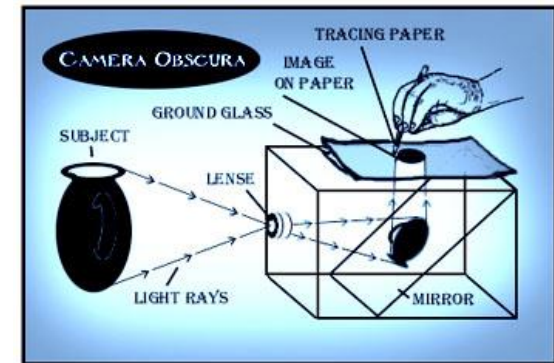
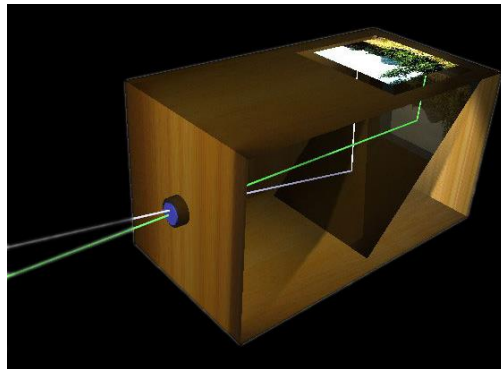
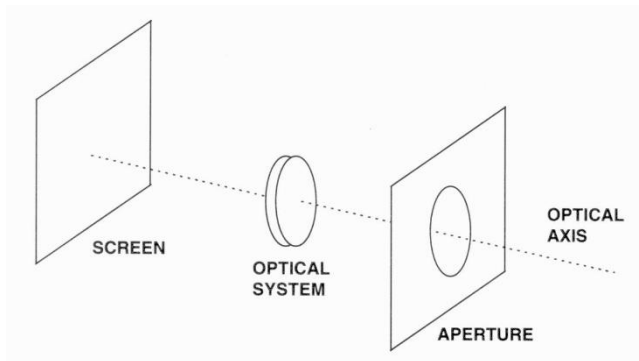


MODELUL CAMEREI SI PROCESUL DE FORMARE A IMAGINII

Scop:

- prezentarea principalilor parametri ai sistemelor de achiziție (camere)
- principiile procesului de formare a imaginilor.

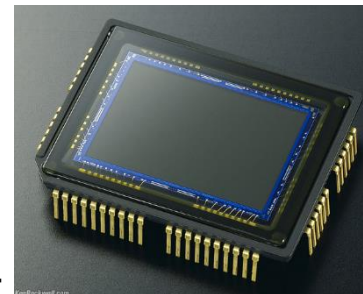
Elementele de bază ale unei camere de luat vederi



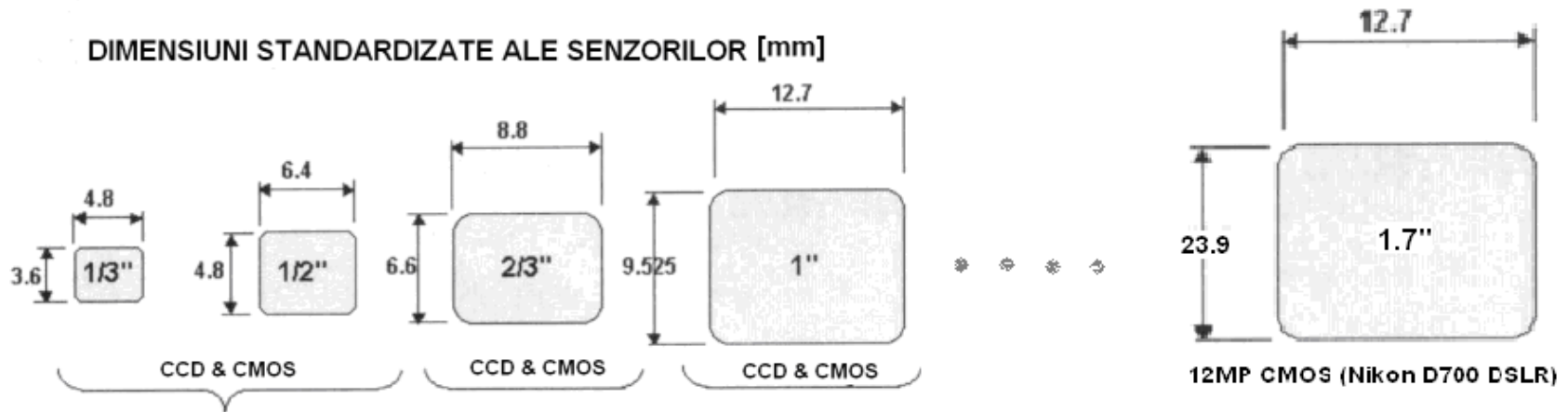
Obiectiv (ansamblu lentile):



