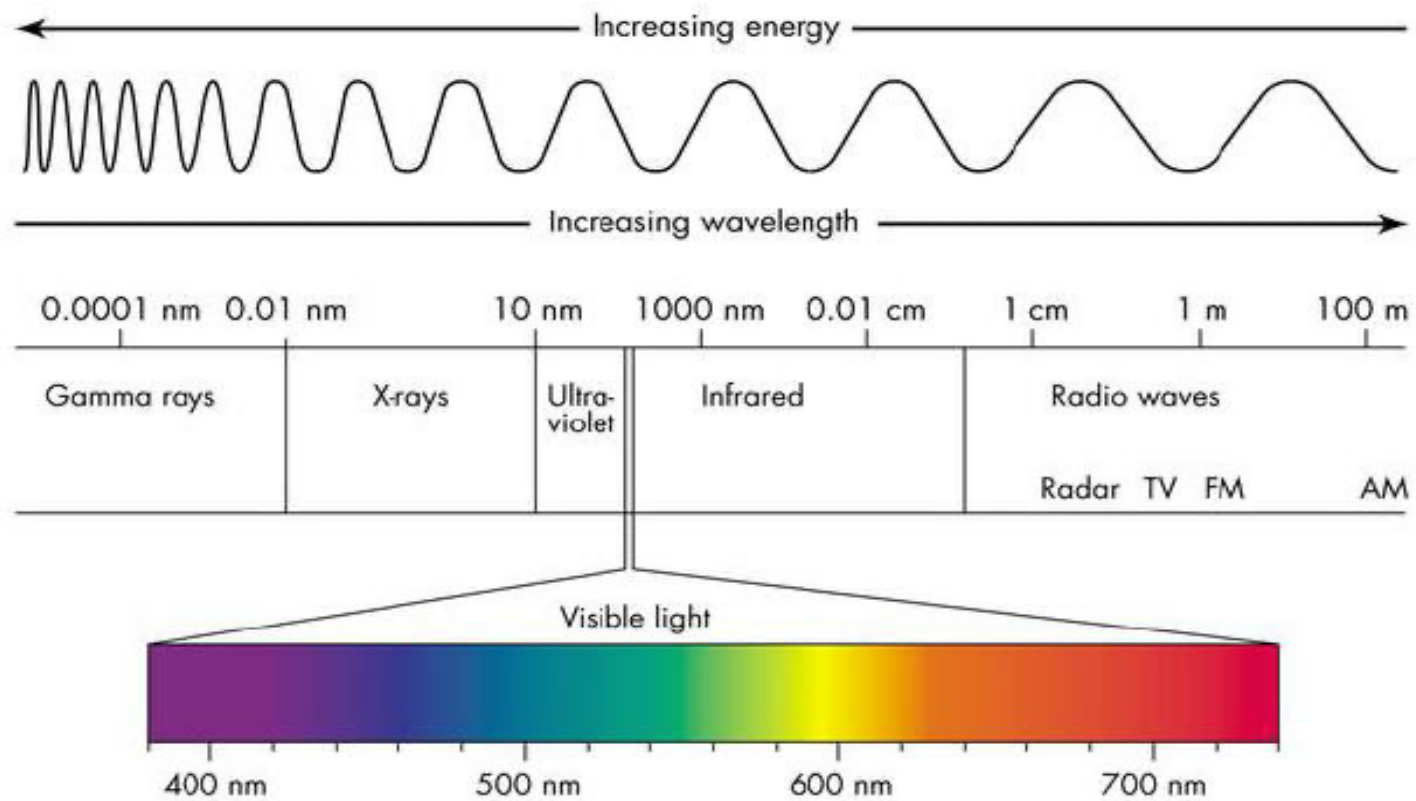




a b c d e

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.

แสงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EM)



