

Computer Vision

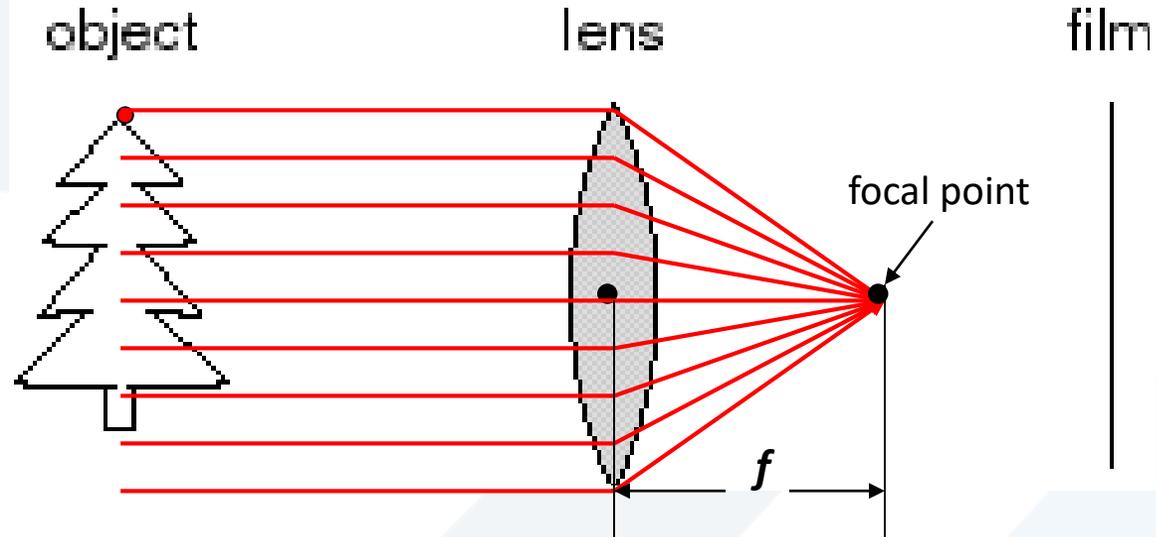
Lecture2

Camera & Image Formation

Color and Histogram

Dr. Ali Mahmoud Mayya
Computer Science Dept.
AL Manara University, Syria
2024

Traditional Camera



- A lens focuses light onto the film
 - Rays passing through the center are not deviated
 - All parallel rays converge to one point on a plane located at the *focal length* f

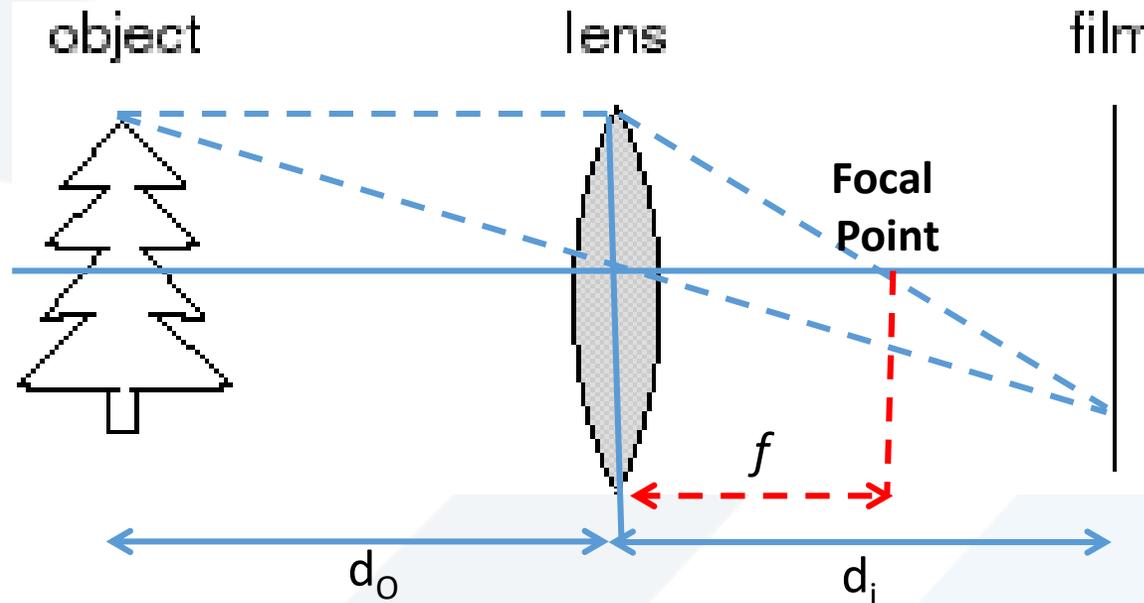
• العدسة تركز الضوء على الفيلم

• يسقط الضوء على الجسم فينعكس إلى عدسة الكاميرا

• الأشعة التي تمر عبر مركز العدسة لا تنحرف

• الخطوط المتوازية تتقارب في نقطة واحدة على مستوى متوضع على بعد محرق F

Traditional Camera

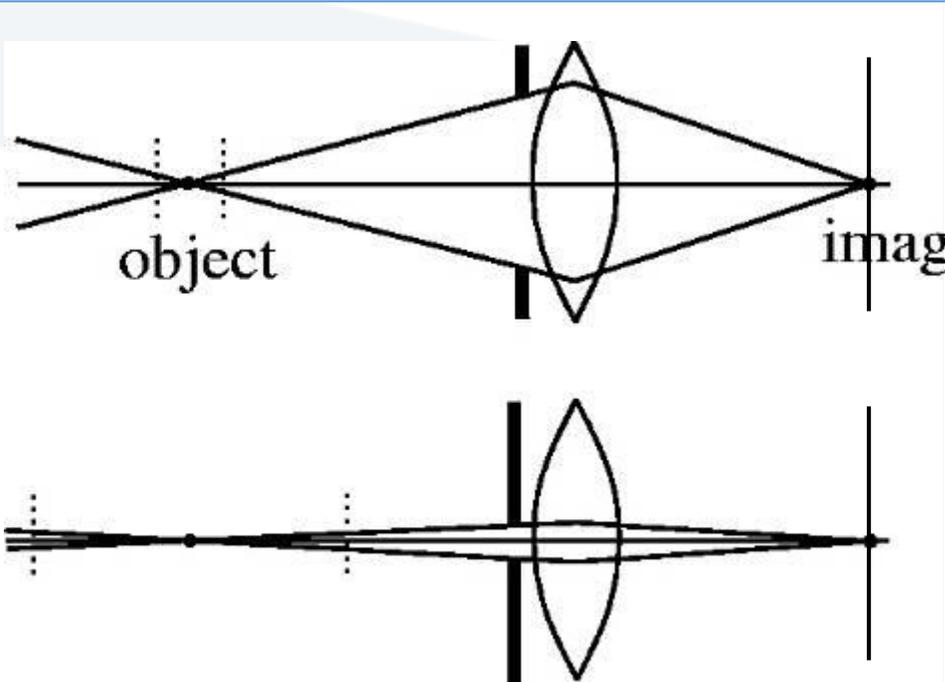


- Lens Equation: $\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}$

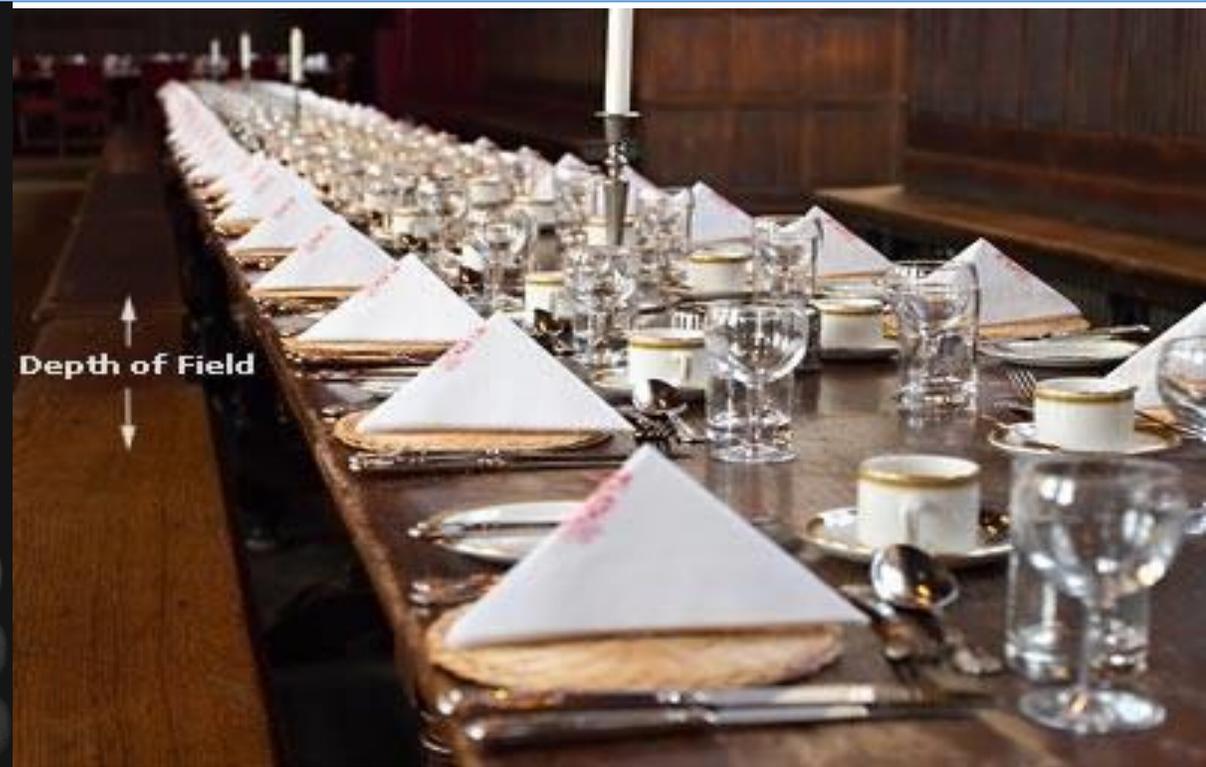
- Any object point satisfying this equation is in focus

• أي جسم يحقق المعادلة السابقة يقع ضمن نطاق الكاميرا

Traditional Camera



DEPTH OF FIELD
DEPTH OF FIELD



Changing the **aperture** size affects depth of field

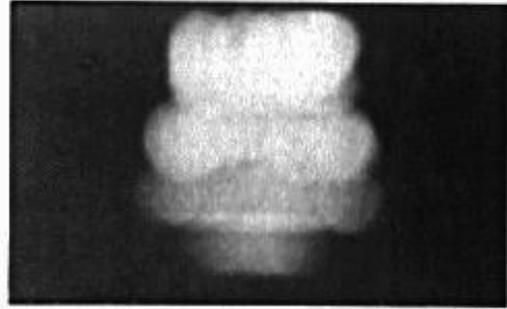
تغيير حجم فتحة الكاميرا يغير العمق!

The smaller the aperture opening, the greater the depth of field

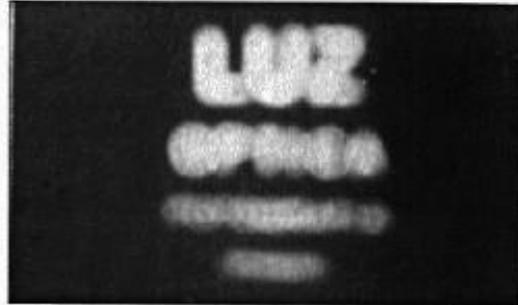
small aperture increases depth but reduces amount of light

تصغير فتحة الكاميرا يزيد العمق لكنه يقلل الضوء!

Traditional Camera



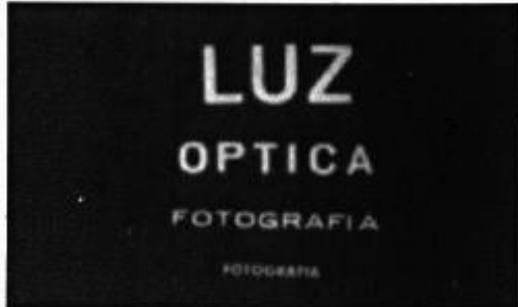
2 mm



1 mm



0.6mm



0.35 mm



0.15 mm



0.07 mm

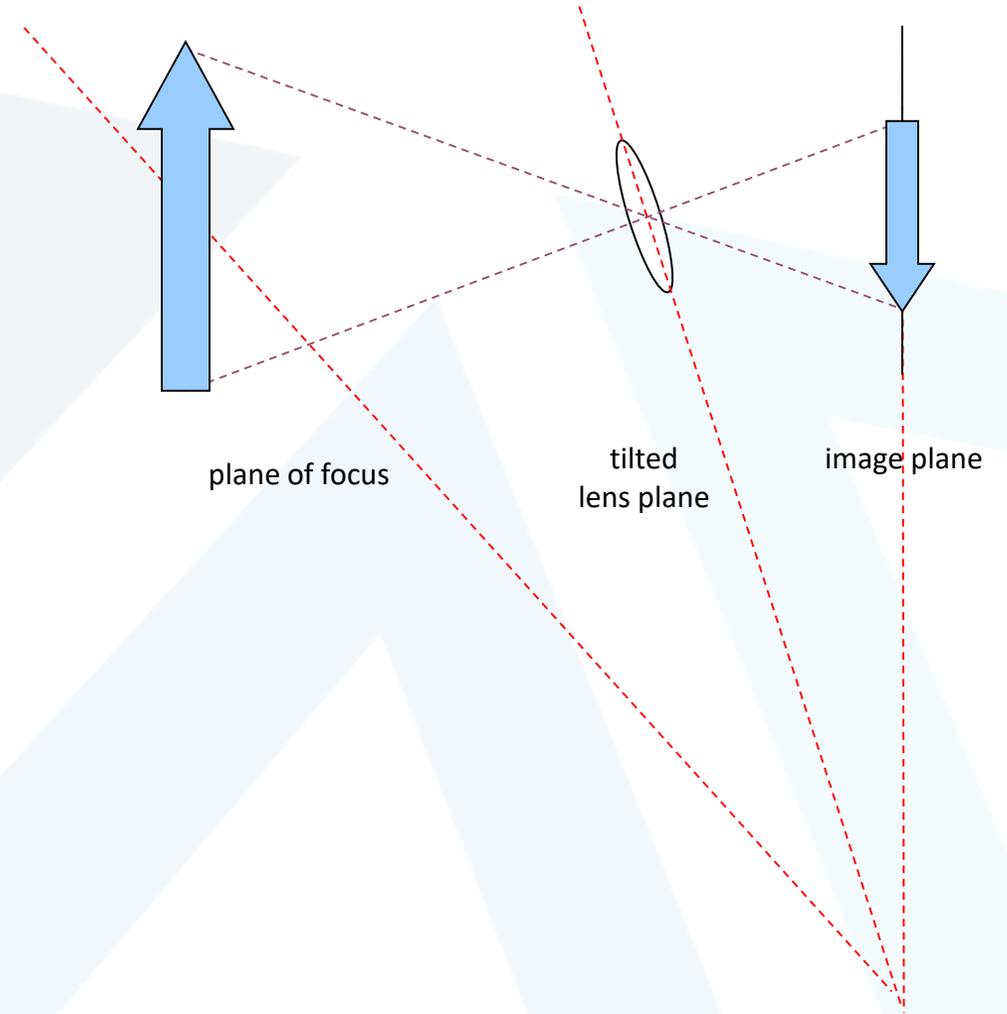
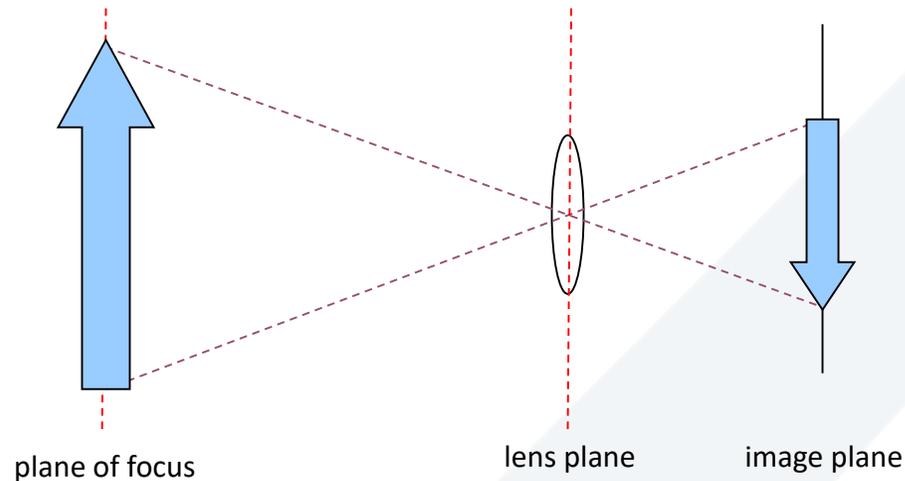
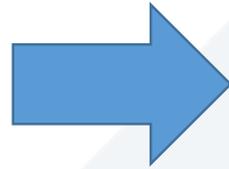
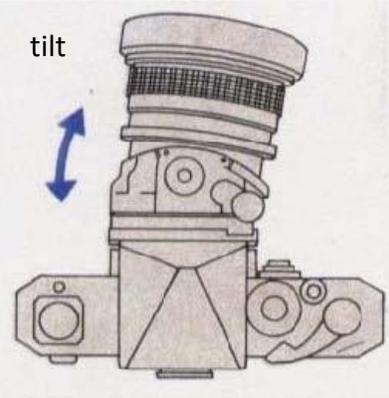
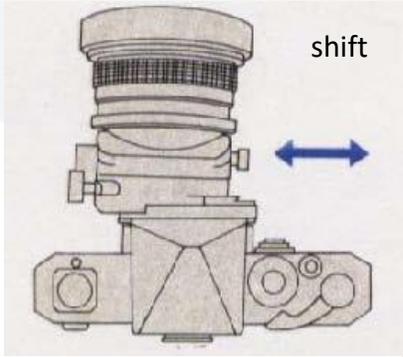
هل يمكن تصغير حجم فتحة الكاميرا إلى أي رقم؟