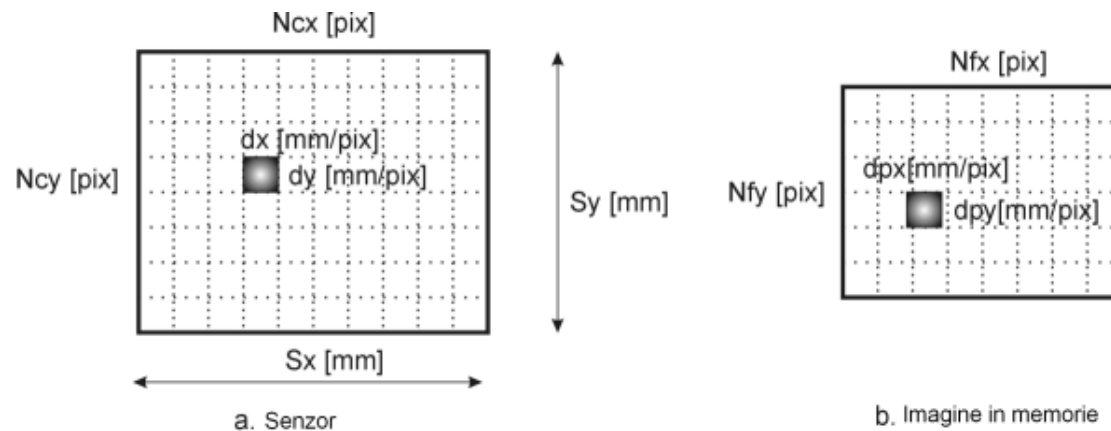
Senzor:



Parametrii dispozitivului senzorial



Dimensiuni standard ale senzorilor din camerele de luat vederi



Parametrii senzorului CCD/CMOS respectiv a imaginii în memorie

Parametrii senzorului:

S_x – lățimea dispozitivului CCD [mm] (valorile standard sunt prezentate în figura de mai sus);

S_y – înălțimea dispozitivului CCD [mm] (valorile standard sunt prezentate în figura de mai sus);

N_{cx} – numărul elementelor senzoriale pe direcția orizontală;

N_{cy} – numărul elementelor senzoriale pe direcția verticală;

dx – distanța dintre centrele a două elemente senzoriale consecutive pe direcție orizontală:

$$dx = S_x / N_{cx}$$

dy - distanța dintre centrele a două elemente senzoriale consecutive pe direcție verticală:

$$dy = S_y / N_{cy}$$

$N_x \times N_y$ – rezoluția spațială

Parametrii imaginii (din memorie / framegrabber):

N_{fx} – numărul de pixeli în direcția orizontală, prin scalarea / eșantionarea unei linii de imagine orizontală de către computer / framegrabber;

N_{fy} – numărul de pixeli în direcția verticală

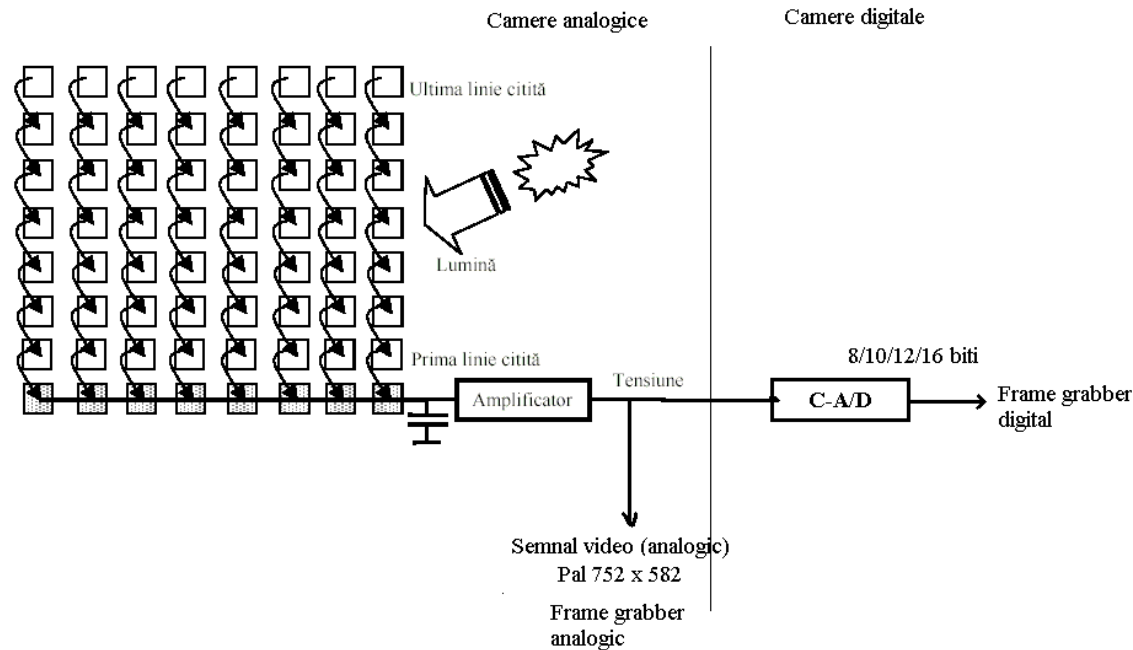
dpx – dimensiunea orizontală efectivă a unui pixel din memorie: $dpx = dx * N_{cx} / N_{fx}$;

dpy – dimensiunea verticală efectivă a unui pixel din memorie: $dpy = dy * N_{cy} / N_{fy}$;

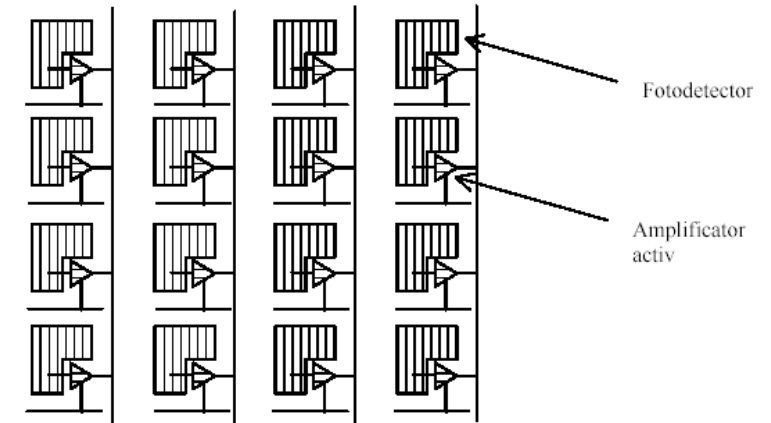
N_{cx} / N_{fx} – factorul de scalare / eșantionare a liniilor de imagine orizontale.