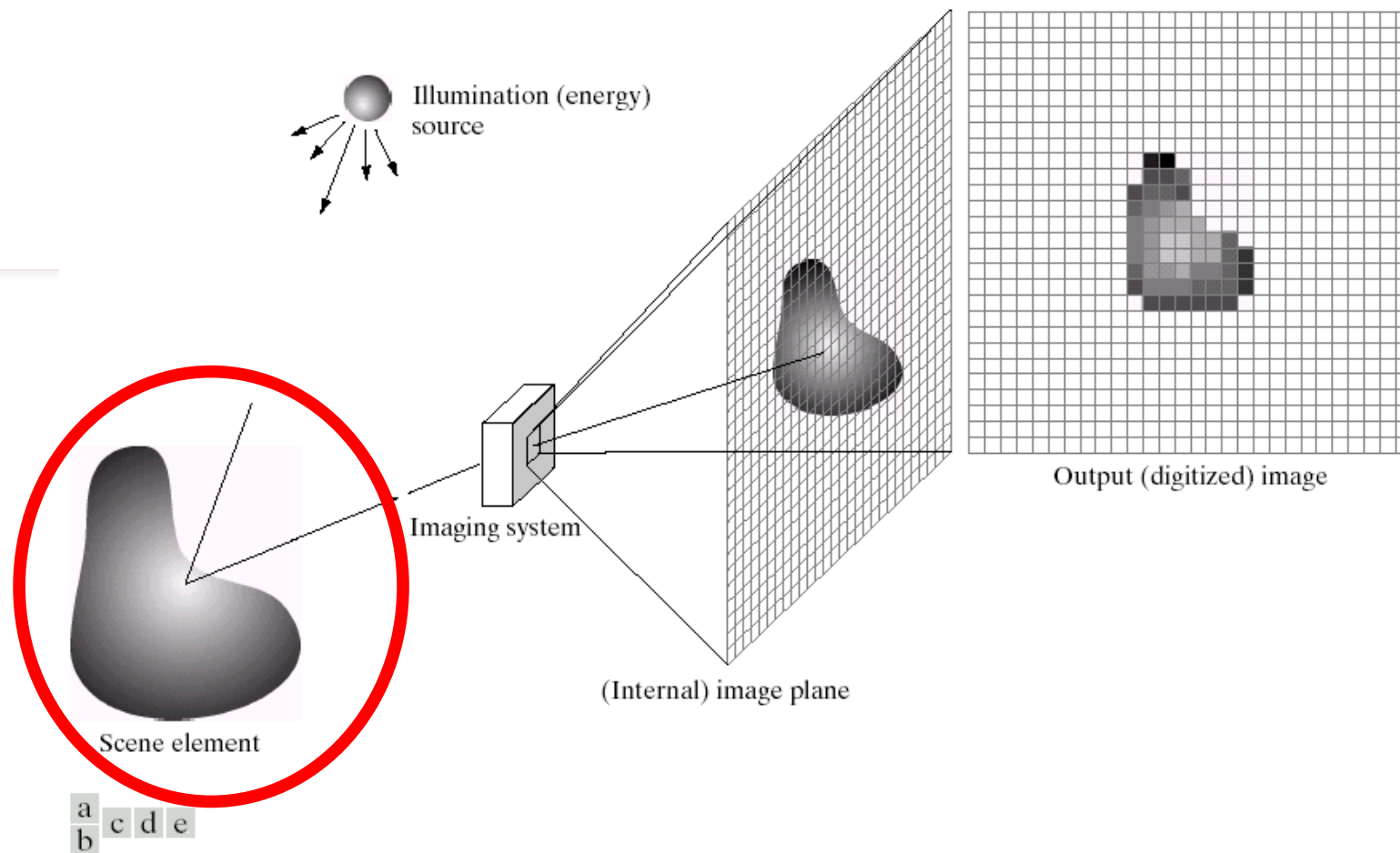
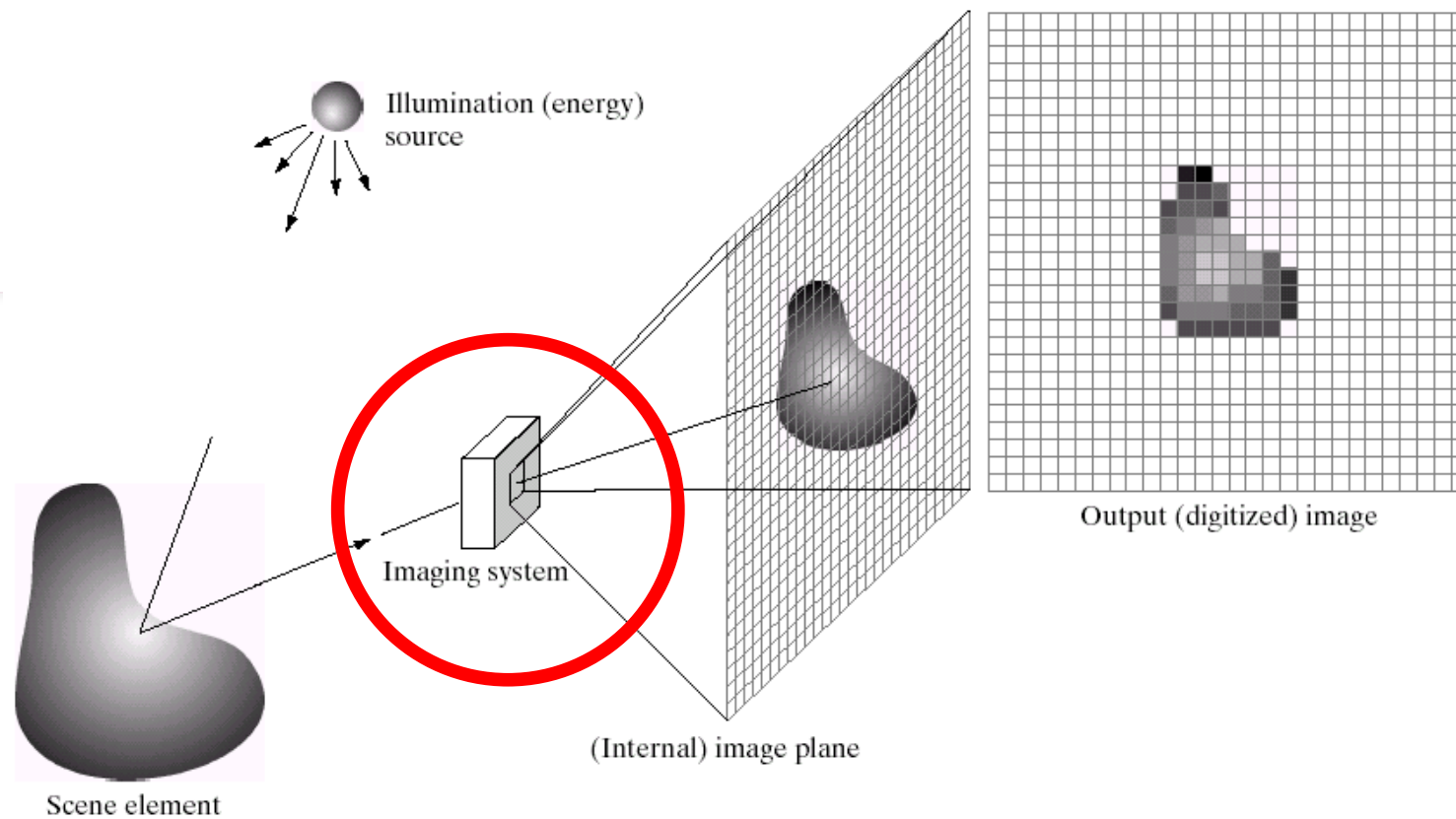


FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy (“illumination”) source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

Light and Surface

- เมื่อแสงตกกระทบผิววัตถุ:
 - ถูกดูดกลืน (absorbed)
 - ส่งผ่าน (transmitted)
 - สะท้อน (reflected)
 - กระจาย (scattered)



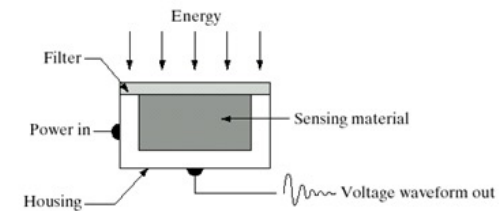
a b c d e

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.