عند تصغير الحجم أكثر من اللازم يظهر أثر
التعرج ويعود المشهد للتشوه من جديد

Diffraction effect

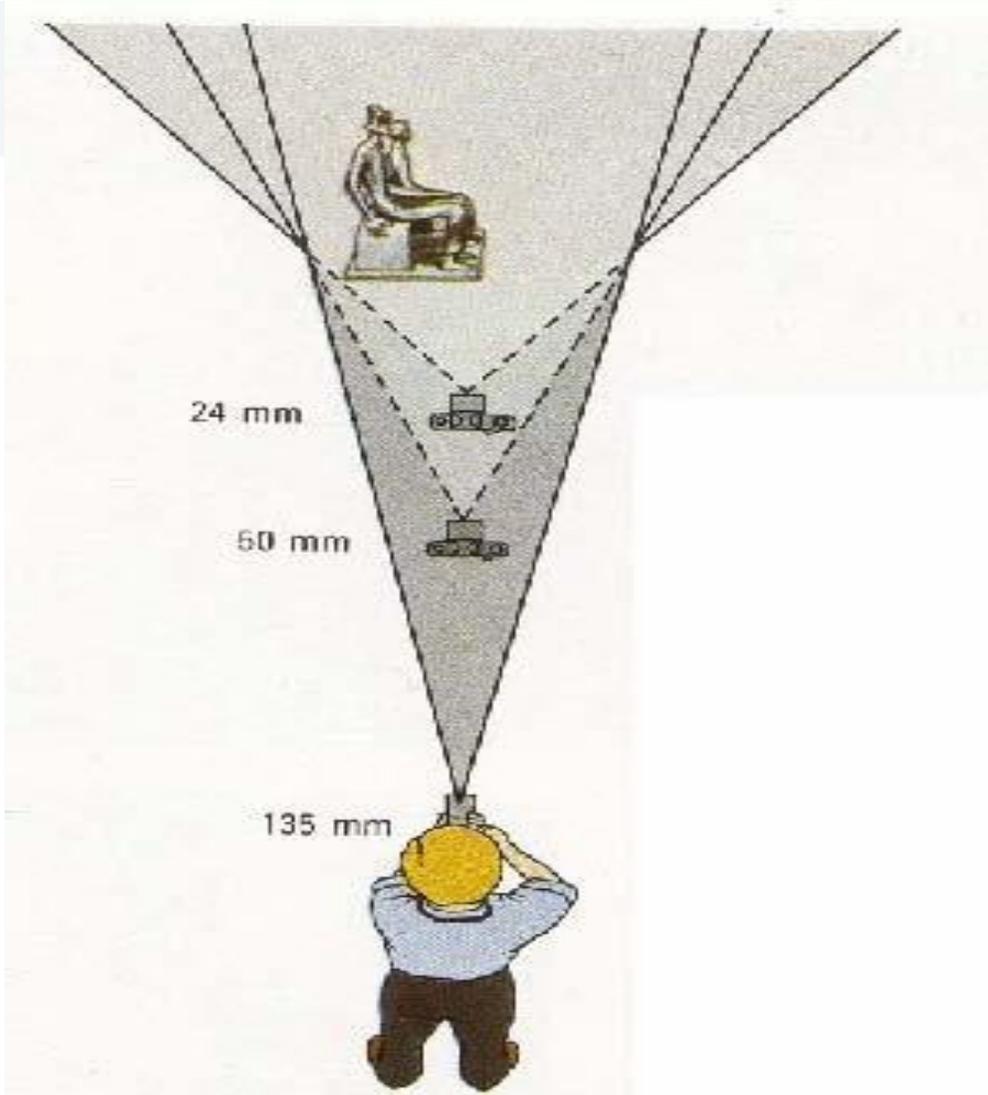
Traditional Camera – Tilt-Shift lens

تغيير زاوية ميلان العدسة (لتغيير زاوية التركيز)



Traditional Camera- Field of View (FOV)

مجال الرؤية أو التقريب والتباعد Zooming



Large FOV, small f
Camera close to car



Small FOV, large f
Camera far from the car

العلاقة بين FOV والبعد المحرقي عكسية

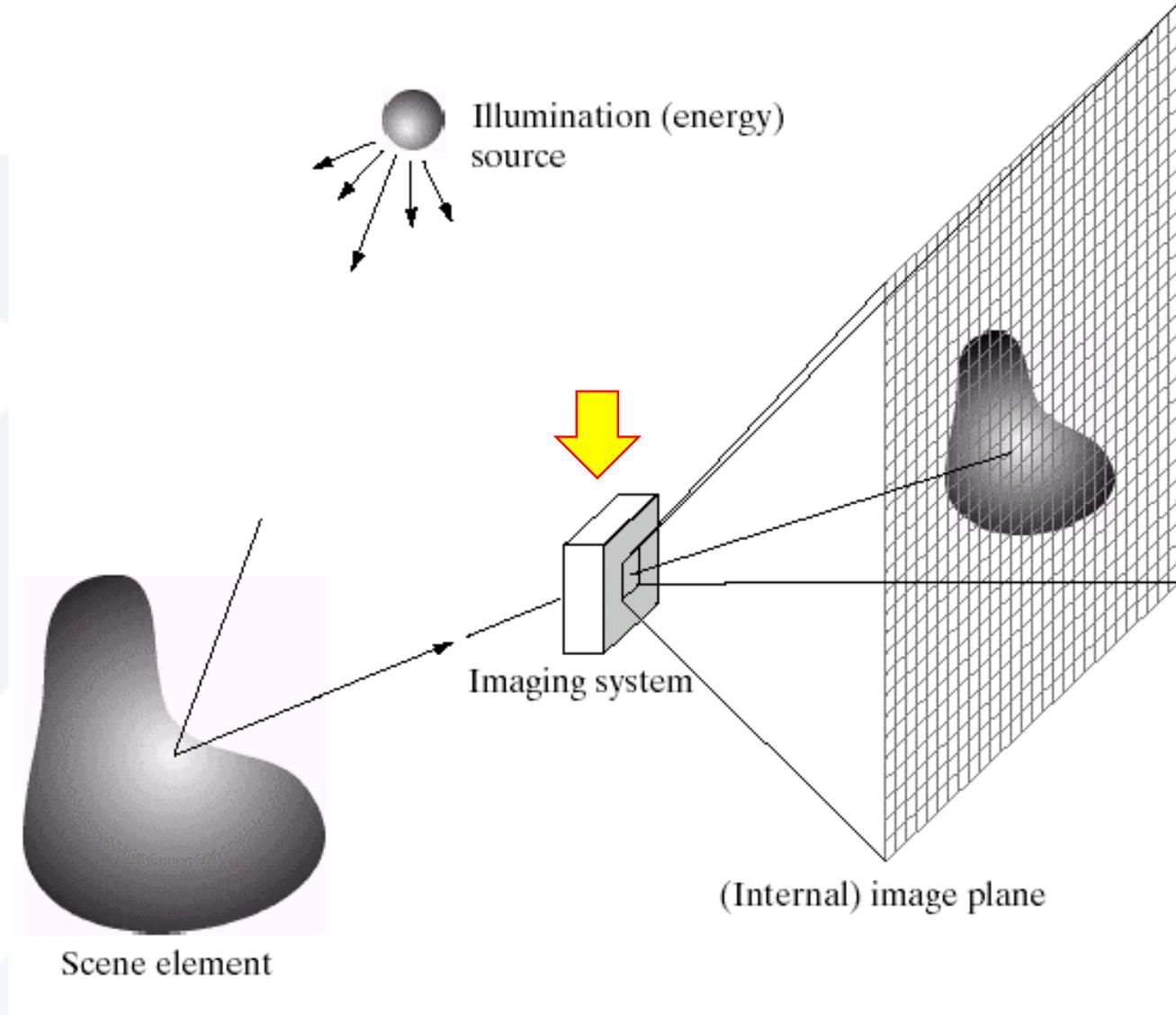
Digital Camera

- A digital camera replaces film with a sensor array.

• تستبدل الفيلم بمصفوفة حساسات

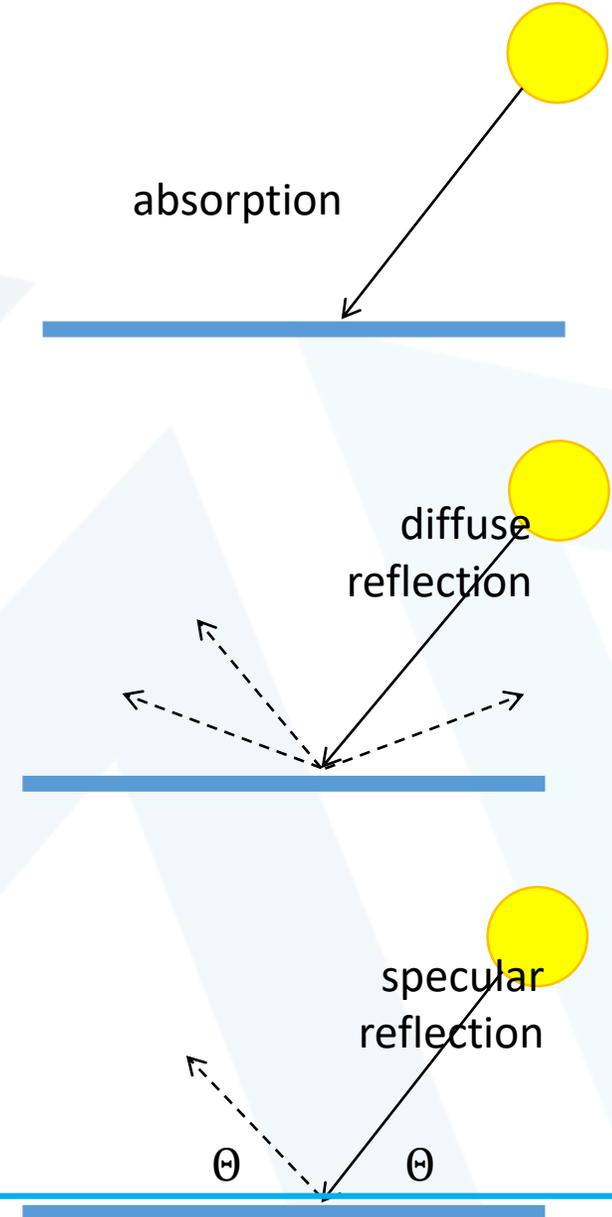
- Each cell in the array is light-sensitive diode that converts photons to electrons

• كل خلية في المصفوفة هي ثنائي حساس للضوء يحول الفوتونات إلى إشارات كهربائية

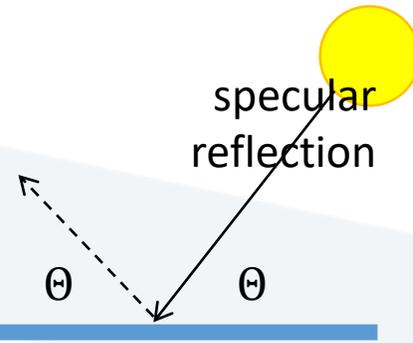
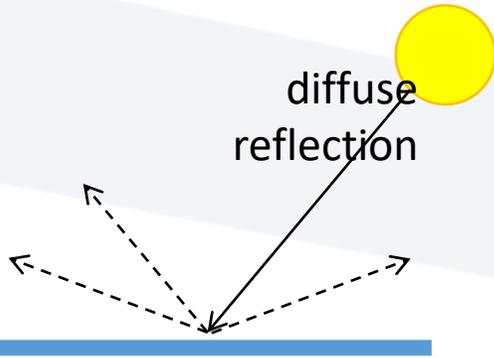


Digital Camera

- When light hits a typical surface
عندما يسقط الضوء على سطح ما
- Some light is absorbed ($1-\rho$)
 - More absorbed for low albedos
قسم من الضوء يمتصه الجسم
- Some light is reflected diffusely
 - Independent of viewing direction
قسم آخر ينعكس بشكل مشتت في اتجاهات مختلفة
- Some light is reflected specularly
 - Light bounces off (like a mirror), depends on viewing direction
قسم أخير ينعكس بشكل محدد (زاوية محددة)