Tipuri de senzori

Senzori CCD (Charged Coupled Device)



Senzori CMOS



Example camera/frame grabbers:

- camera analogical: <http://www.stemmer-imaging.co.uk/en/products/series/jai-a1/>
- frame grabber analogic: <http://www.stemmer-imaging.co.uk/en/products/series/dalsa-pc2-comp/>
- frame grabber digital (Camera Link): <http://www.silicon-software.info/en/products/98-me4-ad4-cl-en.html>
- camera digitala (Camera Link): <http://www.stemmer-imaging.co.uk/en/products/series/jai-a10/>
- camera digitala (Giga E sau USB): <http://www.stemmer-imaging.co.uk/en/products/series/ids-ueye-se/>

Transferul imaginilor

Camera (iesire analogica/digitala) ⇒ Frame Grabber (imagine digitala)

Standarde dedicate de transmisie digitala (camere):

- GigaE Vision: 1Gbps, (Gigabit Ethernet protocol), Cabluri low cost (CAT5e or CAT6), 100m distanta
- Camera Link: 1.2Gbps (base) ... 3.6Gbps (full)
- RS 422 / EIA-644 (LVDS): 655Mbps
- IEEE 1394: 400 Mbps / 800 Mbps
- USB 3.0: 3.2 Gbps
- USB 2.0: 480 Mbps
- USB 1.1 :12 mbps

Diagram 10: 8-bit digital video.

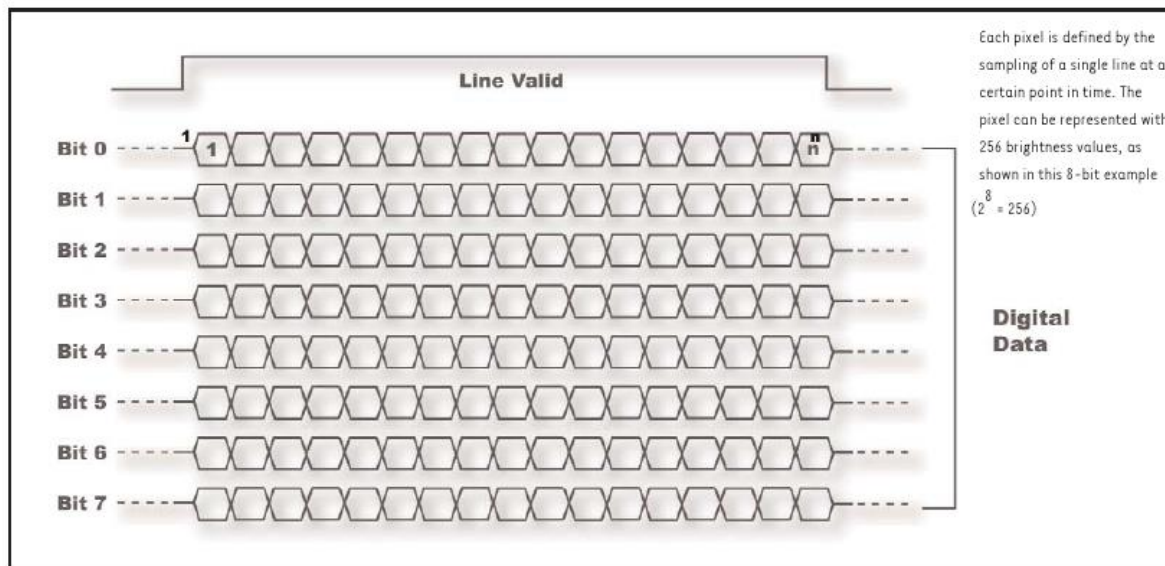
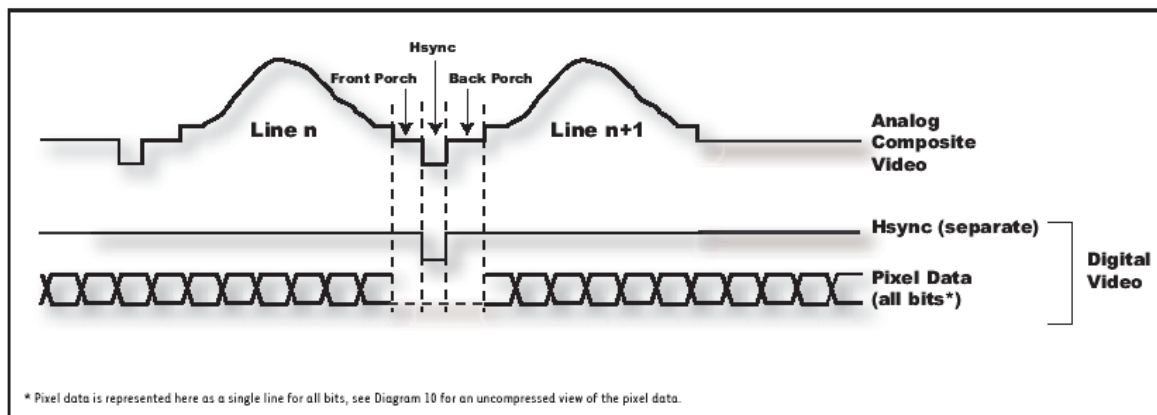