Image Sensing and Acquisition

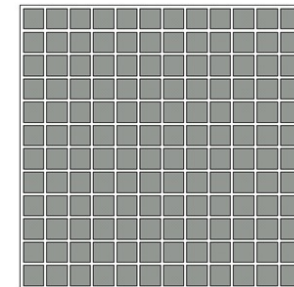
- Image sensor

- ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงให้เป็นกระแสไฟฟ้า



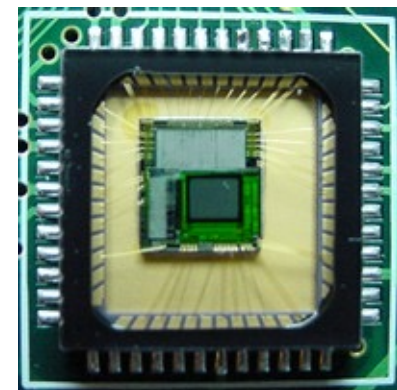
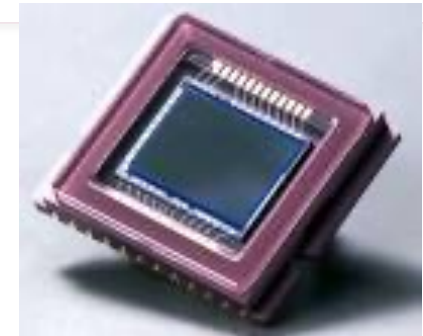
- Three principal sensor arrangements

- Single imaging sensor
 - Line sensor
 - Array sensor

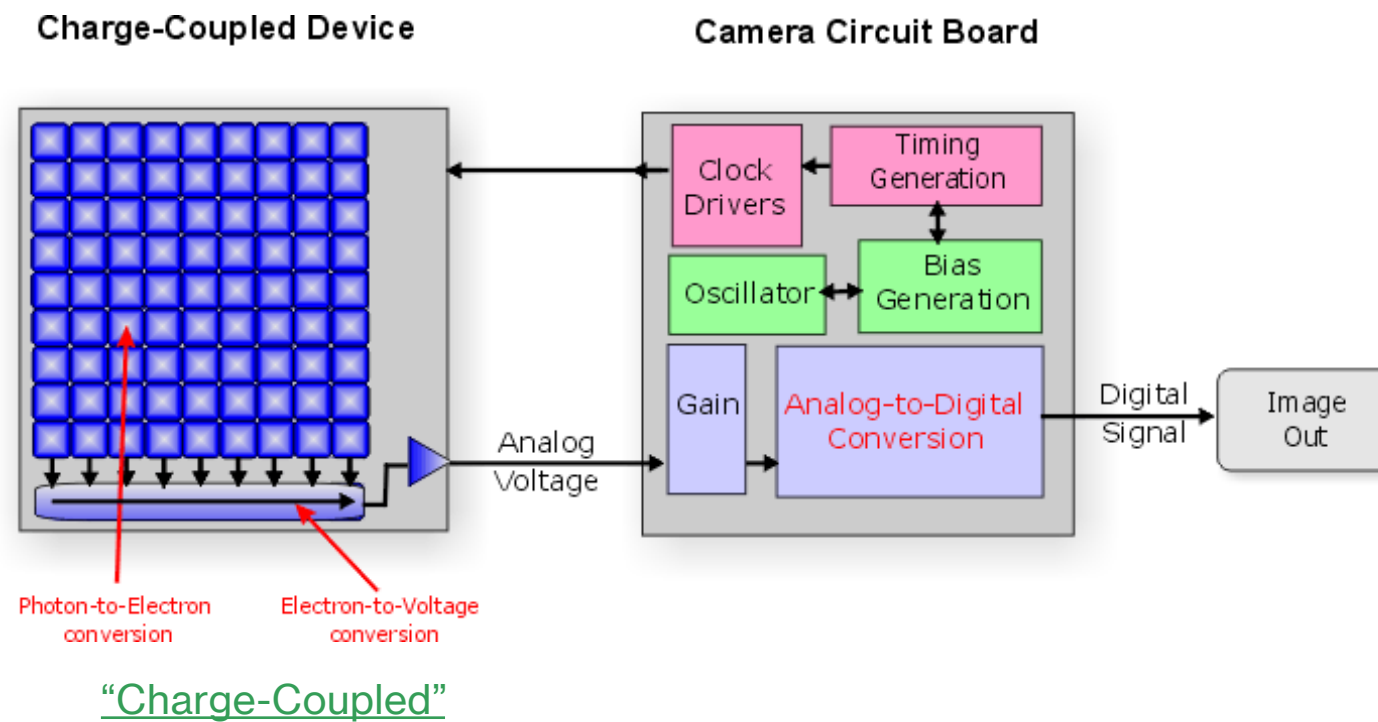


Array Sensors

- **CCD** (Charge Coupled Device)
 - More pixels and work better in low light.
 - More expensive and use a lot of power.
- **CMOS** (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
 - Lower resolution, use less power and do not work well in low light.
 - Inexpensive to manufacture