Digital Camera



reflection all diffuse

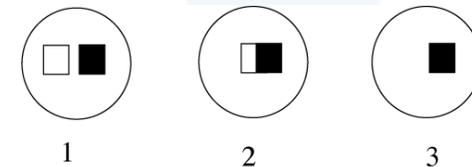
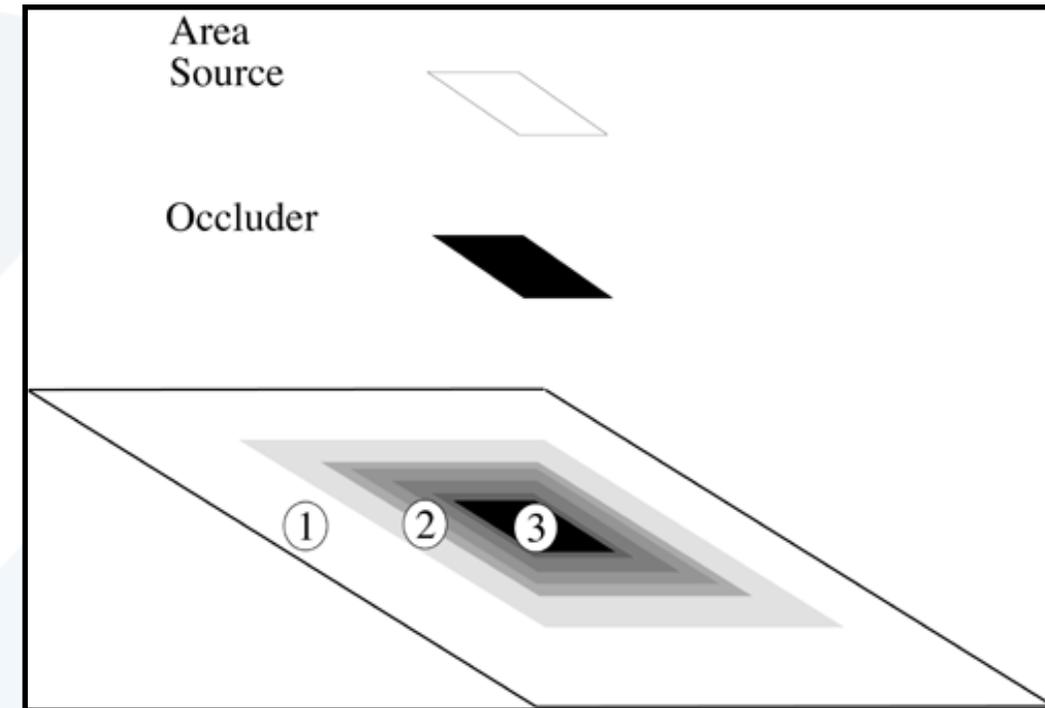
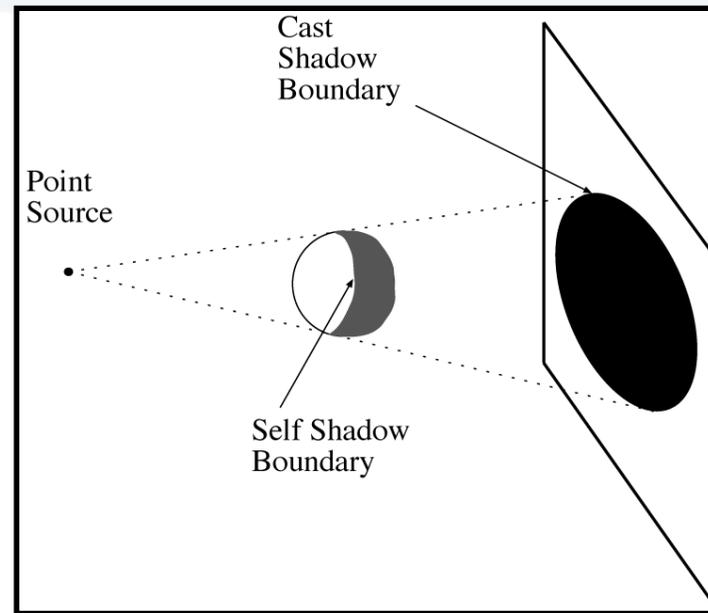
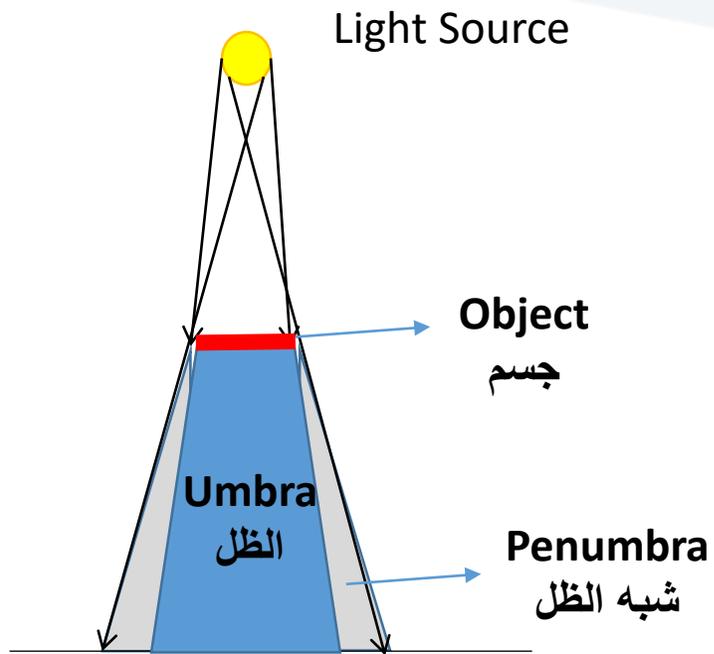


أثر المرآة
Mirrored: reflection
all specular



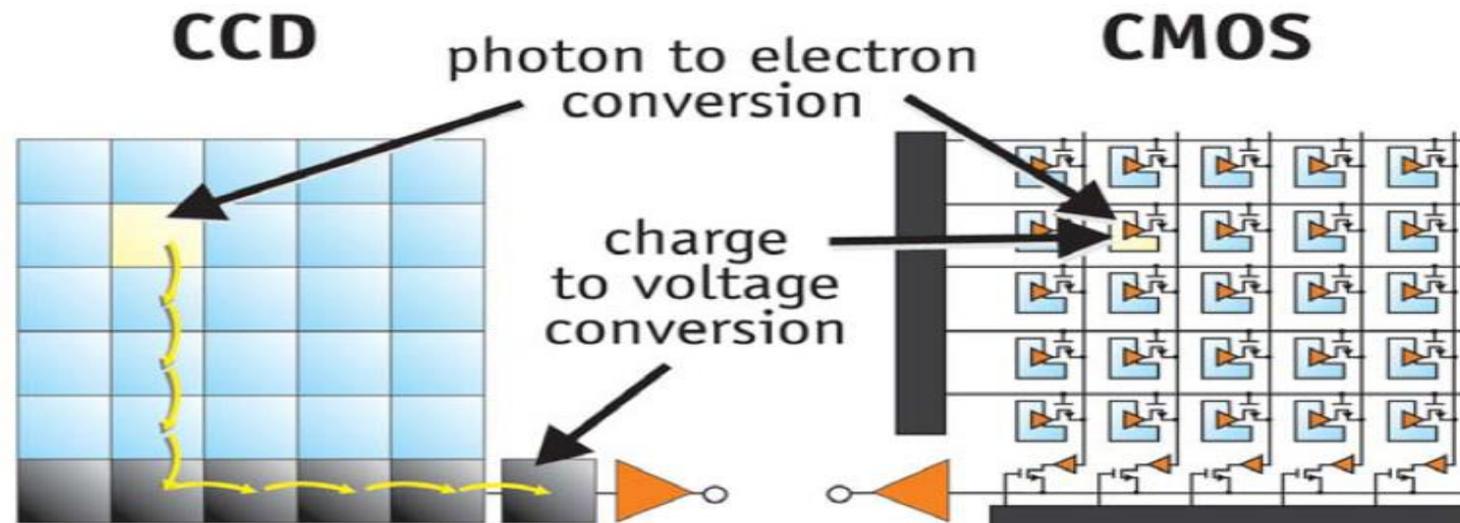
لامع
Glossy: reflection mostly
diffuse, some specular

Digital Camera: Shadows



Types of Digital Camera

- **CCD (Charge Coupled Device)**
- Transports the charge across the chip and reads it at one corner of the array.
- تنقل الإشارة عبر الشريحة وتتم القراءة في الزاوية.
- Contains an **analog-to-digital converter (ADC)** turns each pixel's value into a digital value.
- تتضمن محول تشابهي رقمي لتحويل قيمة البكسل إلى قيمة رقمية.
- **CMOS (Complementary metal oxide semiconductor)**
- Uses several transistors at each pixel to amplify and move the charge using more traditional wires.
- تستخدم ترانزستورات في كل بكسل لتضخيم الإشارة ثم تحويلها إلى قيمة رقمية.
- The CMOS signal is digital, so it needs no ADC.
- إشارة حساسات CMOS رقمية لا تحتاج لمحول تشابهي رقمي.

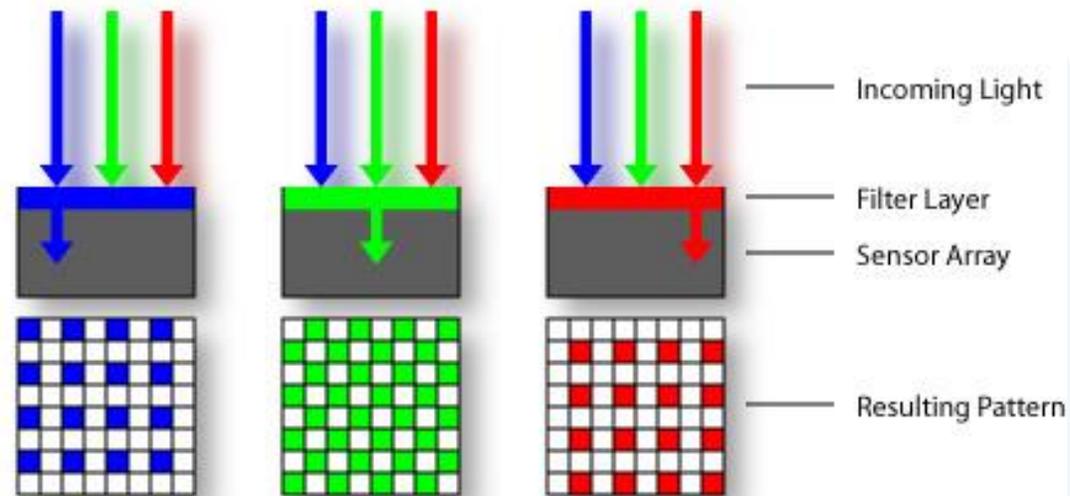
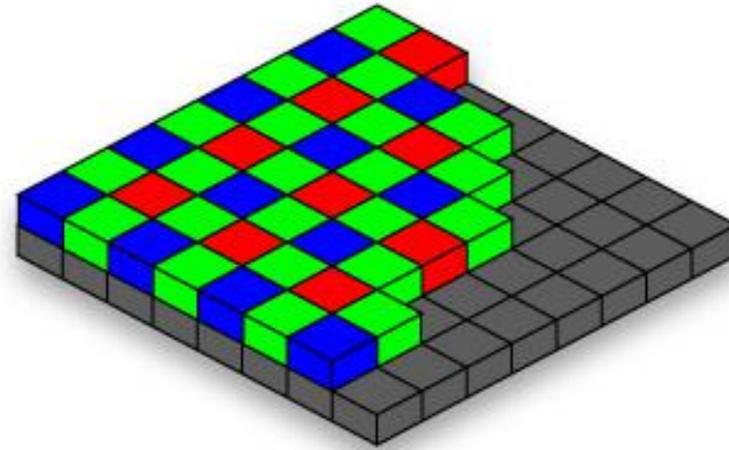


CCD vs. CMOS

- **CCD**
- Mature technology قديمة
- High production cost كلفة تصميم عالية
- High power consumption استهلاك طاقة عالي
- Higher fill rate معدل ملء عالي
- Lower noise أقل ضجيج
- Higher resolution دقة أعلى
- Blooming تتضمن مشكلة التوهج
- Sequential readout خرج تسلسلي
- **CMOS**
- Recent technology حديثة
- Lower production cost كلفة تصميم أقل
- Low power استهلاك طاقة أقل
- Lower fill rate (أقل حساسية) معدل ملء أقل
- Higher noise أكثر ضجيج
- Lower resolution دقة أقل
- Per pixel amplification تضخيم الإشارة في كل خلية
- Random pixel access وصول عشوائي للبكسل

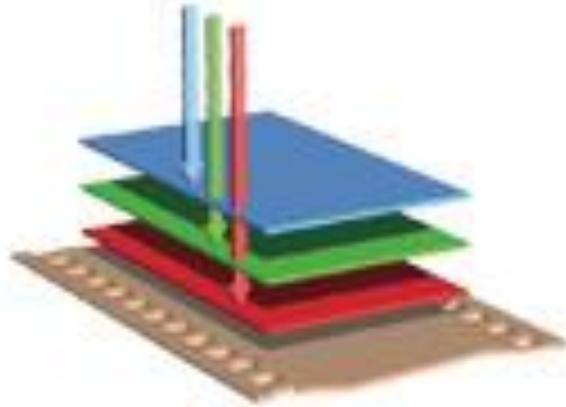
Color sensing in camera: Color filter array

Bayer grid



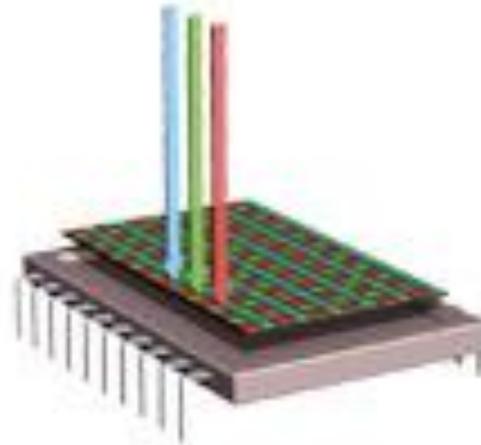
Color sensing in camera: Foveon X3

<http://www.foveon.com/article.php?a=67>



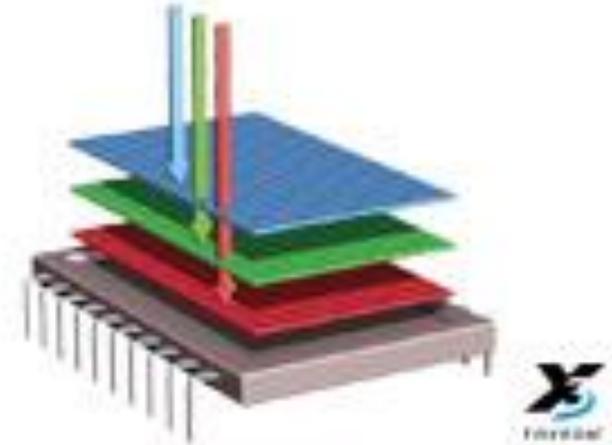
First came film.

COLOR FILM contains three layers of emulsion which directly record red, green, and blue light.



Then came digital.

TYPICAL DIGITAL SENSORS have just one layer of pixels and capture only part of the color.



Now there's Foveon X3.

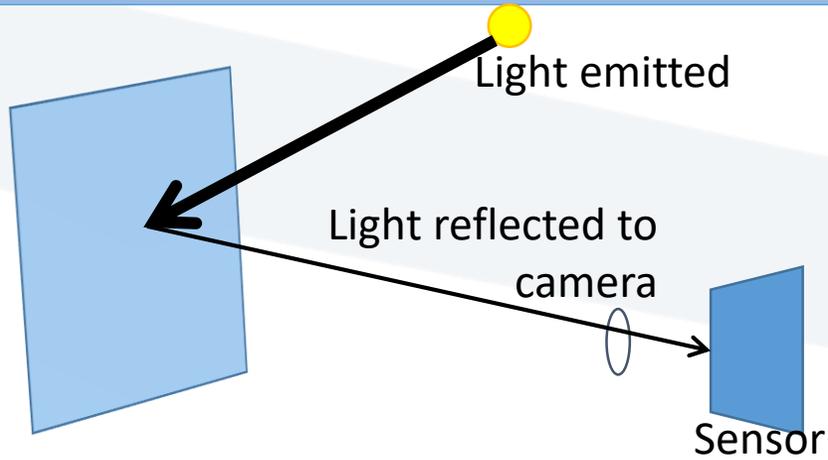
FOVEON X3 direct image sensors have three layers of pixels which directly capture all of the color.

شريط ملون من 3 طبقات يسجل الألوان مباشرة، قديمة مكلفة، دقة قليلة

حساسات رقمية، طبقة واحدة من الحساسات تتحسس لجزء من اللون

FOVEON x3 تتضمن 3 طبقات من الحساسات الرقمية تسجل الألوان كافة

Digital Image Acquisition



• **الحصول** على الصورة الرقمية يتضمن عمليتين هما:

• **Sampling أخذ العينات:**

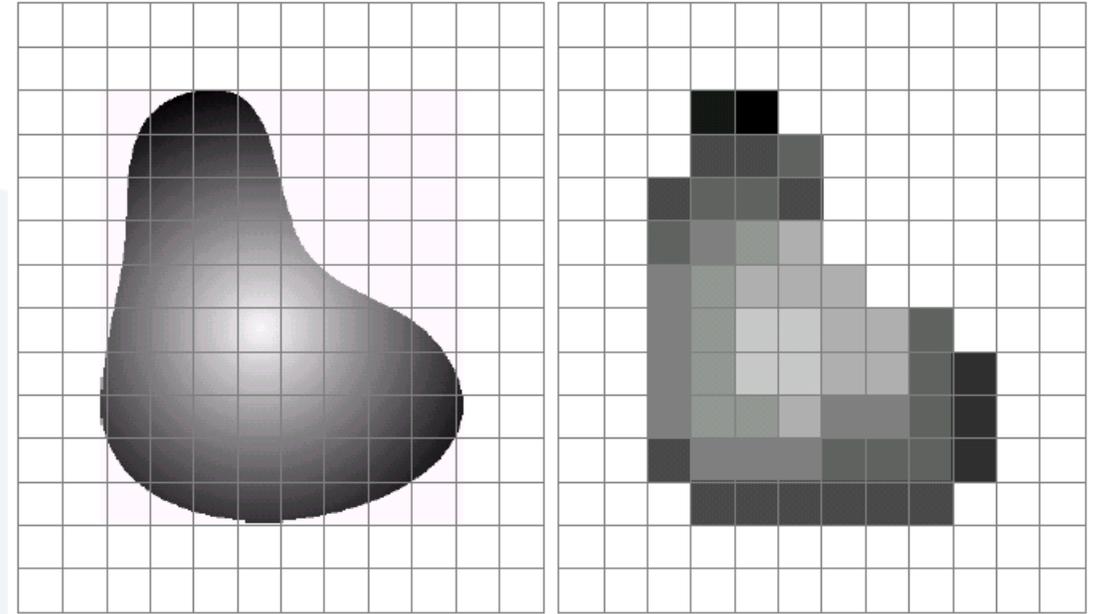
• تحويل إحداثيات الصورة إلى إحداثيات متقطعة باستخدام خطوة $M = 2^m$ على المحور الأفقي، و $N = 2^n$ على المحور الشاقولي.