Diagram 9: Equivalence between analog composite and digital video



CMOS vs. CCD

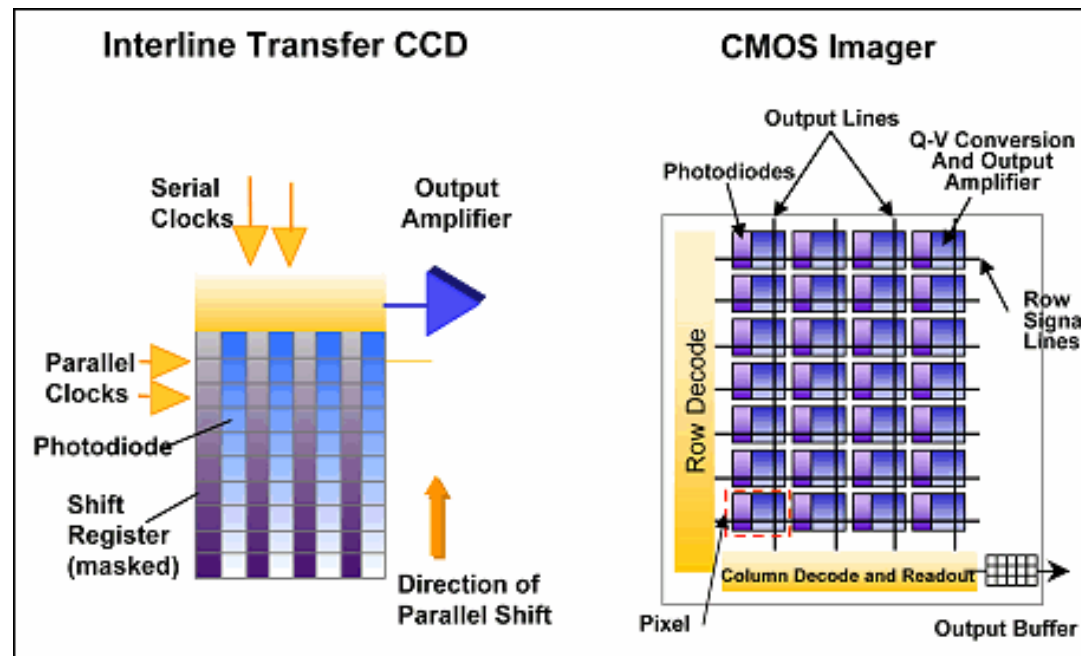


TABLE 1

Comparison of CCD and CMOS Image Sensor Features

CCD

Smallest pixel size

Lowest noise

Lowest dark current

~100% fill factor for full-frame CCD

Established technology market base

Highest sensitivity

Electronic shutter without artifacts

CMOS

Single power supply

Single master clock

Low power consumption

X, Y addressing and subsampling

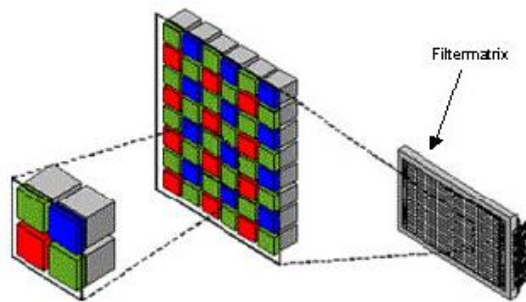
Smallest system size

Easy integration of circuitry

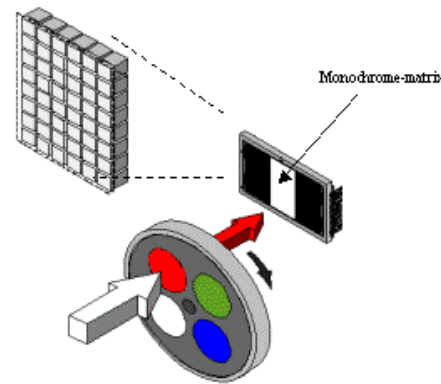
Senzori color

a) Bayer mask

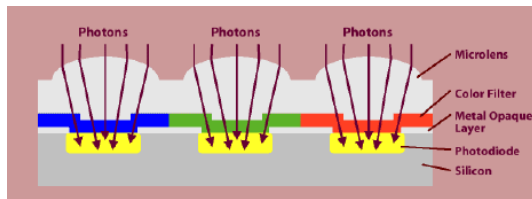
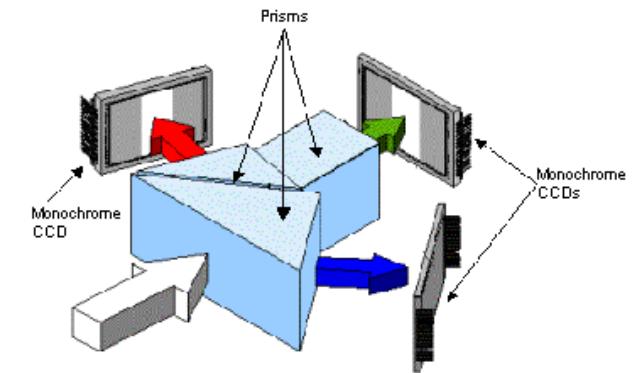
For color photos, the majority of commercial digital color cameras use pixels covered with special color filters in the three primary colors red, green and blue.



b) Filter wheel



c) 3-CCD camera



4) Foveon X3 sensor

- <http://www.foveon.com/article.php?a=67>
- http://www.foveon.com/files/ccd_vs_x3_photondropv5.swf
- http://www.foveon.com/files/image_comparisonv2_2.swf
- http://en.wikipedia.org/wiki/Foveon_X3_sensor