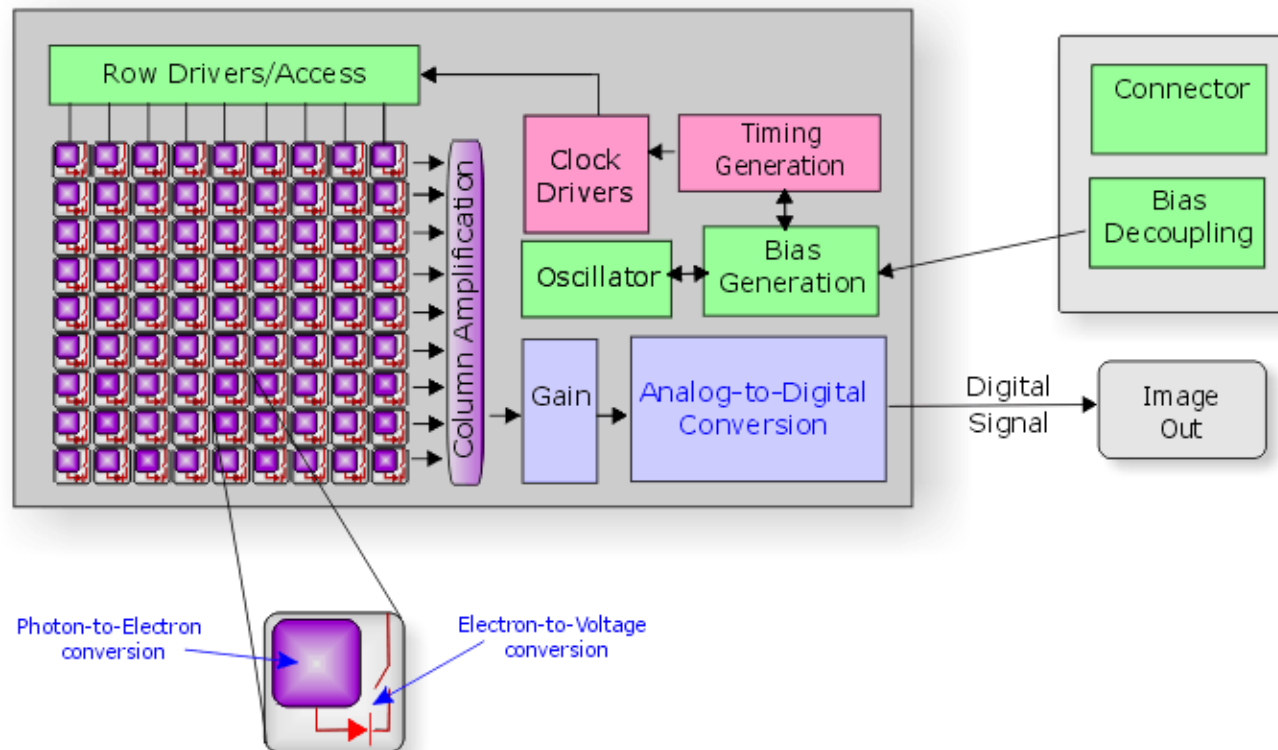
CCD



CMOS

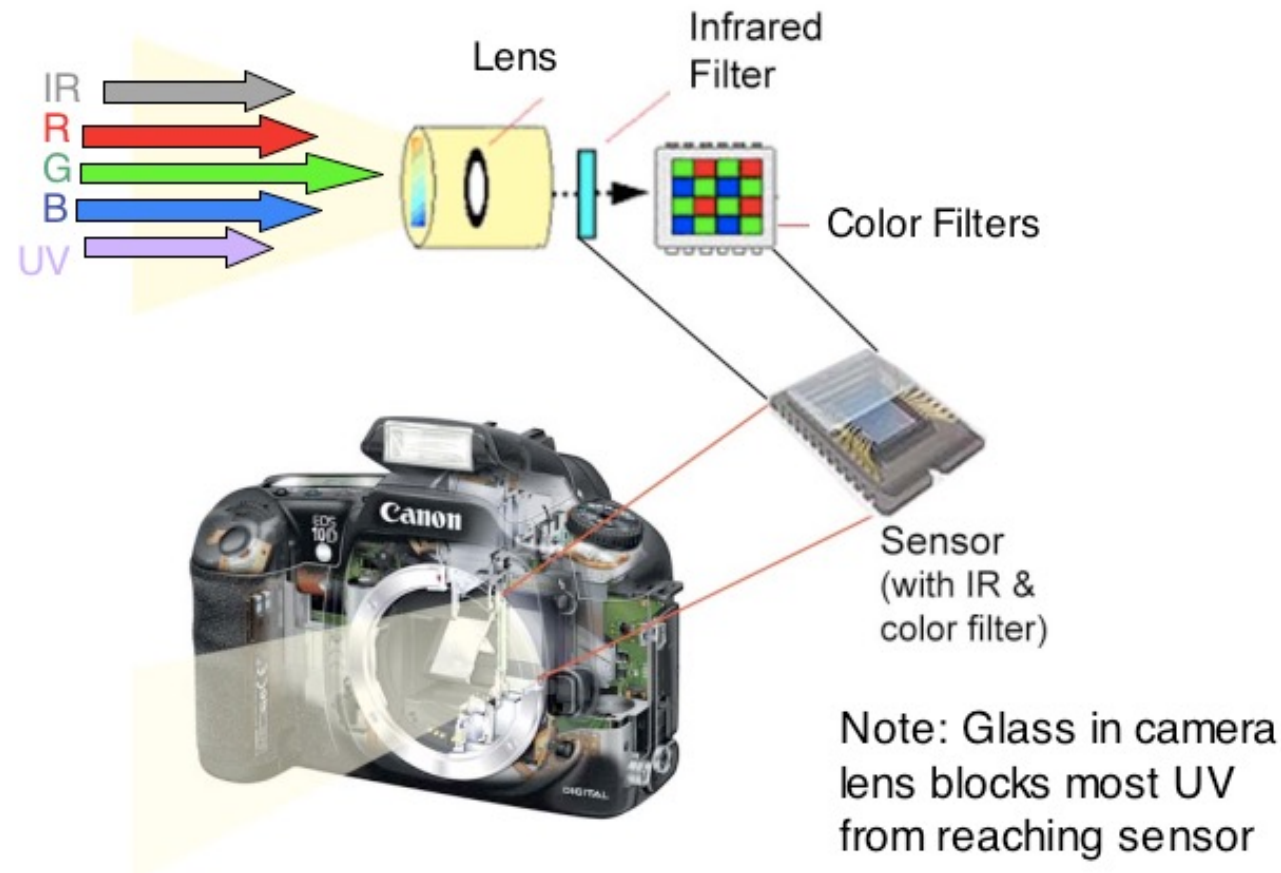
Complementary Metal Oxide Semiconductor Device