• **Quantization التكميم:**

• تحويل قيم الصورة إلى قيم متقطعة (سويات رمادية أو قيم رقمية) $L = 2^k$ مستوى تكميم أو سوية رمادية. K عدد البتات اللازمة لتخزين البسكل.

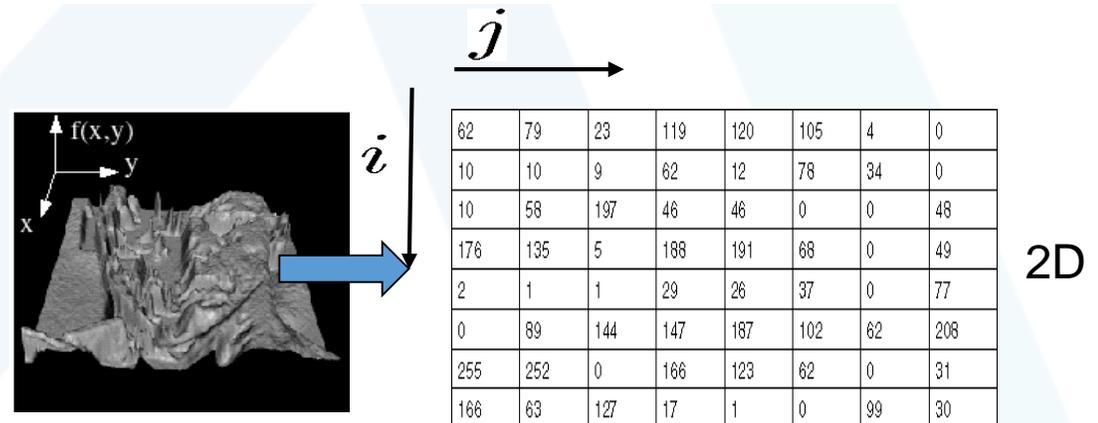
• الصورة الرقمية f هي تابع ثنائي البعد 2D (مصفوفة ثنائية البعد) $F(I,J)$ مؤلفة من M سطر و N عمود.

• حجم الصورة التخزيني $\text{Size} = (M \times N \times k) / 8$ bytes



a b

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

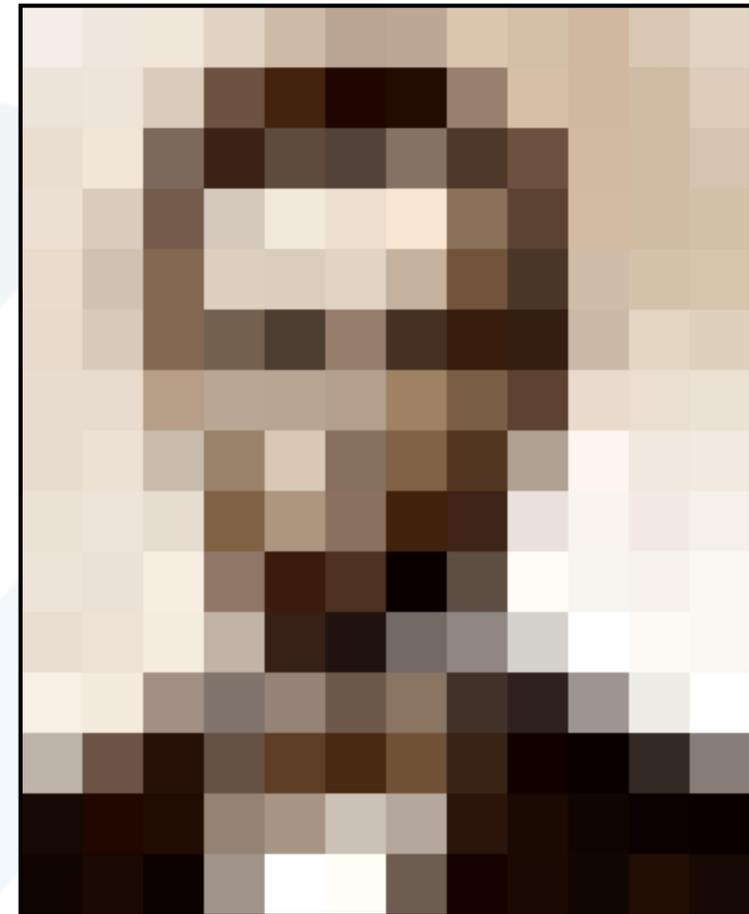


Digital Image Acquisition

What computers see

243	239	240	225	206	185	188	218	211	206	216	225
242	239	218	110	67	31	34	152	213	206	208	221
243	242	123	58	94	82	132	77	108	208	208	215
235	217	115	212	243	236	247	139	91	209	208	211
233	208	131	222	219	226	196	114	74	208	213	214
232	217	131	116	77	150	69	56	52	201	228	223
232	232	182	186	184	179	159	123	93	232	235	235
232	236	201	154	216	133	129	81	175	252	241	240
235	238	230	128	172	138	65	63	234	249	241	245
237	236	247	143	59	78	94	255	248	247	251	
234	237	245	193	55	33	115	144	213	255	253	251
248	245	161	128	149	109	138	65	47	156	239	255
190	107	39	102	94	73	114	58	51	137		
23	32	33	148	168	203	179	43	27	17	17	17
17	26	16	160	255	255	109	22	26	19	35	24

What humans see



هستوغرام الصورة Image Histogram

- تابع إحصائي متقطع يربط قيمة السويات الرمادية مع عدد البكسلات لكل سوية.
- يعطى بالعلاقة $h(r_k) = n_k$ حيث:
 - r_k هو مستوي السوية الرمادية k
 - n_k هو عدد البكسلات التي تمتلك السوية الرمادية k .
- لجعل المنحني طبيعياً نقسم جميع قيمه على عدد الكلي لبكسلات الصورة n .
- تصبح معادلة المنحني بالشكل $p(r_k) = n_k/n$ من أجل $k=0,1,\dots,L-1$.

2	2	2	4
2	2	4	2
2	4	2	2
4	3	3	3
7	7	7	7

Number
of Pixels

9

4

3

0

1

2

3

4

5

6

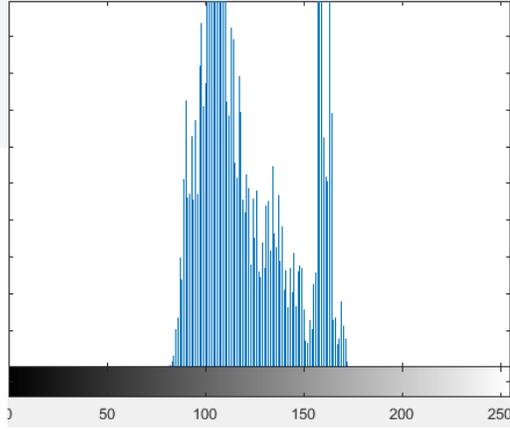
7

Gray
Levels

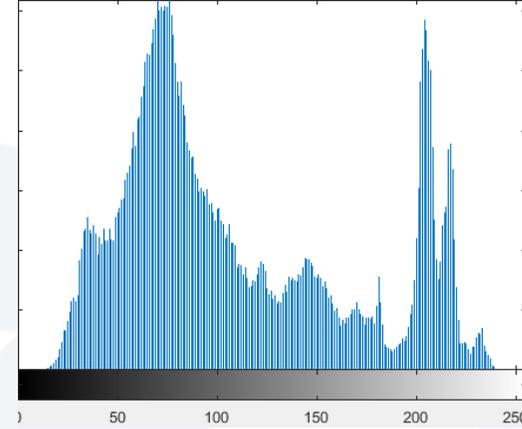
مثال على مصفوفة الصورة

Example

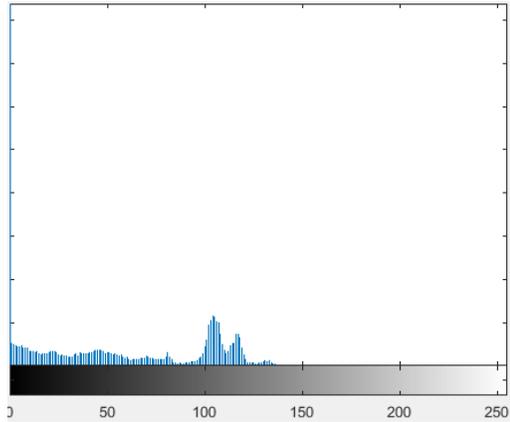
هستوغرام الصورة Image Histogram



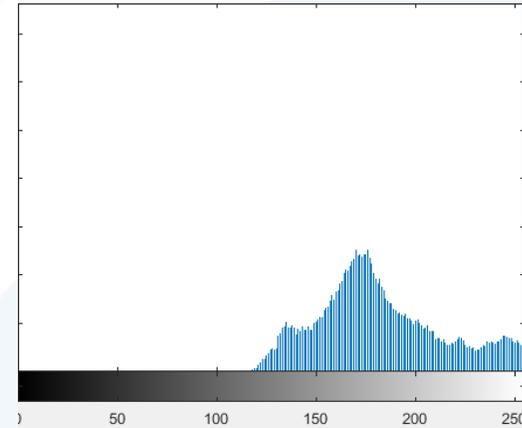
صورة ضعيفة التباين
Low contrast



صورة واضحة التباين
High contrast



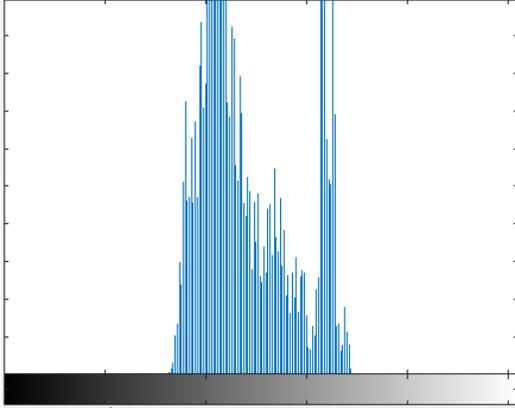
صورة ضعيفة الإضاءة



صورة عالية الإضاءة

مثال على صور

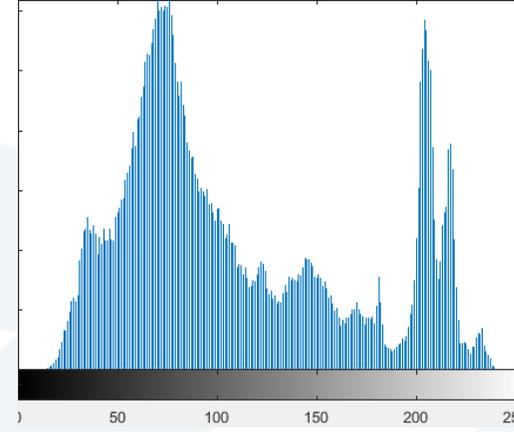
هستوغرام الصورة Image Histogram



الهستوغرام يتضمن قفزات
حادة كثيرة --> الصورة خضعت
لعملية ضغط المجال الديناميكي
للسويات الرمادية



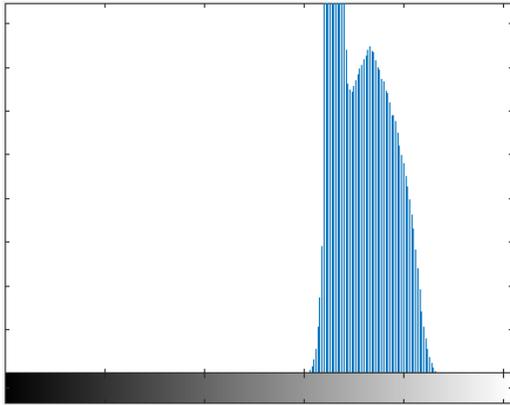
صورة ضعيفة التباين



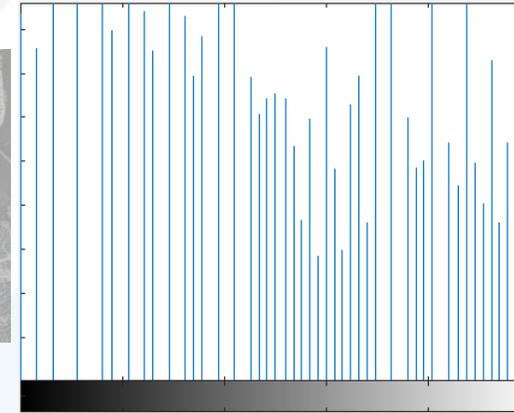
الهستوغرام موزع ومتناسق
الصورة واضحة التباين بطبيعتها



صورة واضحة
التباين



الهستوغرام ذو مجال ضيق
لكنه لا يتضمن قفزات حادة إذًا
الصورة بالأصل ضعيفة التباين

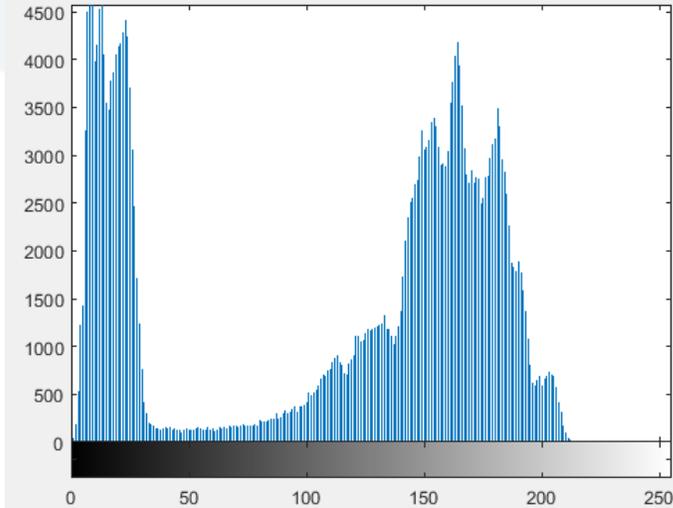


الهستوغرام موزع لكنه يتضمن فجوات
الصورة خضعت لعملية تحسين تباين

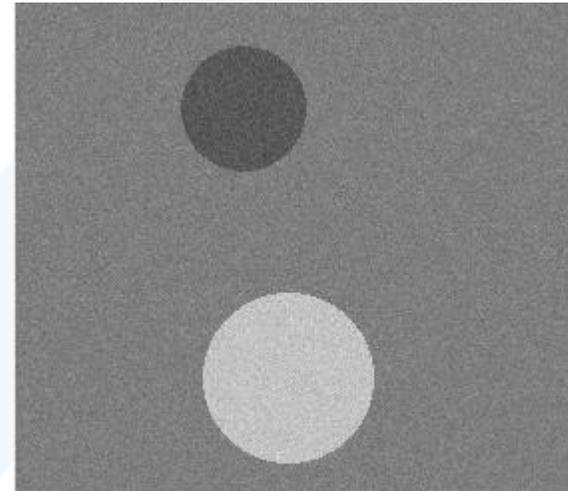
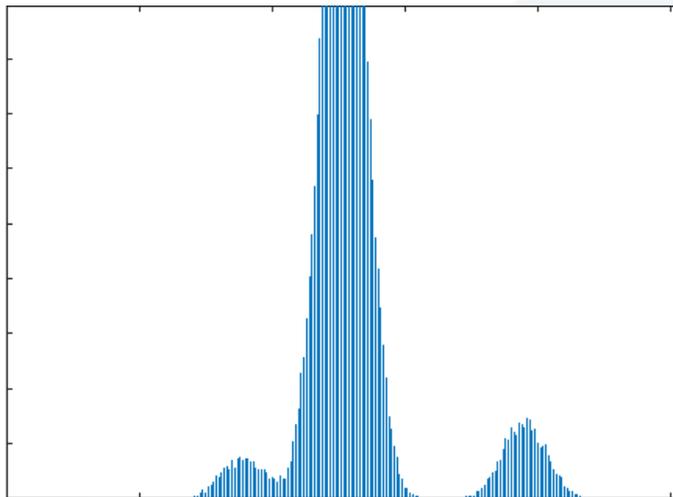