Tutoriale senzori (tema de casa - studiu individual)

JAI 3CCD vs Bayer color presented by STEMMER IMAGING:

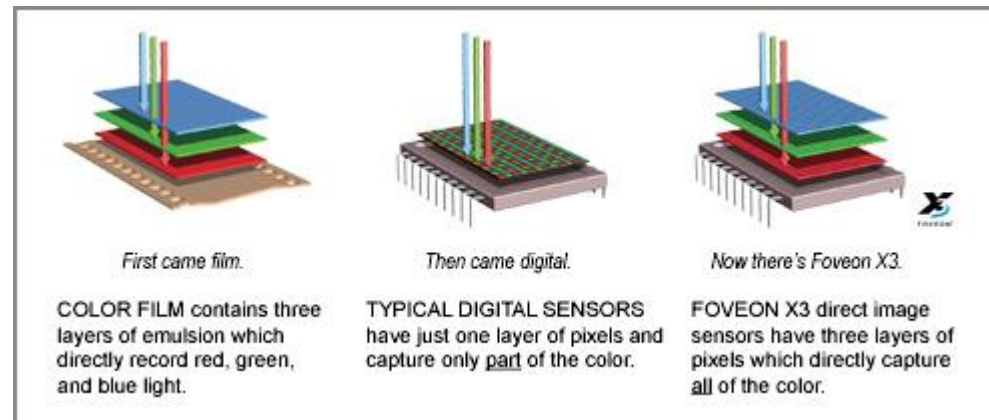
<https://www.youtube.com/watch?v=2D9DkVDcUeU>

Digital Camera Sensor Technology - Part 2. The Image Processing Pipeline:

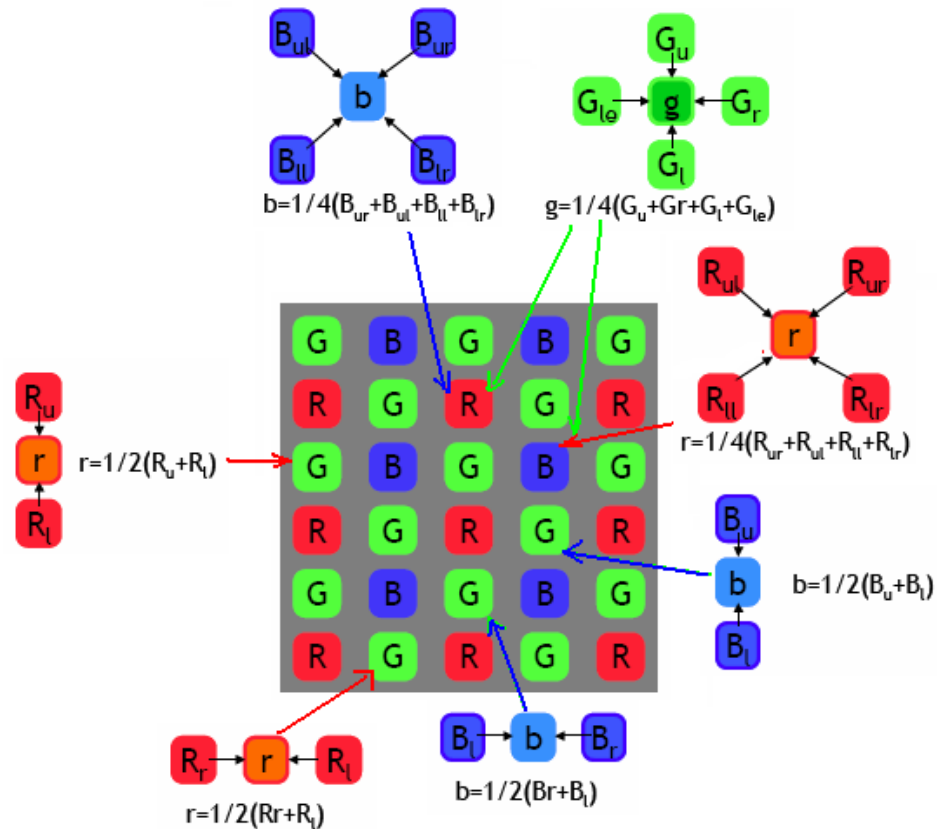
<https://www.youtube.com/watch?v=NJUw48PCRWI>

Digital Camera Sensor Technology - Part 3 CCD Sensors explained:

<https://www.youtube.com/watch?v=Xkput-1xNYE>



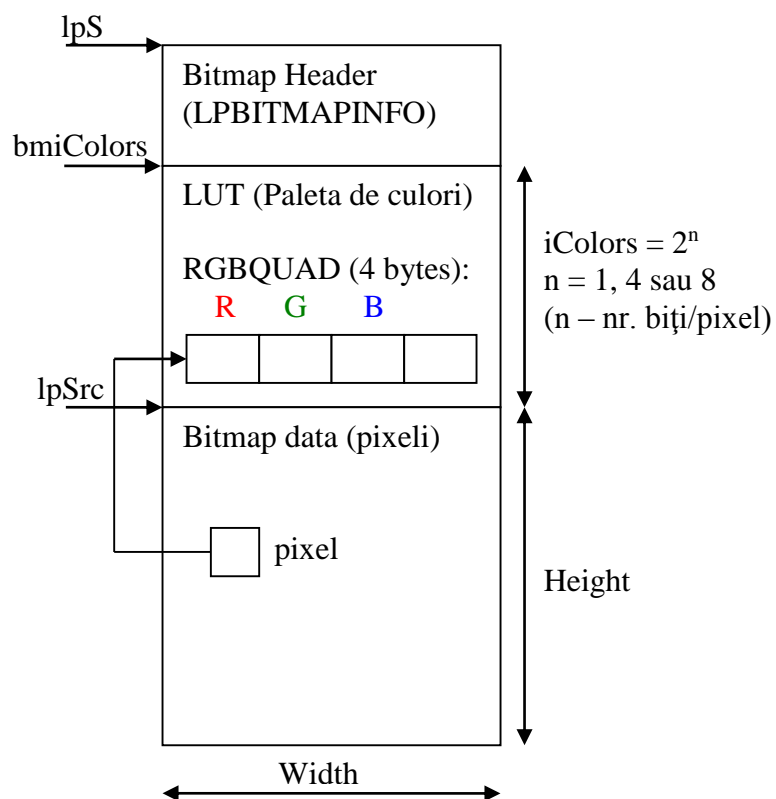
Decodificarea pattern-ului Bayer



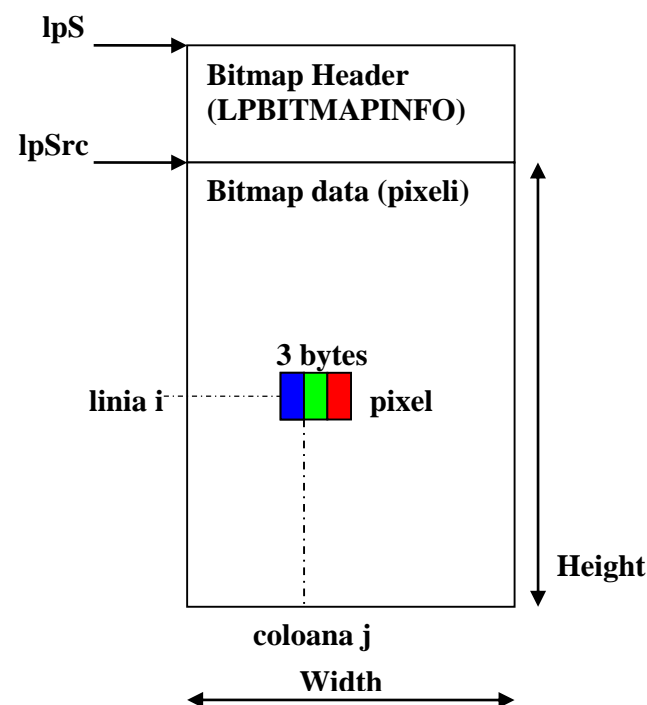
Calitatea imaginii (Bayer pattern vs. 3CCD) - JAI 3CCD vs Bayer color presented by STEMMER IMAGING: <https://www.youtube.com/watch?v=2D9DkVDcUeU>

Formatul de reprezentare a imaginilor

- rezolutia spatiala : $N_x \times N_y$ (Width x Height)
- rezolutia / adâncimea de culoare := numarul de culori/nuanțe codificate intr-un pixel
 $n = 1, 4, 8, 16, 24, 32 \dots$ Biti / pixel $\Rightarrow 2^n$ culori / nuante



Structura fisier bitmap cu paleta de culori/nuante (1, 4, 8 biti/pixel)



Structura fisier bitmap RGB24 (24 biti/pixel)

Reprezentarea culorilor / nuanțelor

Modelul de culoare RGB

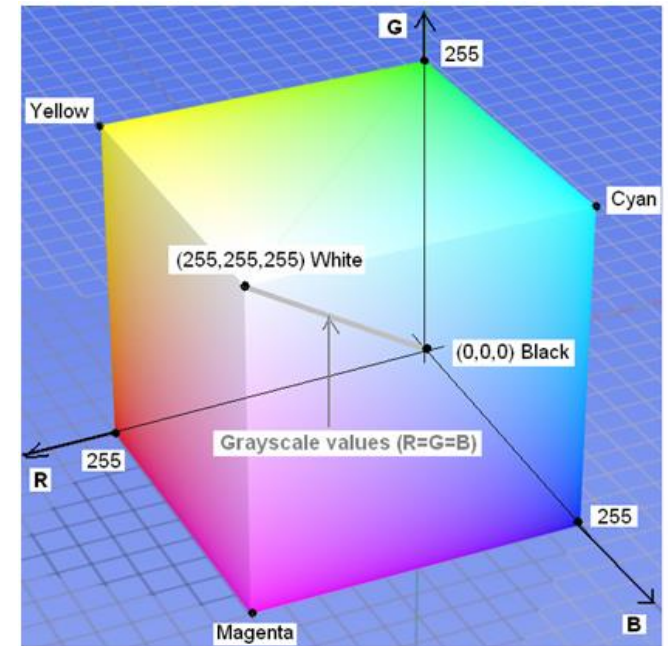
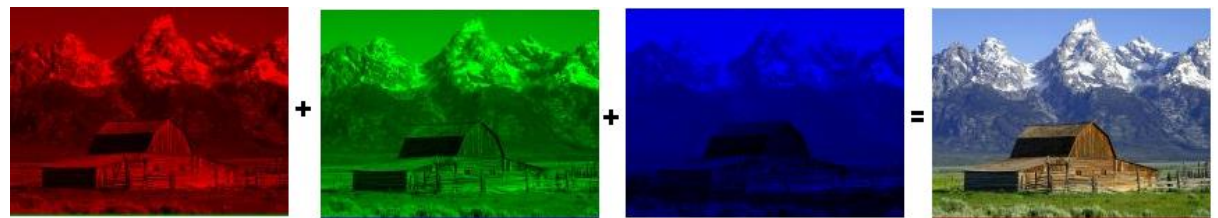
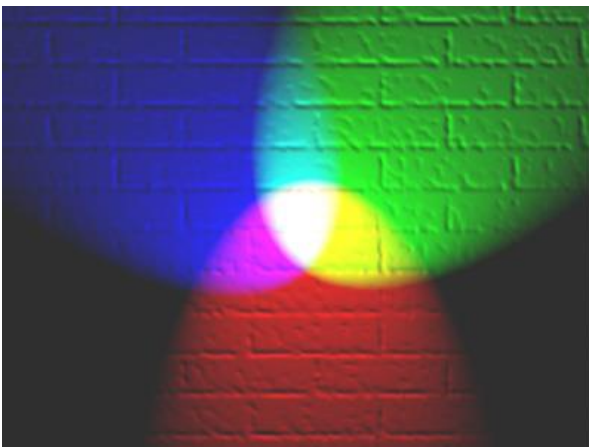
RGB \Rightarrow Culoarea fiecărui pixel (atât pentru echipamentele de achiziție – camere) cât și pentru afișare (TV, CRT, LCD) se obține prin combinația a trei culori primare: **roșu**, **verde** și **albastru**