Camera Circuit Board

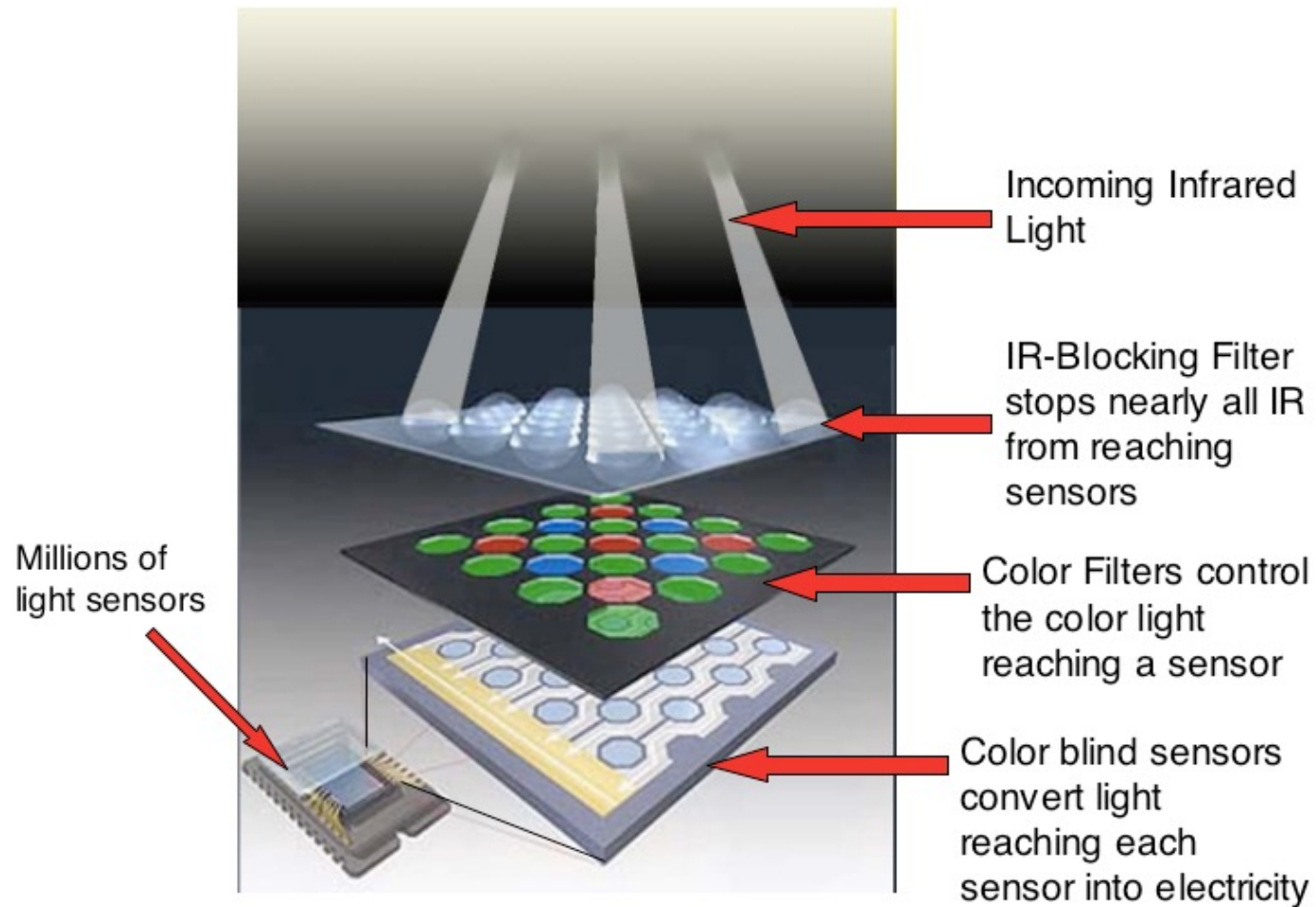


Inside the Digital Camera

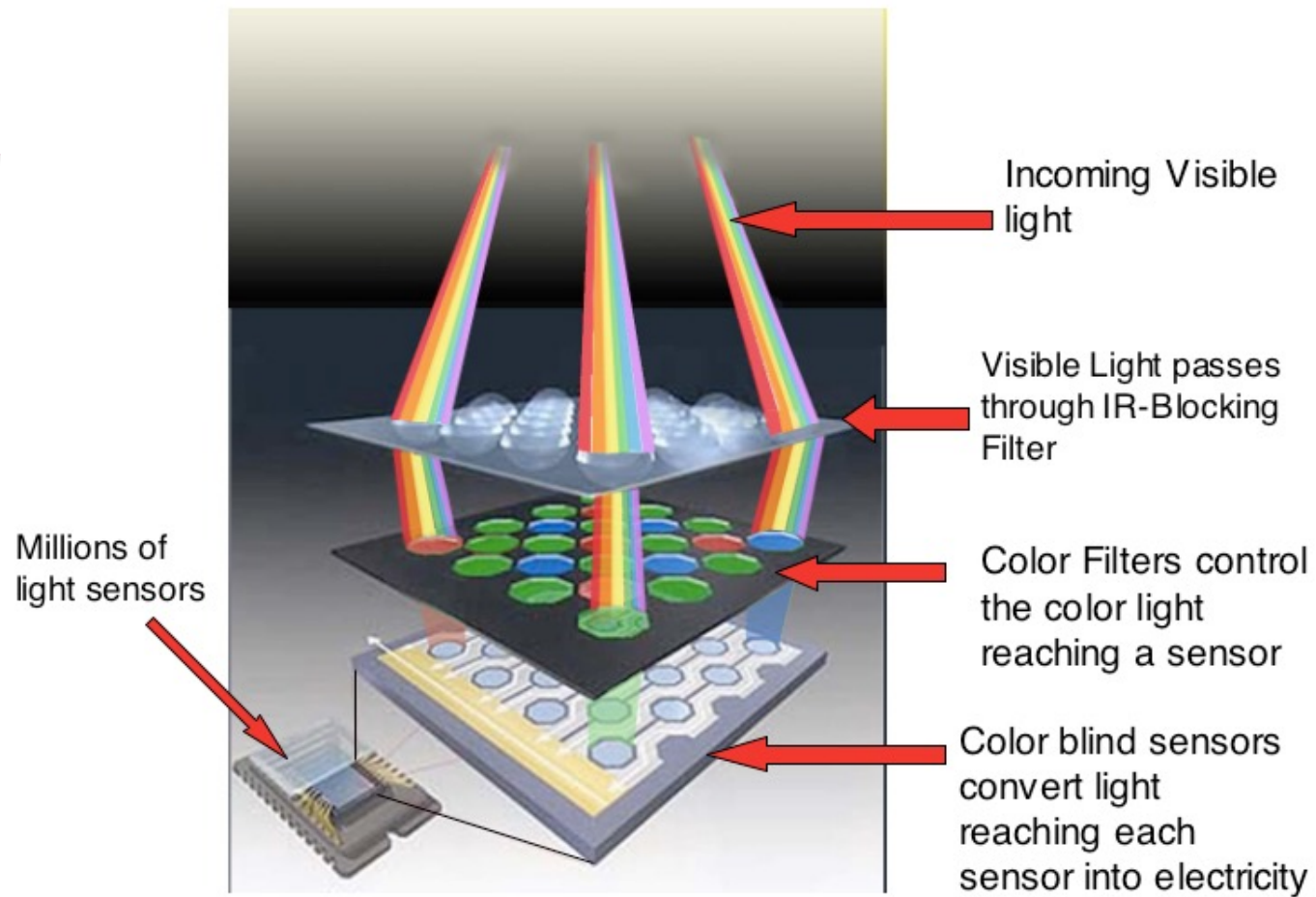
How does it detect light?