هستوغرام الصورة Image Histogram

- يمكن من خلال الهستوغرام تحديد عدد المناطق في الصورة ومعرفة طبيعة الصورة

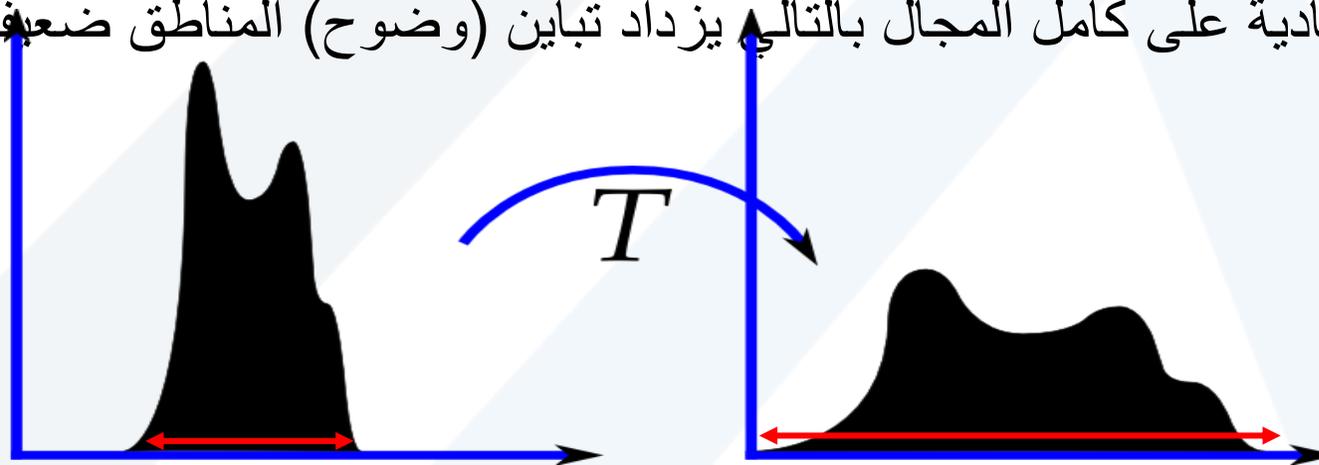


قيم
الضجيج
متوزعة
حول
مركز كل
سوية



Histogram Equalization

- Histogram equalization is a method in image processing of contrast adjustment using the image's histogram.
- مساواة الهستوغرام هي أحد طرق معالجة الصورة الهادفة لضبط تباينها اعتماداً على قيم الهستوغرام.
- This method usually increases the global contrast of many images, especially when the usable data of the image is represented by close contrast values.
- تزيد تباين الصور ضعيفة التباين
- Through this adjustment, the intensities can be better distributed on the histogram.
- This allows for areas of lower local contrast to gain a higher contrast.
- تتوزع السويات الرمادية على كامل المجال بالتالي يزداد تباين (وضوح) المناطق ضعيفة التباين.

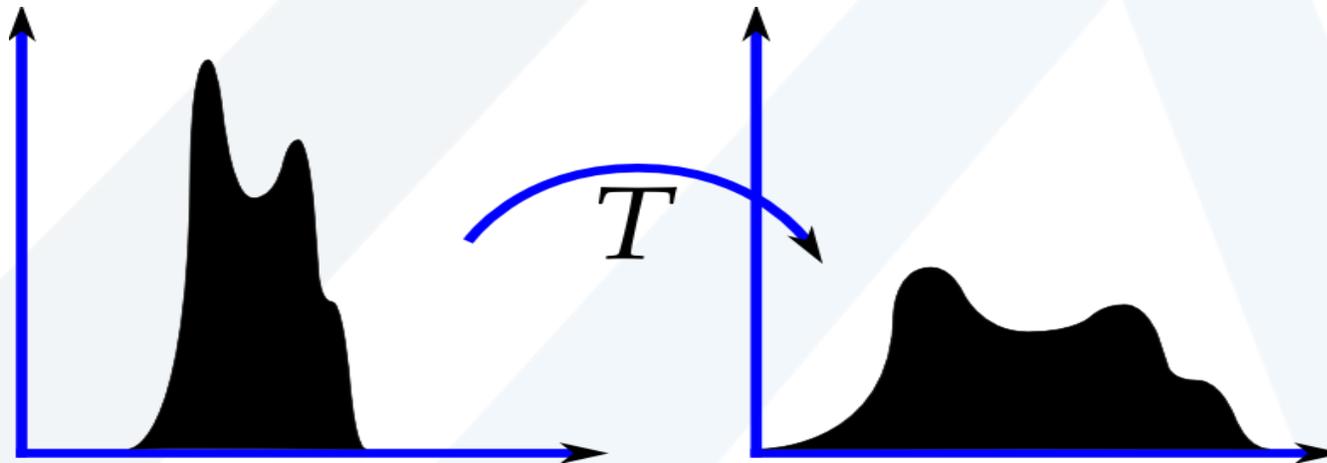


Histogram Equalization

- Equations: Discrete values:

$$s_k = T(r_k) = (L-1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j)$$

$$= (L-1) \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{MN} = \frac{L-1}{MN} \sum_{j=0}^k n_j \quad k=0,1,\dots,L-1$$



Histogram Equalization- Example

- Suppose that a 3-bit image ($L=8$) of size 64×64 pixels ($MN = 4096$) has the intensity distribution shown in following table.
- Get the histogram equalization transformation function and give the $p_s(s_k)$ for each s_k .

r_k	n_k	$p_r(r_k) = n_k/MN$
$r_0 = 0$	790	0.19
$r_1 = 1$	1023	0.25
$r_2 = 2$	850	0.21
$r_3 = 3$	656	0.16
$r_4 = 4$	329	0.08
$r_5 = 5$	245	0.06
$r_6 = 6$	122	0.03
$r_7 = 7$	81	0.02

$$s_0 = T(r_0) = 7 \sum_{j=0}^0 p_r(r_j) = 7 \times 0.19 = 1.33 \rightarrow 1$$

$$s_1 = T(r_1) = 7 \sum_{j=0}^1 p_r(r_j) = 7 \times (0.19 + 0.25) = 3.08 \rightarrow 3$$

$$s_2 = 4.55 \rightarrow 5 \qquad s_3 = 5.67 \rightarrow 6$$

$$s_4 = 6.23 \rightarrow 6 \qquad s_5 = 6.65 \rightarrow 7$$

$$s_6 = 6.86 \rightarrow 7 \qquad s_7 = 7.00 \rightarrow 7$$

- Support intens
- Get th
- for each

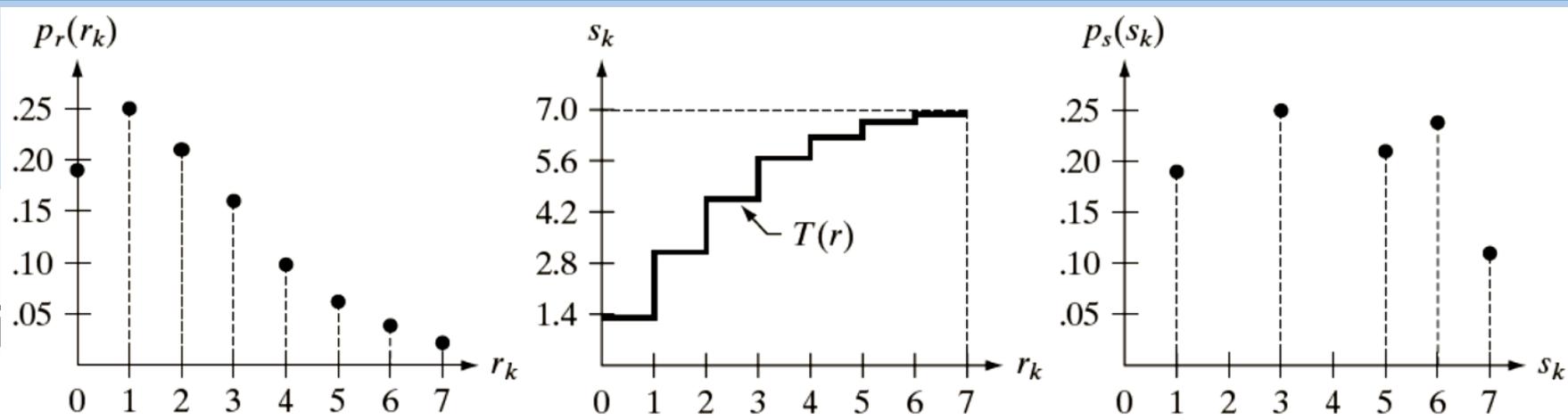


FIGURE 3.19 Illustration of histogram equalization of a 3-bit (8 intensity levels) image. (a) Original histogram. (b) Transformation function. (c) Equalized histogram.

a b c

has the

$p_s(s_k)$

r_k	n_k	$p_r(r_k) = n_k / MIN$
$r_0 = 0$	790	0.19
$r_1 = 1$	1023	0.25
$r_2 = 2$	850	0.21
$r_3 = 3$	656	0.16
$r_4 = 4$	329	0.08
$r_5 = 5$	245	0.06
$r_6 = 6$	122	0.03
$r_7 = 7$	81	0.02

R_k	S_k
0	1
1	3
2	5
3	6
4	6
5	7
6	7
7	7

Histogram Equalization- Example

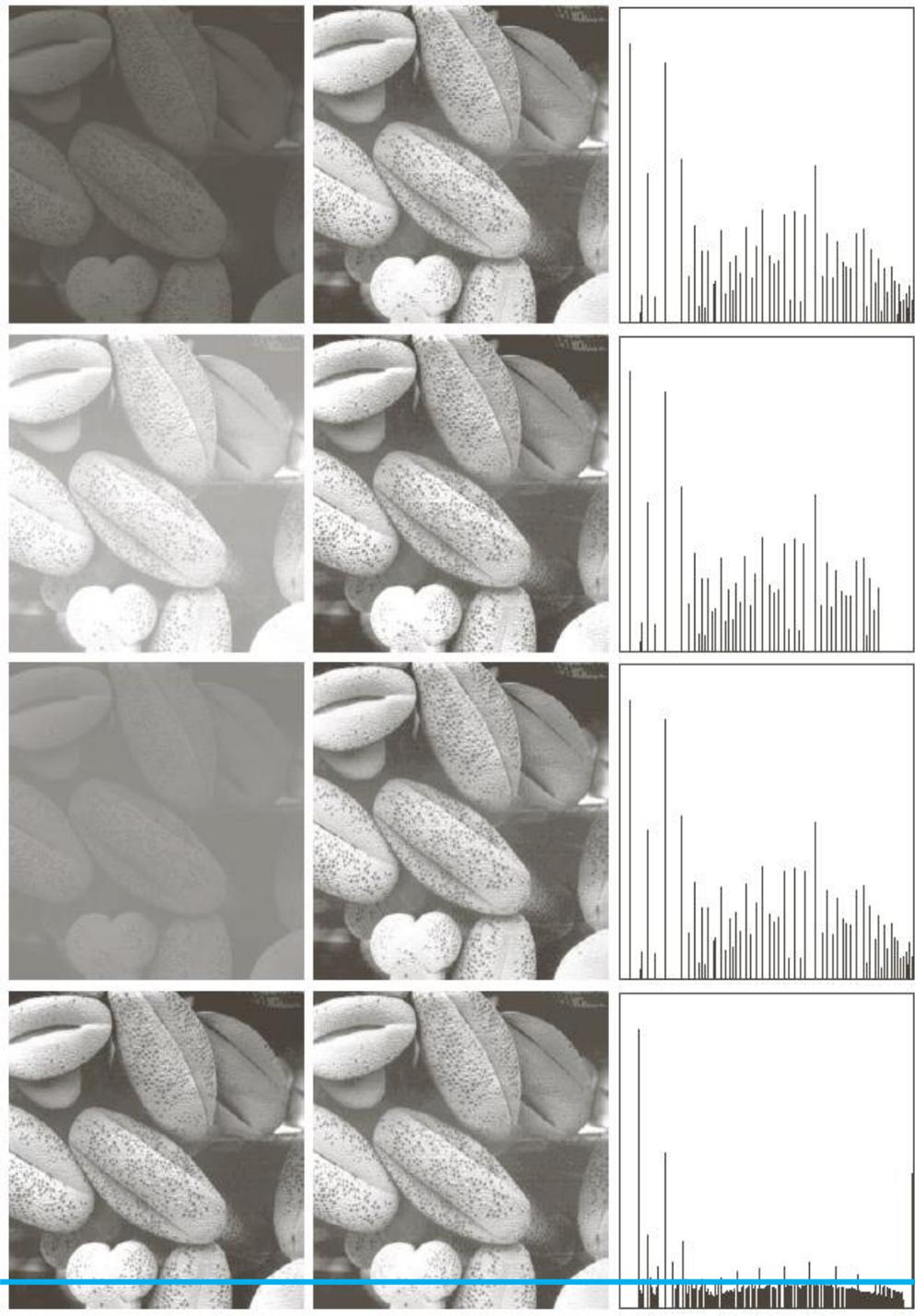


FIGURE 3.20 Left column: images from Fig. 3.16. Center column: corresponding histogram-equalized images. Right column: histograms of the images in the center column.

Histogram Equalization- Example

FIGURE 3.20 Left column: images from Fig. 3.16. Center column: corresponding histogram-equalized images. Right column: histograms of the images in the center column.