(**Red**, **Green** și **Blue**)

\Rightarrow spațiu de culoare aditiv ($R+G+B \Rightarrow$ **Alb**)

Imagini “grayscale” /monocrome:

$R = G = B$ (diagonal principala a cubului)



Modelul de culoare RGB mapat pe un cub. În acest exemplu fiecare culoare este reprezentată pe câte 8 biți (256 de nivele) (imagini bitmap RGB24). Numărul total de culori este $2^8 \times 2^8 \times 2^8 = 2^{24} = 16.777.216$.

Reprezentarea culorilor / nuanțelor

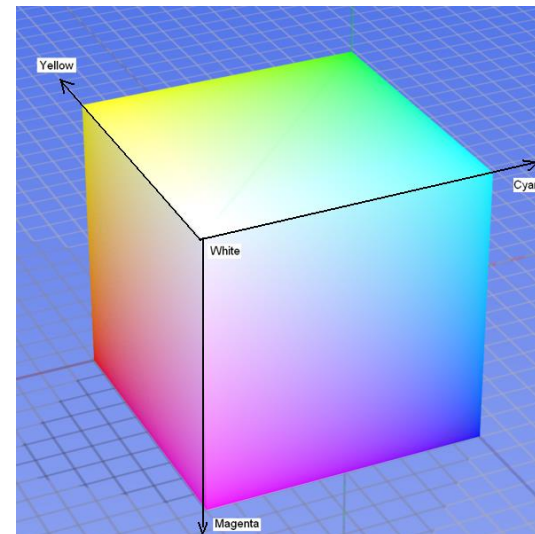
Modelul de culoare CMY

CMY: spațiu de culoare complementar față de RGB folosit la dispozitive de imprimare color (plotere / imprimante)

CMY model diferential (“subtractive”):

Alb = absenta componentelor de culoare

Negru = C + M + Y



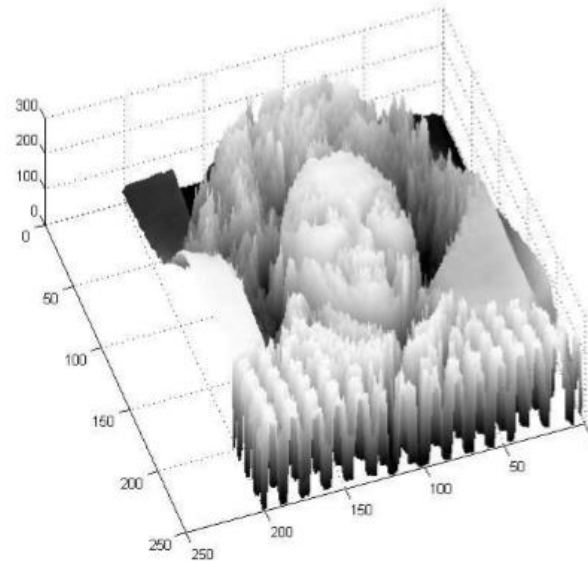
Modelul de culoare CMYK



Ce este o imagine?

Imaginea ca funcție $f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$, $f(x, y) = g$

- Imaginea poate fi văzută ca o suprafață cu înălțimi variabile (forme de relief)