IR Inside the Camera



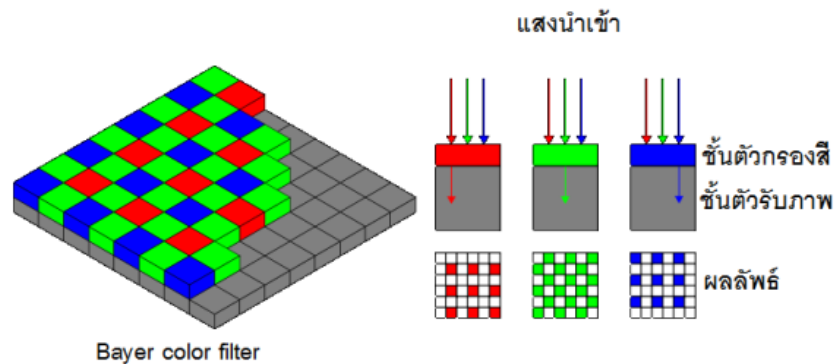
RGB Inside the Camera





1CCD vs 3CCD

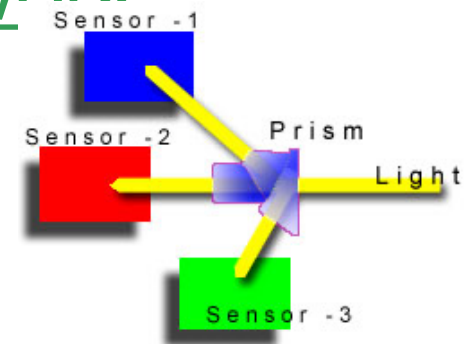
• !



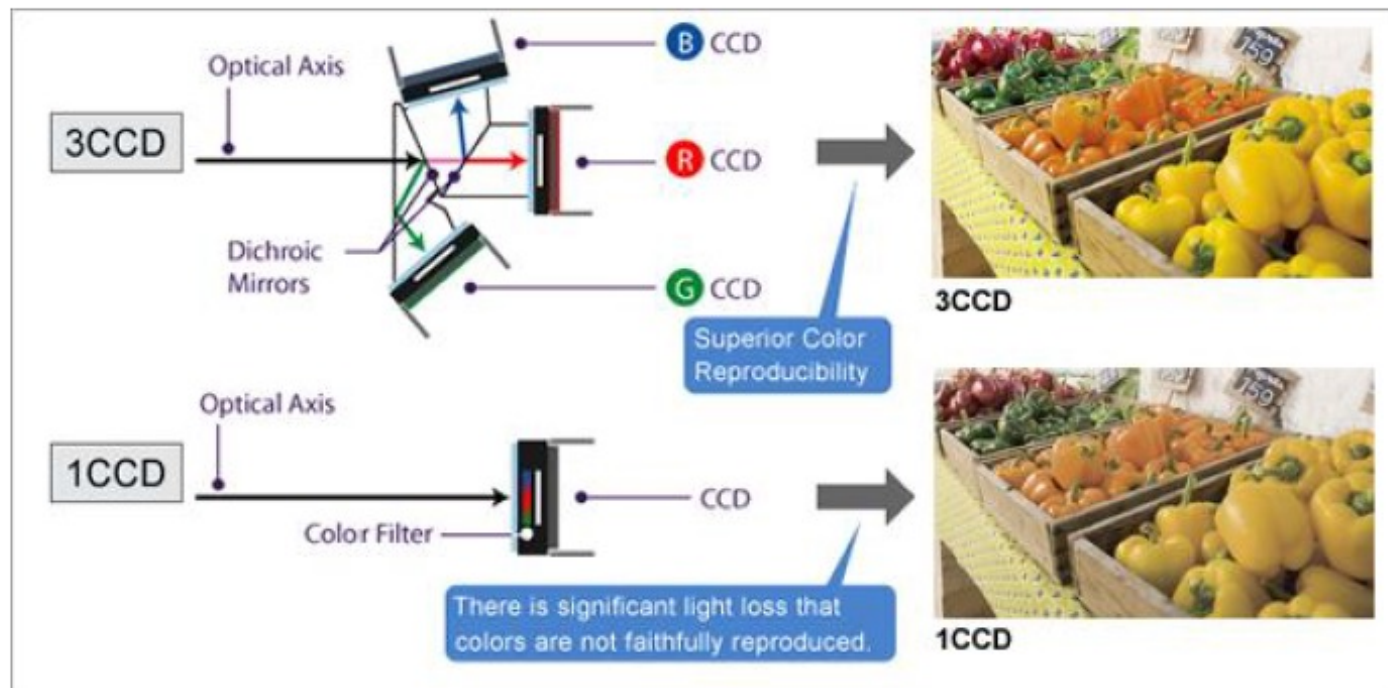
รูปที่ 2.15 ตัวกรองสีแบบเบเยอร์

ที่มาของภาพ: [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/BAYER_FILTER](https://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter)

at work

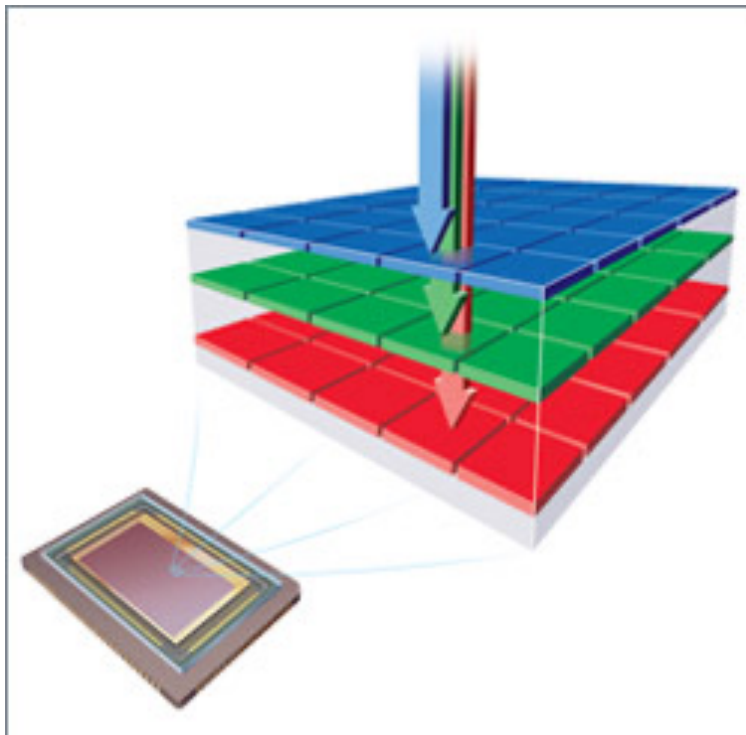


1CCD vs 3CCD



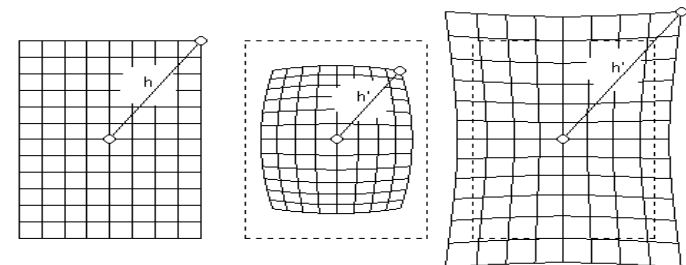
รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบกล้องแบบ 3 CCD และ 1 CCD ให้คุณภาพสีที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ที่มาของภาพ: [HTTP://WWW.PANASONIC-LA.COM](http://www.panasonic-la.com)