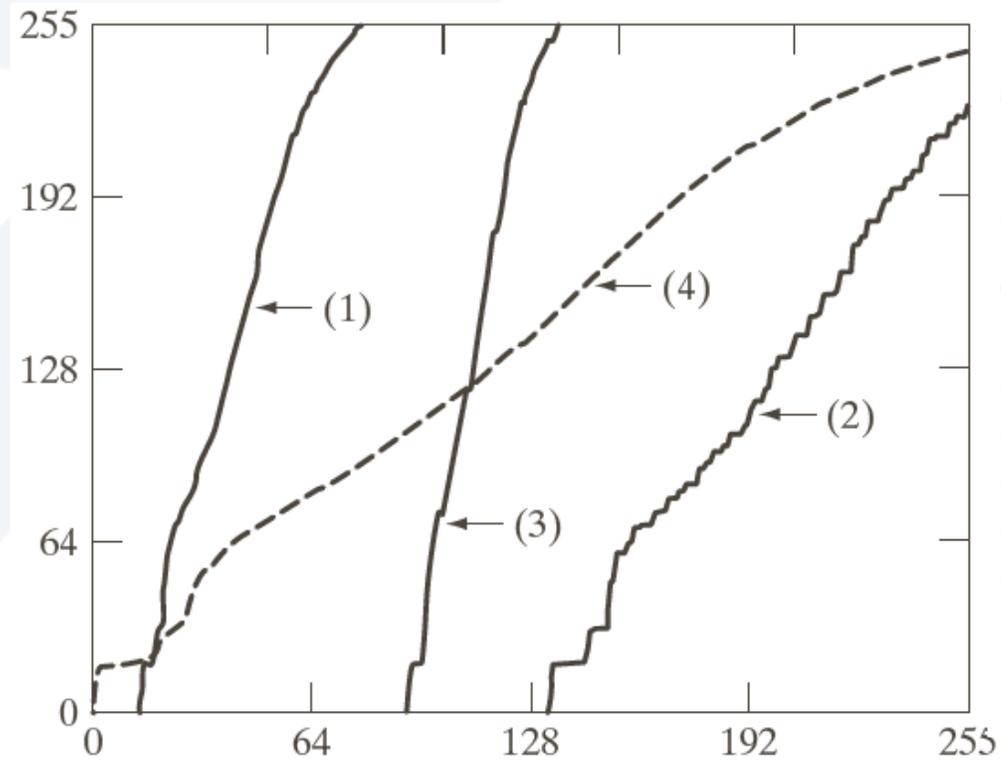
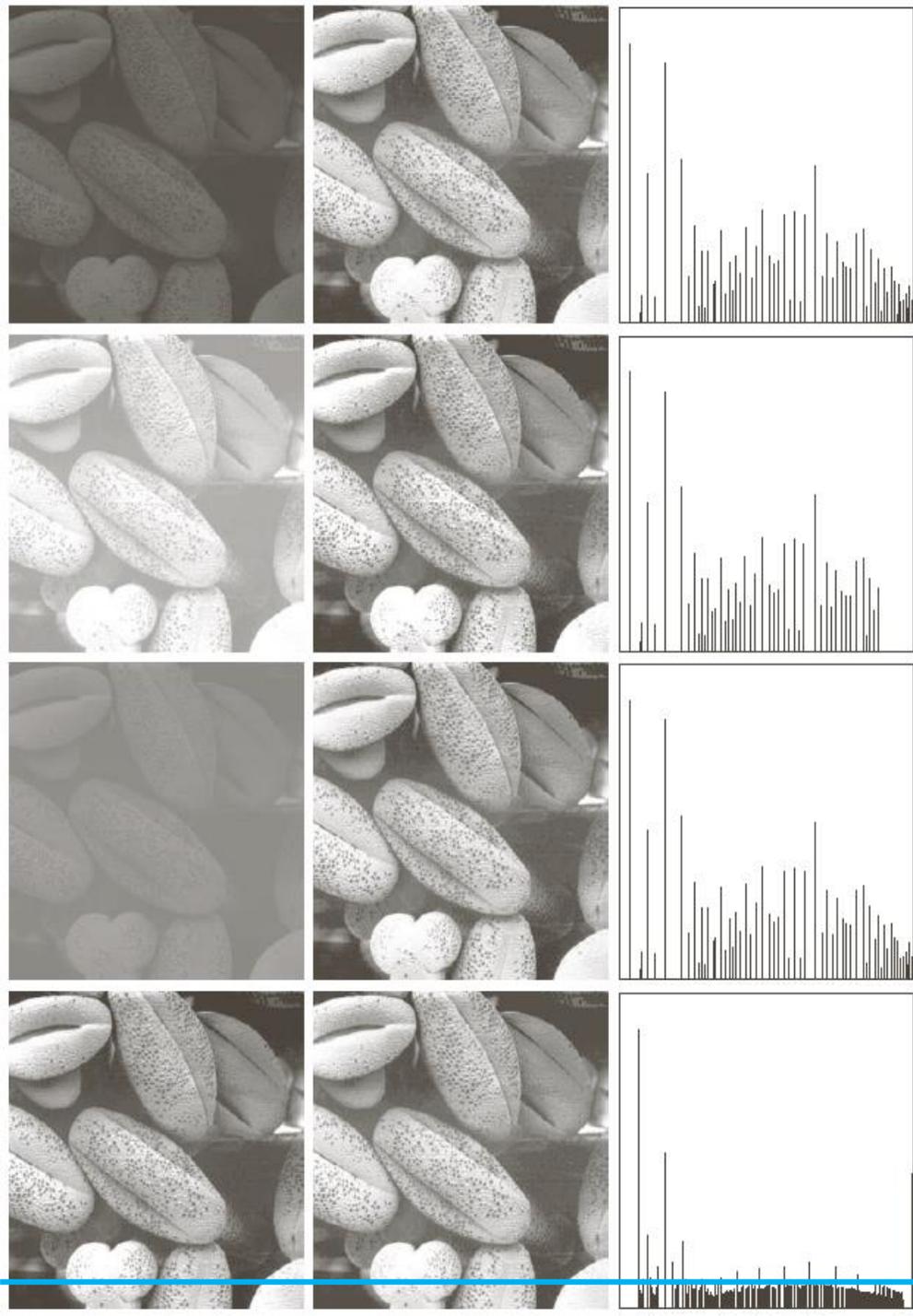


FIGURE 3.21 Transformation functions for histogram equalization. Transformations (1) through (4) were obtained from the histograms of the images (from top to bottom) in the left column of Fig. 3.20 using Eq. (3.3-8).

Question

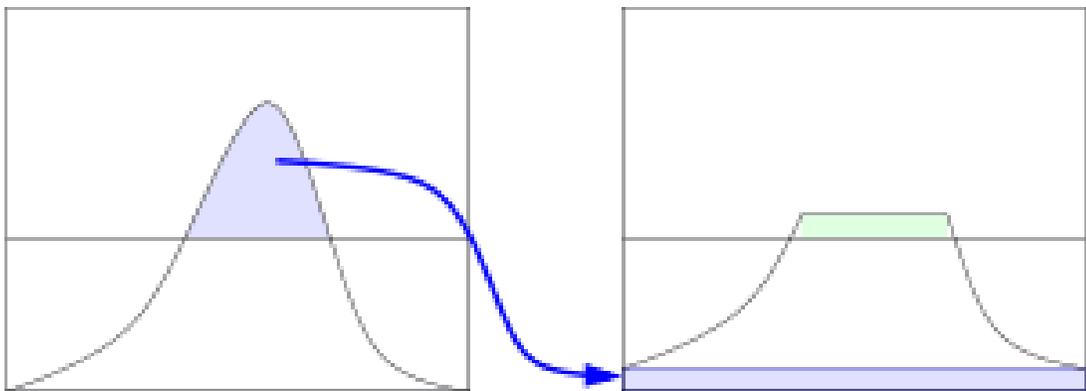
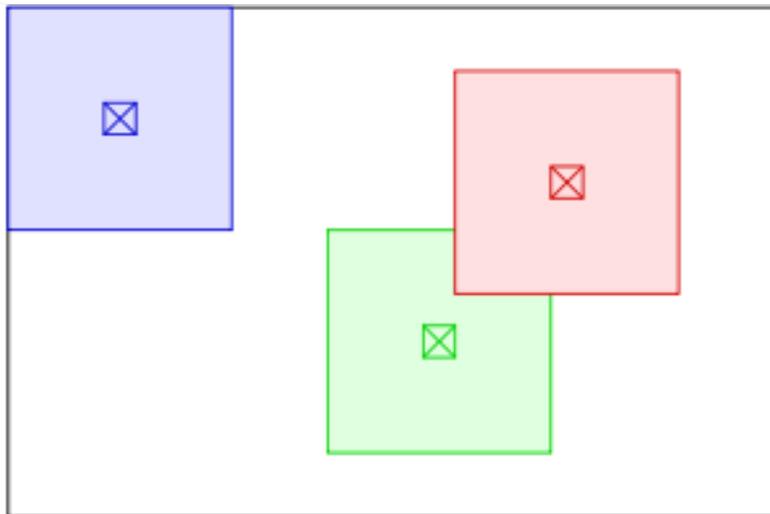
Is histogram equalization always good?

No

Histogram Matching
Local Histogram Equalization
Adaptive Histogram Equalization

AHE (Adaptive Histogram Equalization)

تطبيق تسوية الهستوغرام على أجزاء من الصورة وبشكل مختلف.

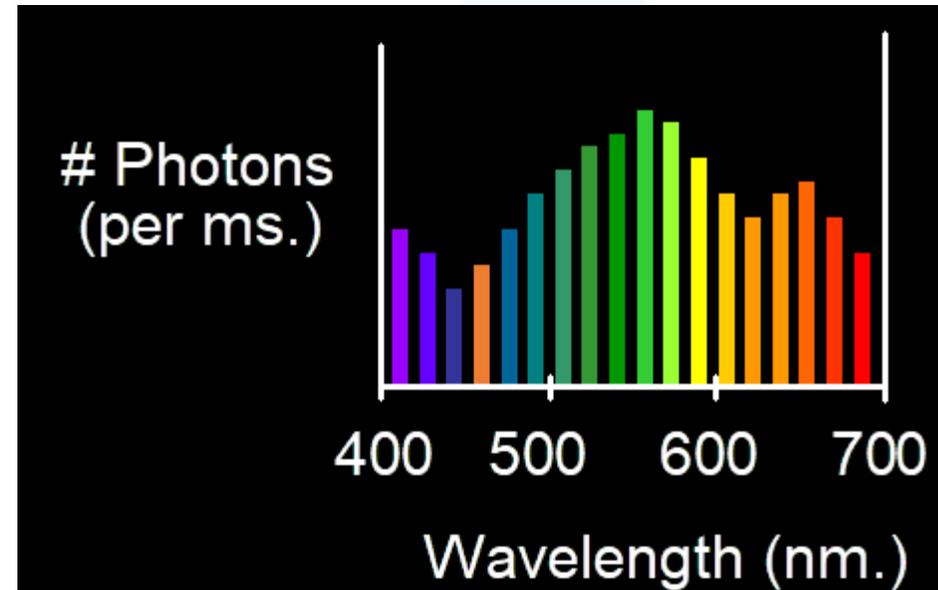
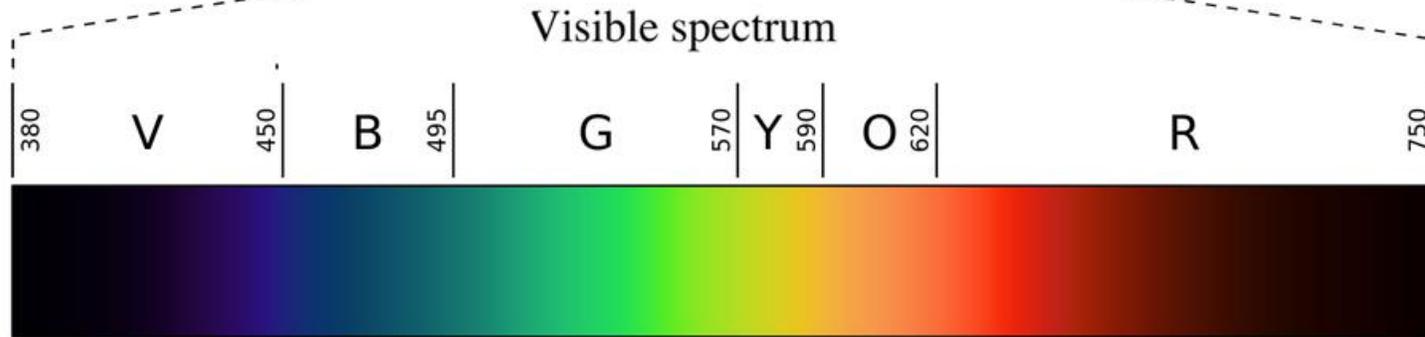
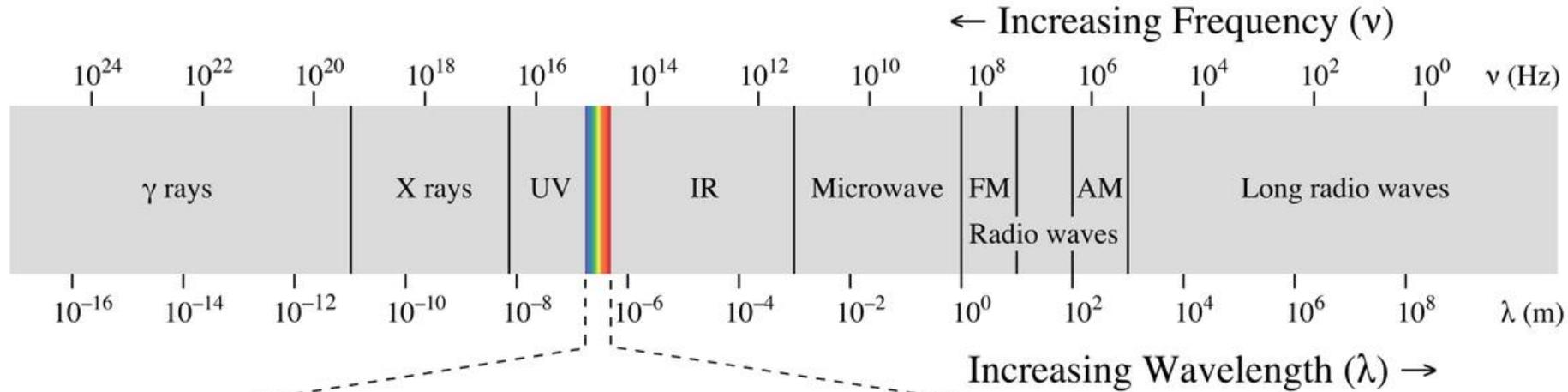


Contrast Limited AHE (CLAHE)

يتم قص الهستوغرام عند حد معين يسمى $clipLimit$ عادة بين 3 و 4 ليتم إعادة توزيع قيم البكسلات التي تتجاوز هذا الحد على كامل فضاء السويات من 0 وحتى $L-1$.

تقسم الصورة إلى مربعات بحجم $n*n$ عادة $8*8$ ويتم تطبيق مساواة الهستوغرام محلياً داخل كل صورة فرعية منها على حدى

Colors



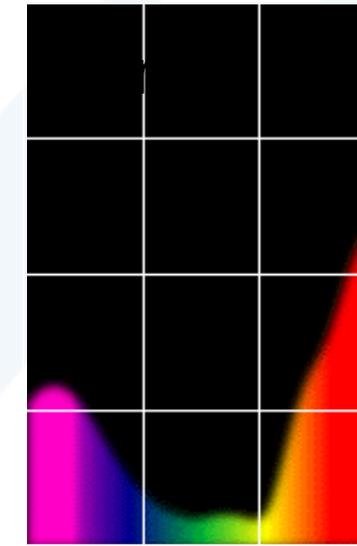
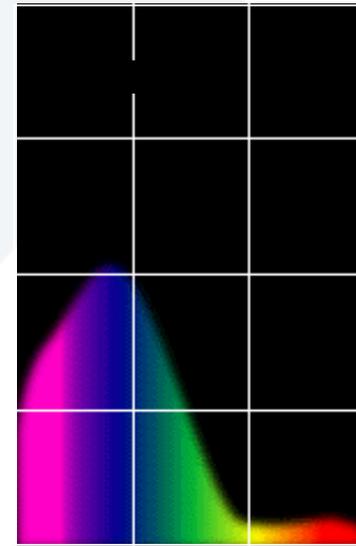
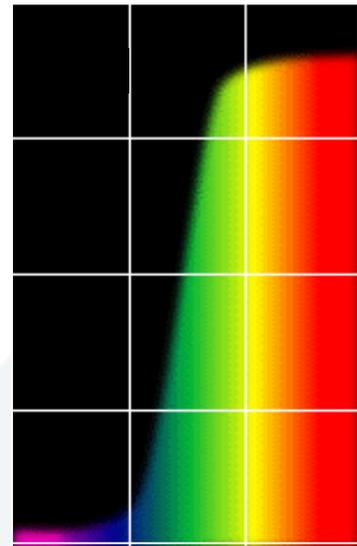
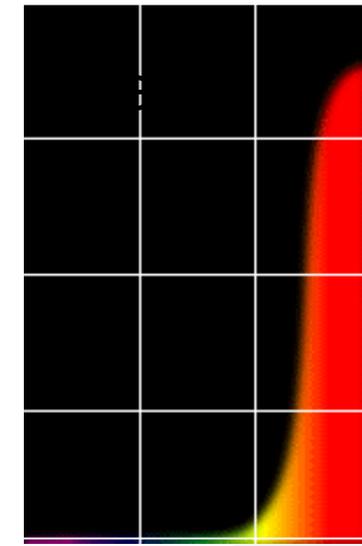
Colors

Some examples of the reflectance spectra of surfaces

بعض الأمثلة عن انعكاس الطيف عن الأسطح الملونة



% Photons Reflected



400

700

400

700

400

700

400

700

Wavelength (nm)