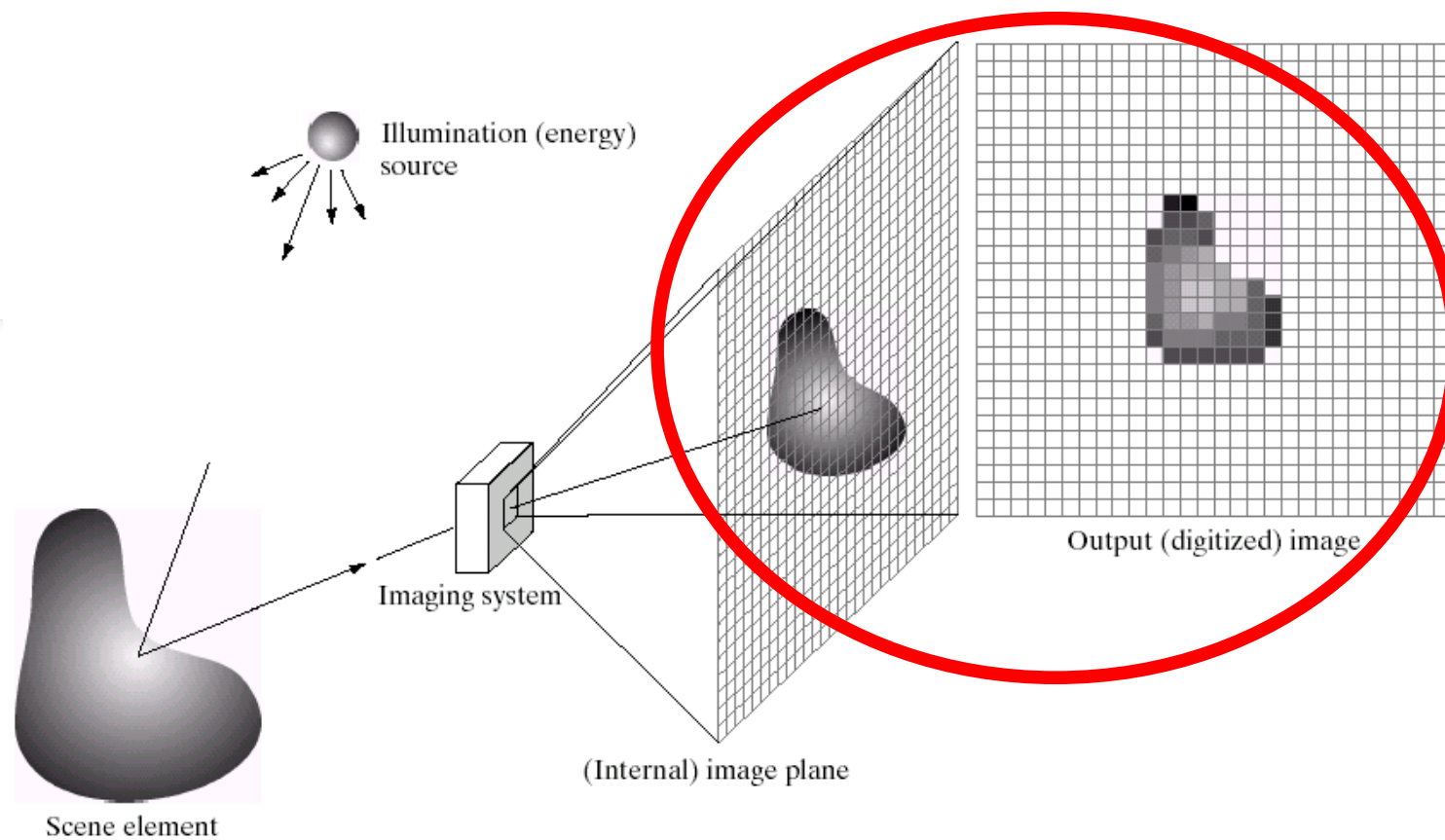
Fovean X3 Direct Image Sensor



Distortions

- Chromatic aberration
 - แสงในแต่ละย่านความถี่หักเหด้วยมุมที่ต่างกัน
 - Machines: coat the lens
 - Humans: live with it
- Scattering at the lens surface
 - แสงบางส่วนที่ตกกระทบเลนส์สะท้อนออก
 - Machines: coat the lens, interior
 - Humans: live with it
- Geometric distortion
 - Pincushion/Barrel distortion, etc.



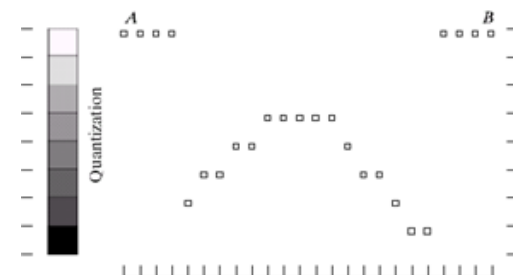
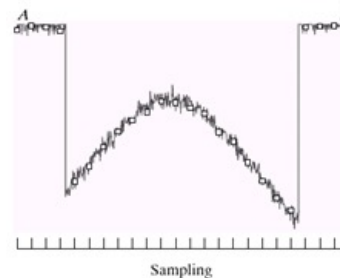
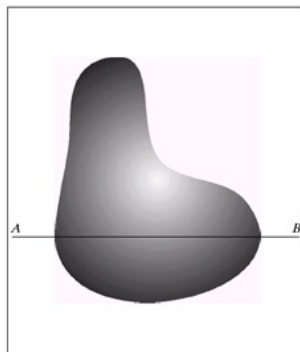


a b c d e

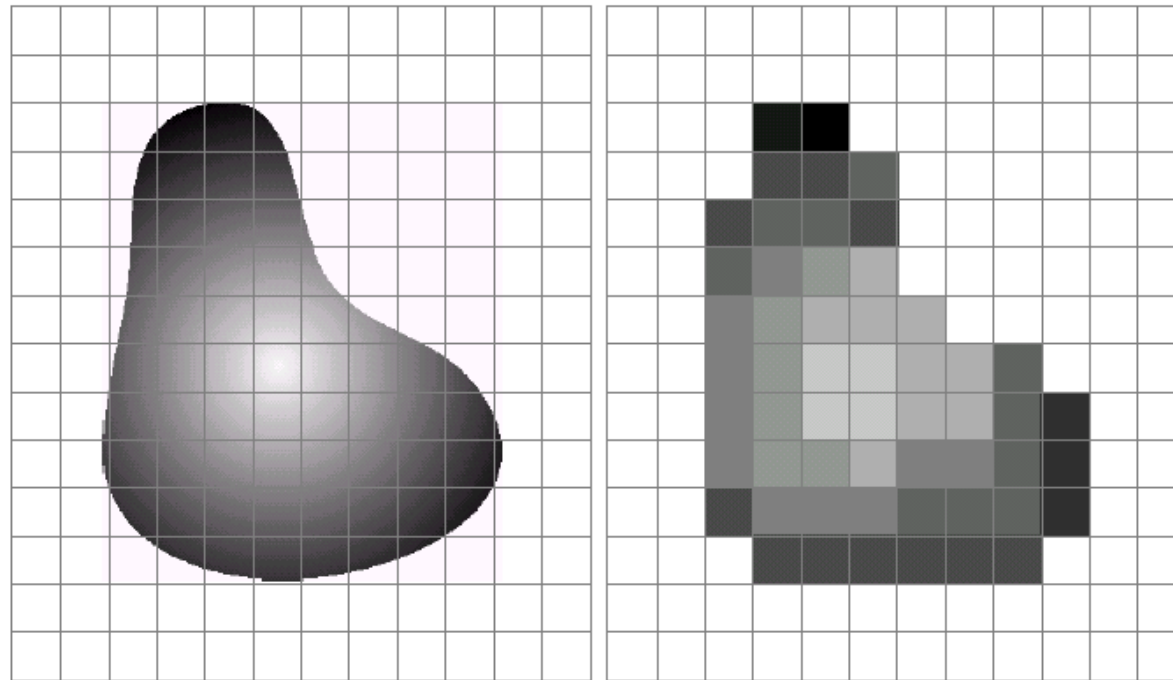
FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy (“illumination”) source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

Sampling & Quantization

- To generate digital image from sensed data
- Sample the image f in both **coordinates** and in **amplitude**



Sampling & Quantization



a b

FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

Image Representation

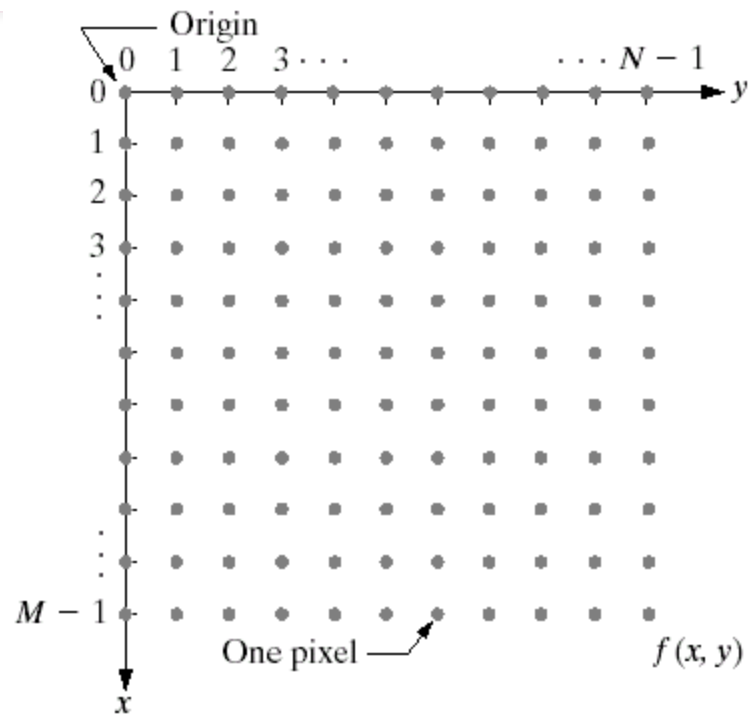
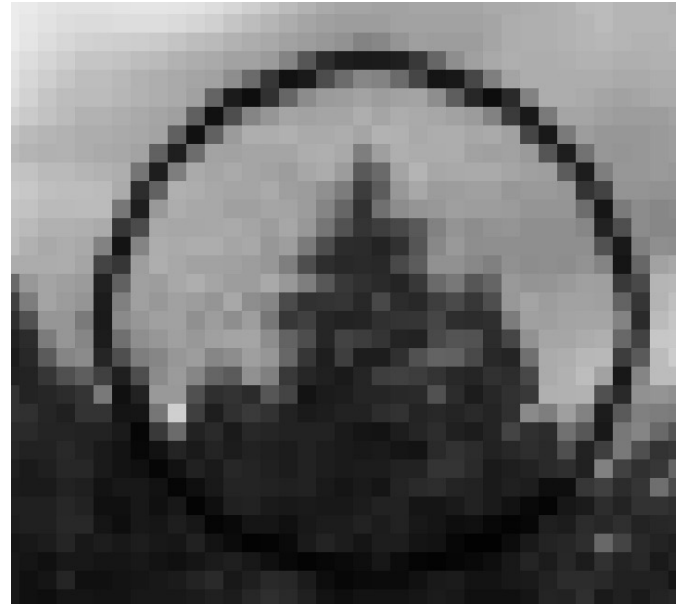


FIGURE 2.18
Coordinate convention used in this book to represent digital images.

Picture Element (Pixel)



Spatial Resolution

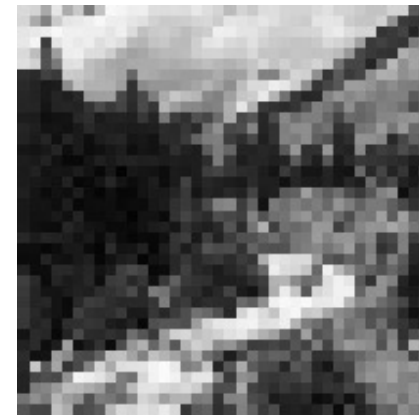
- A measure of the smallest discernible detail in an image



192x192



96x96



38x38

Intensity Resolution

- A measure of the smallest discernible change in intensity level



256 gray levels
(8 bit)



16 gray levels
(4 bit)



2 gray levels
(1 bit)

Image Types



Binary Image
[0,1]



Greyscale Image
[0,255]



Color Image
RGB
[0,255], [0,255], [0,255]