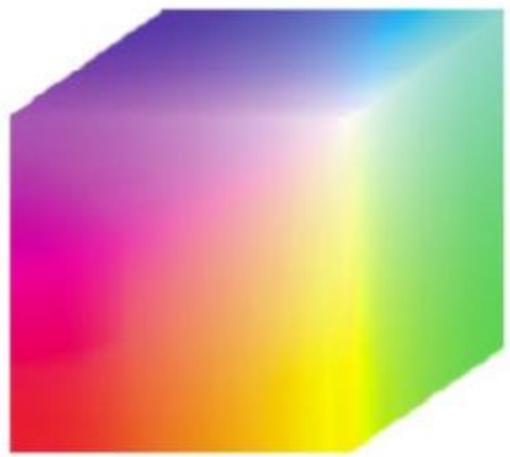
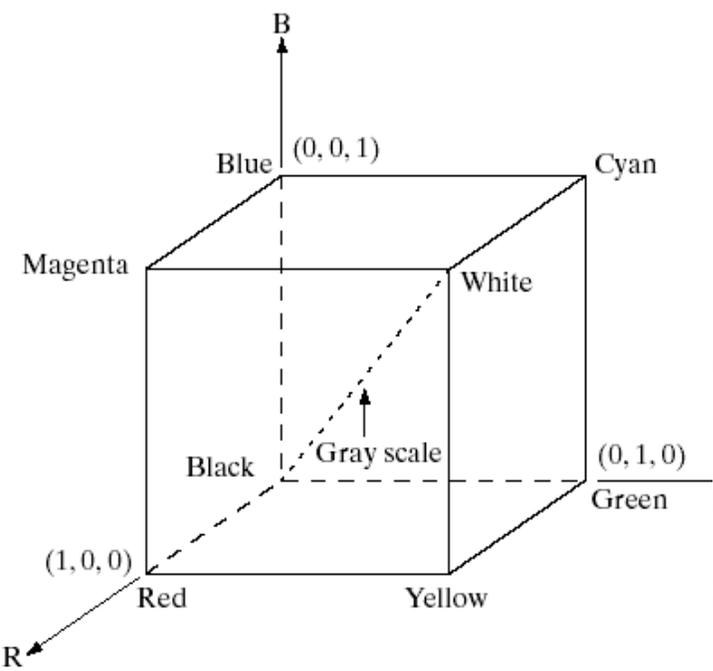
Color Space: Default (RGB): Red, Green and Blue Complement (CMYk): Cyan, Magenta, Yellow and Black

- Default color space

- الجول اللوني الافتراضي كل مركباته لونية

- Colored image $M \times N \times 3$

- صورة ملونة m سطر n عمود و 3 مركبات لونية



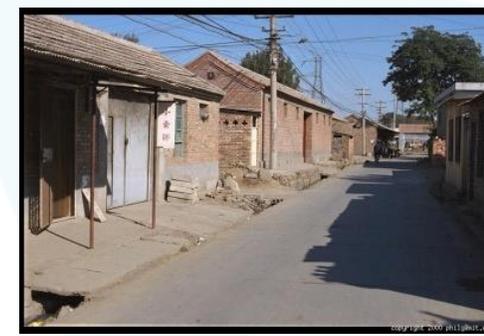
R
(G=0,B=0)



G
(R=0,B=0)



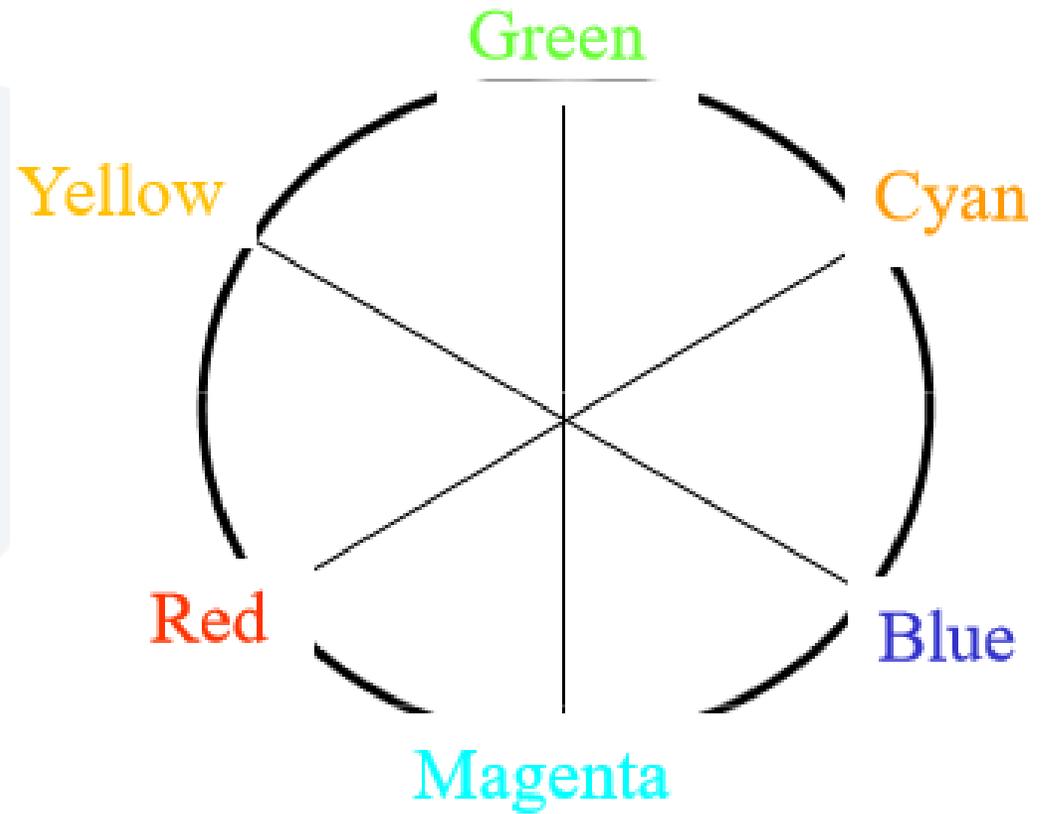
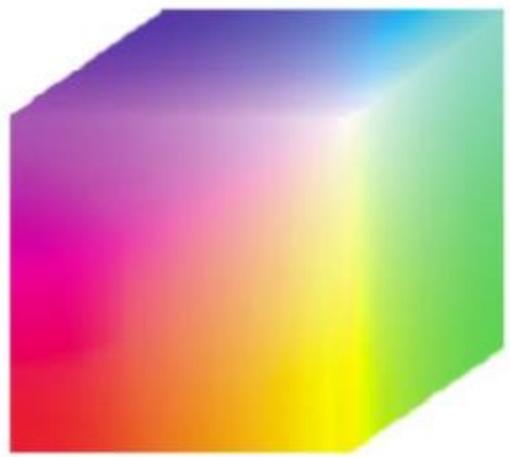
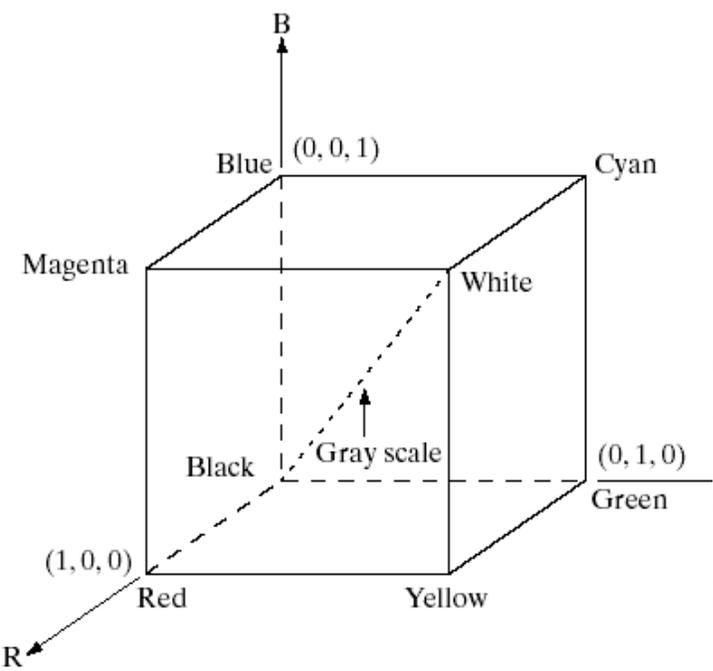
B
(R=0,G=0)



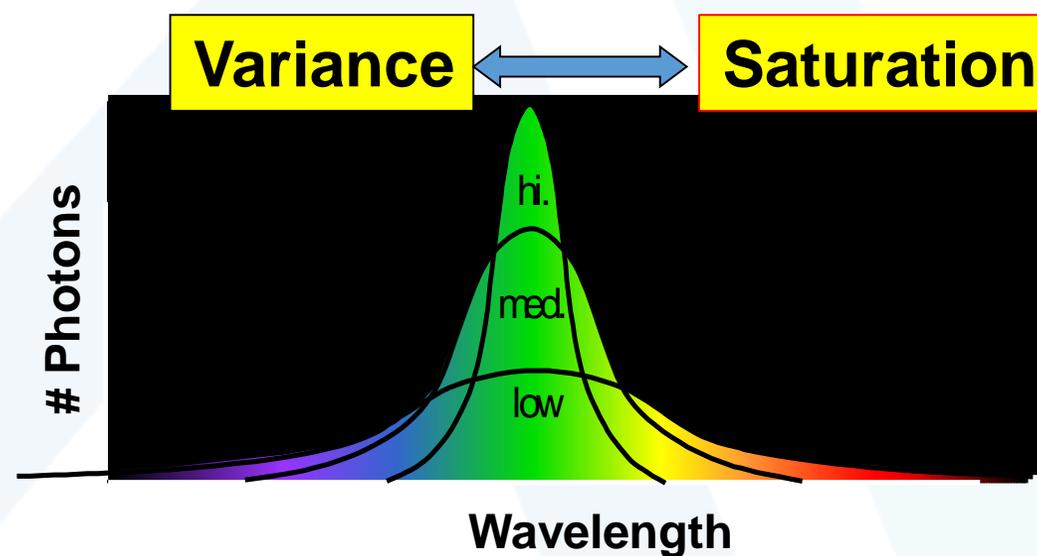
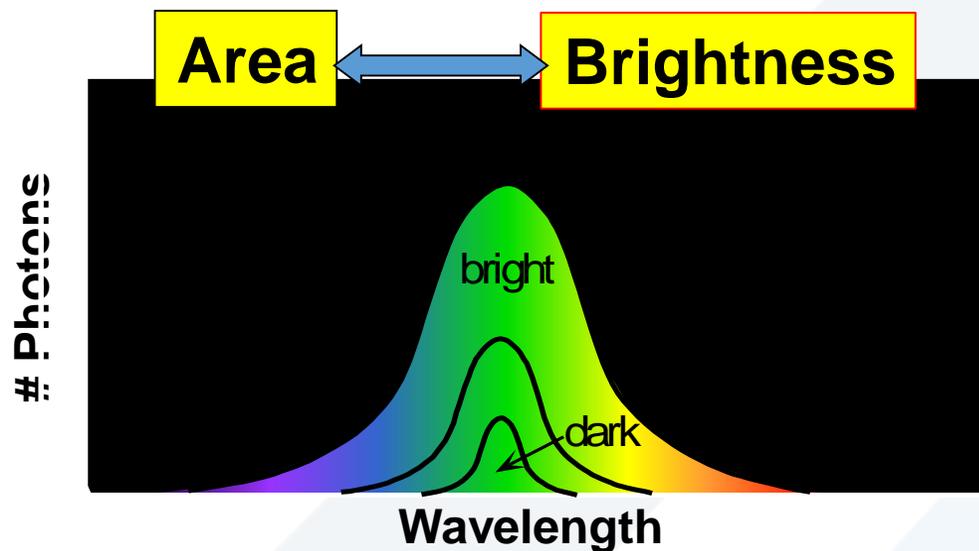
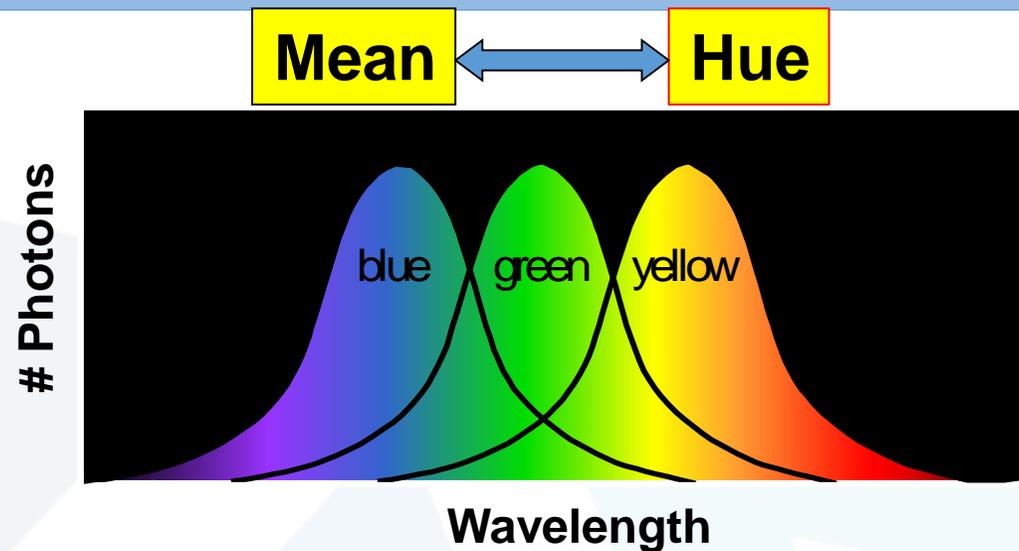
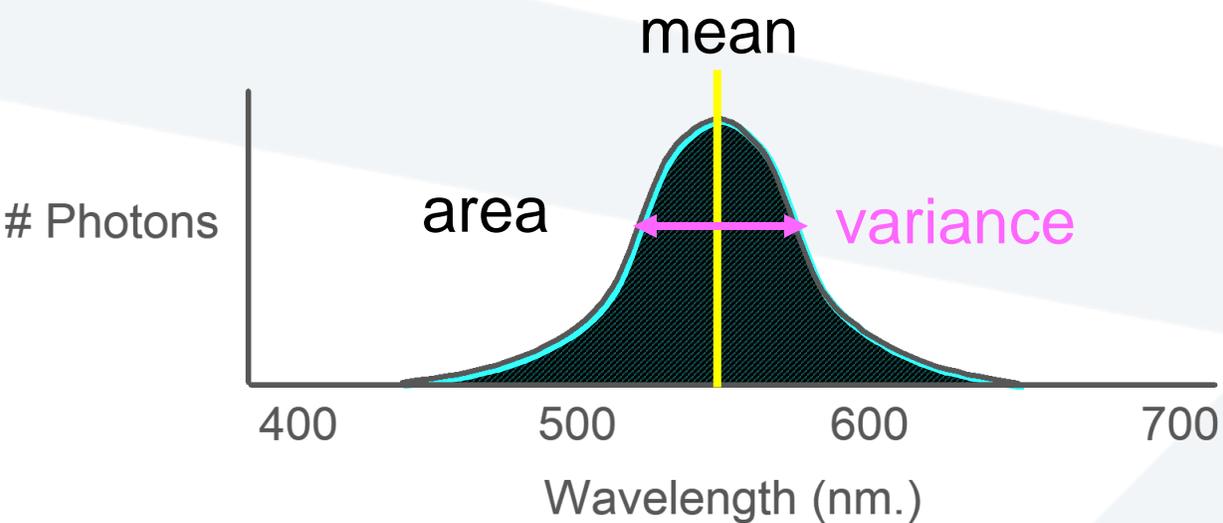
Color Space: Default (RGB): Red, Green and Blue Complement (CMYk): Cyan, Magenta, Yellow and Black

- CMYK is the complement of RGB

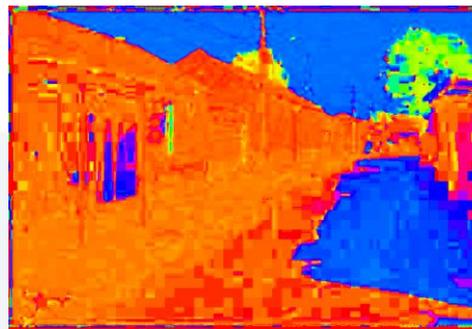
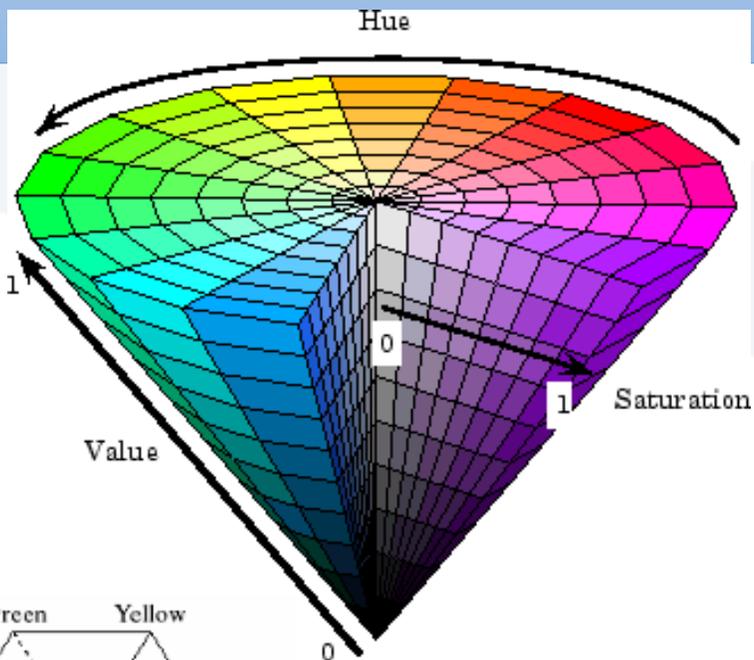
• النظام اللوني المتمم للنظام RGB



Color space (HSI): Hue, Saturation and Illumination



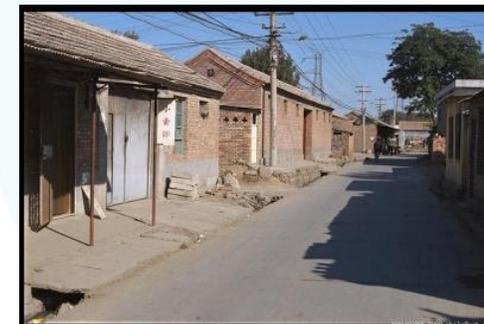
Color space (HSI): Hue, Saturation and Illumination



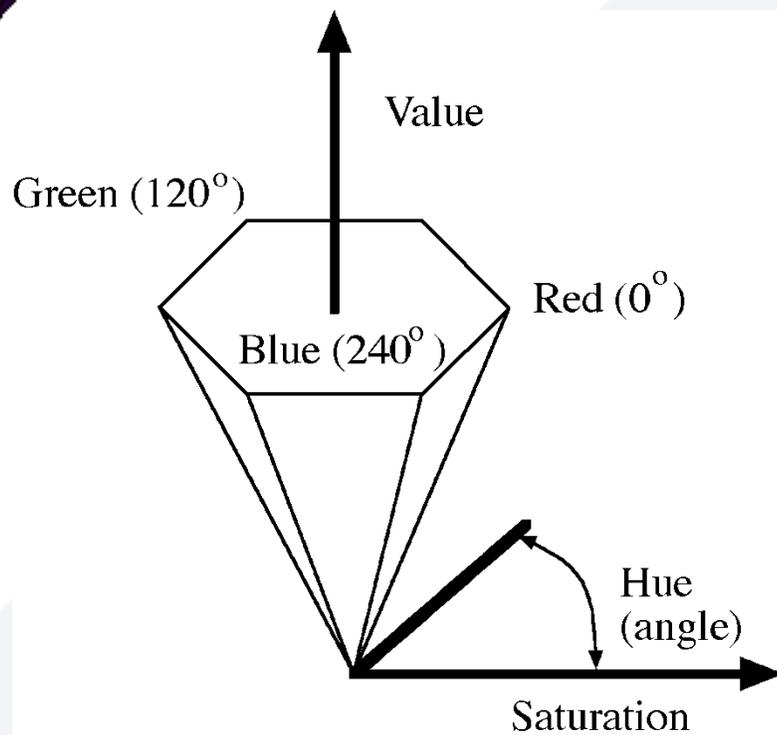
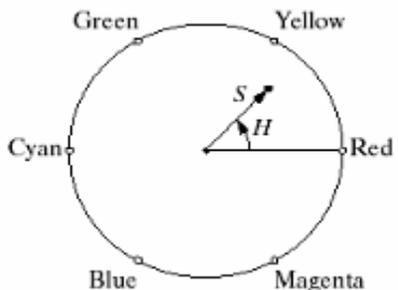
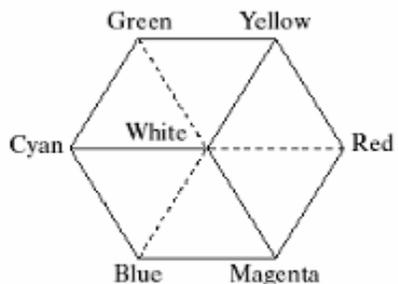
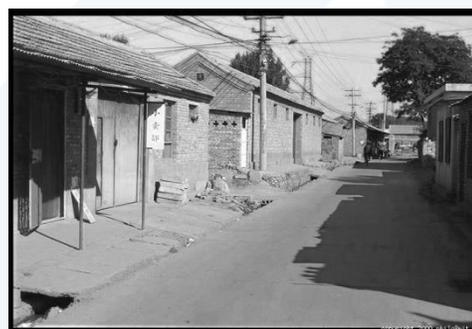
H
(S=1,V=1)



S
(H=1,V=1)



V
(H=1,S=0)



Color Image Calculations

- Images represented as a matrix
- Suppose we have a NxM RGB image called “im”
 - $im(1,1,1)$ = top-left pixel value in R-channel
 - $im(y, x, b)$ = y pixels down, x pixels to right in the bth channel
 - $im(N, M, 3)$ = bottom-right pixel in B-channel
- Uint8 is an image with values (0 to 255)
- Double format contains values (0 to 1)

Gray Level Scale: $0 \rightarrow 2^k - 1$

Gray Levels $L = 2^k$

Example:

5-bit gray image contains: $2^5 = 32$
levels

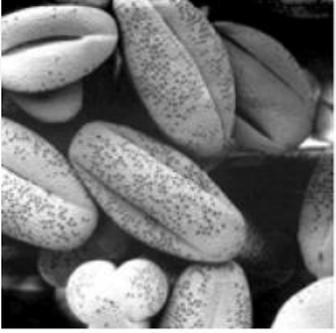
Range of gray levels is: $0 \rightarrow 2^5 - 1 =$
 $0 \rightarrow 31$

Diagram illustrating the structure of an RGB image matrix. The matrix is shown as a grid of values, with rows and columns labeled. A blue arrow labeled "row" points downwards on the left side. A blue arrow labeled "R" points to the right above the main grid. To the right of the main grid are three smaller matrices labeled "G" and "B". The top-left cell of the main grid is highlighted with a red box.

0.92	0.93	0.94	0.97	0.62	0.37	0.85	0.97	0.93	0.92	0.99
0.95	0.89	0.82	0.89	0.56	0.31	0.75	0.92	0.81	0.95	0.91
0.89	0.72	0.51	0.55	0.51	0.42	0.57	0.41	0.49	0.91	0.92
0.96	0.95	0.88	0.94	0.56	0.46	0.91	0.87	0.90	0.97	0.95
0.71	0.81	0.81	0.87	0.57	0.37	0.80	0.88	0.89	0.79	0.85
0.49	0.62	0.60	0.58	0.50	0.60	0.58	0.50	0.61	0.45	0.33
0.86	0.84	0.74	0.58	0.51	0.39	0.73	0.92	0.91	0.49	0.74
0.96	0.67	0.54	0.85	0.48	0.37	0.88	0.90	0.94	0.82	0.93
0.69	0.49	0.56	0.66	0.43	0.42	0.77	0.73	0.71	0.90	0.99
0.79	0.73	0.90	0.67	0.33	0.61	0.69	0.79	0.73	0.93	0.97
0.91	0.94	0.89	0.49	0.41	0.78	0.78	0.77	0.89	0.99	0.93

Labels: row, R, G, B

Image Types



- صور ثنائية Binary Image قيمها 0 أو 1 حجمها التخزيني لكل بكسل 1 بت

- صور رمادية Gray Level Image: مجالها [0-L-1] وحجمها التخزيني k بت لكل بكسل

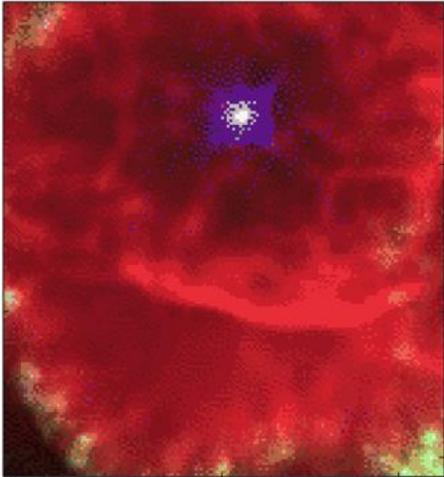
- صور ملونة Colored Image: عدة مركبات رمادية (2,3,4)

- صور ملونة بنظام لوني Color System

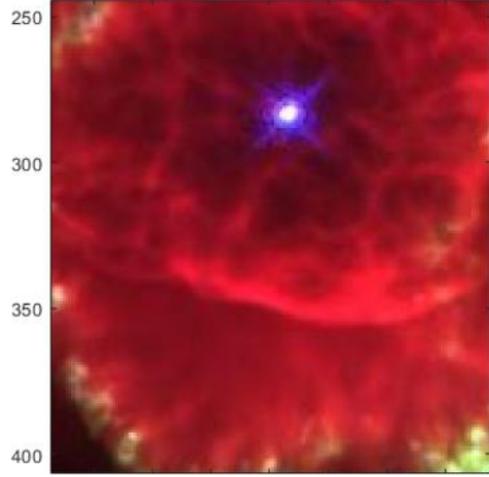
- RGB

- CMYK

- صور مفهرسة (دلالية) Indexed Image



Indexed



240 260 280 RGB 320 340 360



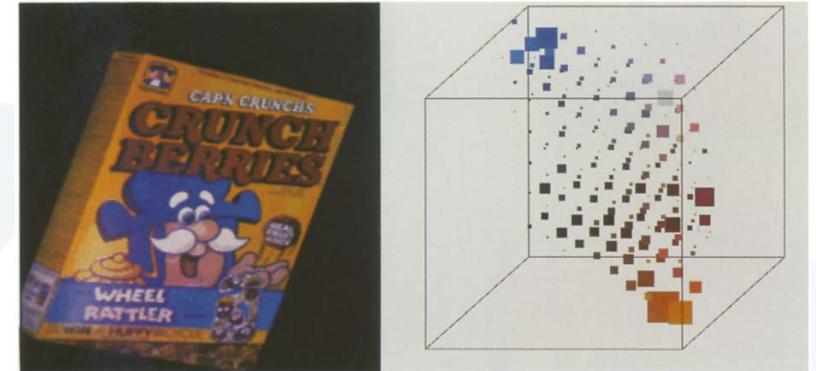
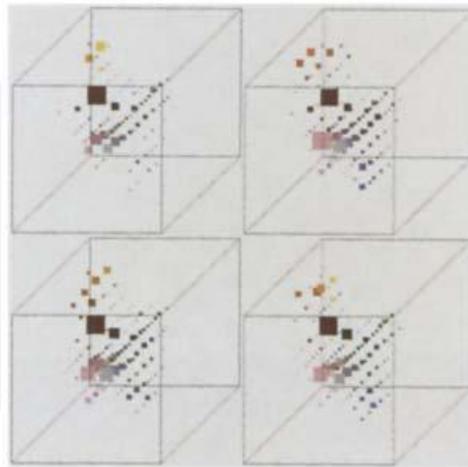
CMYK

Image Types

- | Name | Description |
|---------|---------------------------------------------------------------------|
| double | - double precision, floating point numbers (8 bytes per element) |
| uint8 | - unsigned 8-bit integers in the range [0-255] (1 byte per element) |
| uint16 | - unsigned 16-bit integers in the range [0,65535] |
| uint32 | - unsigned 32-bit integers in the range [0,4294967295] |
| int8 | - signed 8-bit integers in the range [-128,127] |
| int16 | - signed 16-bit integers in the range [-32768,32767] |
| int32 | - signed 32-bit integers in the range [-2147483648,2147483647] |
| single | - single precision floating-point numbers (4 bytes per element) |
| char | - characters (2 bytes per element using Unicode rep.) |
| logical | - values are 0 or 1 (1 byte per element) |
- All numeric computations (first 8 entries in the above table) in MATLAB are done using double quantities.
 - uint8 is the frequently used 8-bit image.

Uses of color in computer vision

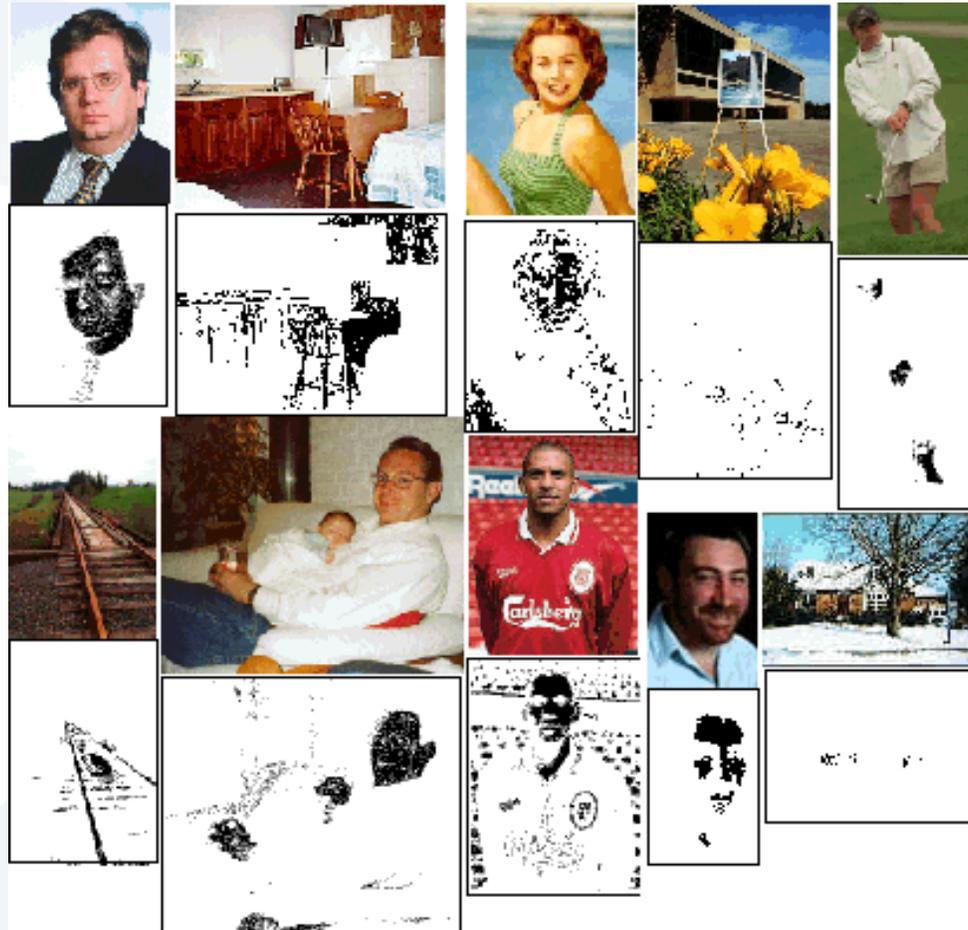
- Color histograms for indexing and retrieval



Swain and Ballard, [Color Indexing](#), IJCV 1991.

Uses of color in computer vision

- Skin detection



M. Jones and J. Rehg, [Statistical Color Models with Application to Skin Detection](#), IJCV 2002.

Uses of color in computer vision

- Image segmentation and retrieval



blob and feature importance:				
	blob (overall)	color	texture	location shape
blob 2	very	very	somewhat	not
blob 1	somewhat	very	somewhat	not

Querying from 10000 images (full search).

C. Carson, S. Belongie, H. Greenspan, and Ji. Malik, Blobworld: Image segmentation using Expectation-Maximization and its application to image querying, ICVIS 1999.

Uses of color in computer vision

- Robot soccer



M. Sridharan and P. Stone, [Towards Eliminating Manual Color Calibration at RoboCup](#). RoboCup-2005: Robot Soccer World Cup IX, Springer Verlag, 2006

Uses of color in computer vision

- Color histograms for indexing and retrieval