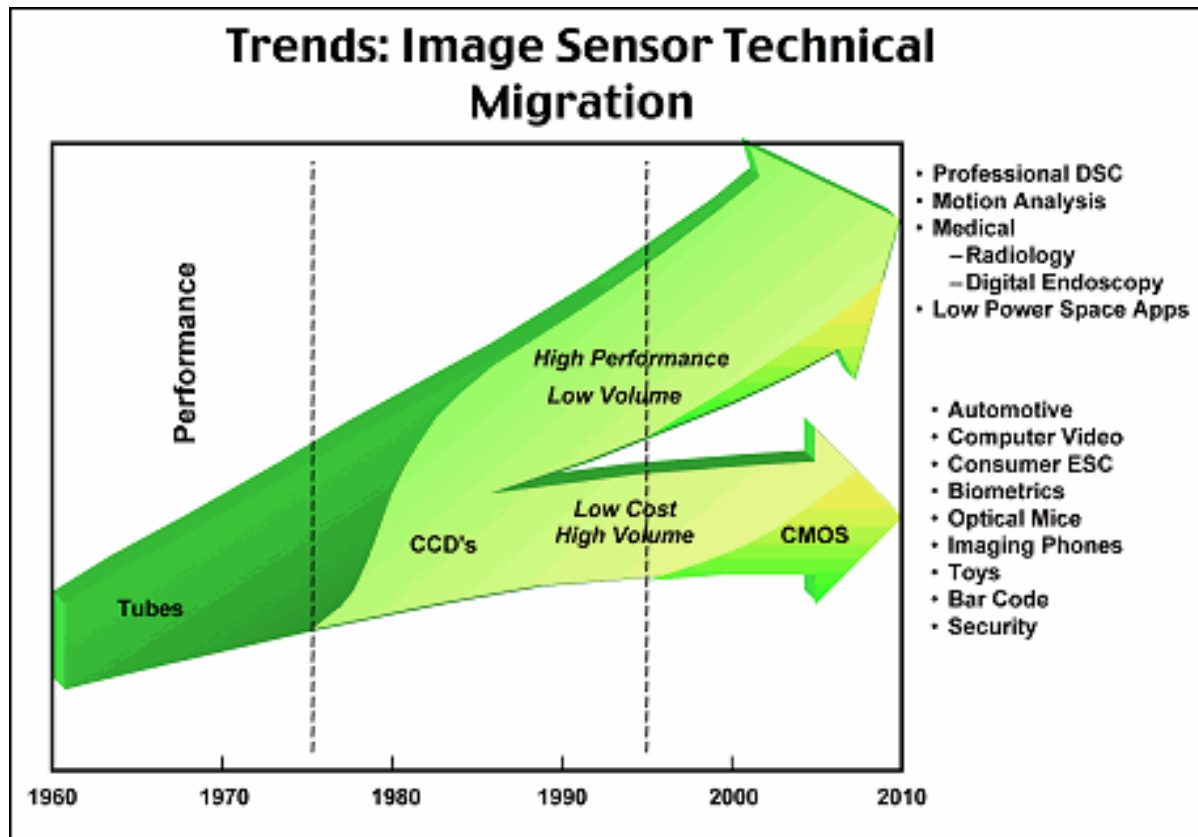
<https://s3.amazonaws.com/content.udacity-data.com/courses/ud810/slides/Unit-2/2A-L1.pdf>

Imaginea color ca funcție $f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$

- Trei funcții independente, pentru fiecare componenta de culoare, definite pe (x, y) :

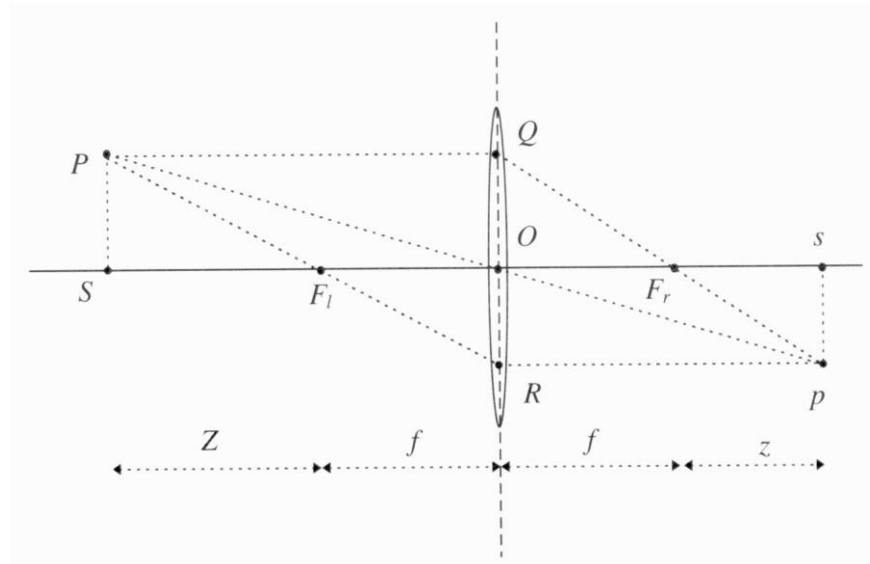
$$f(x, y) = \begin{pmatrix} r(x, y) \\ g(x, y) \\ b(x, y) \end{pmatrix}$$

Domenii de utilizare



Procesul de formare a imaginii

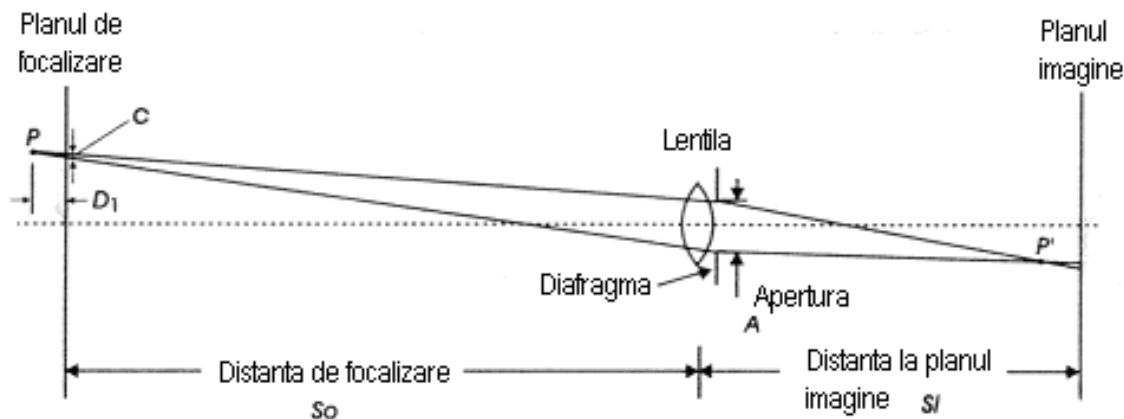
Modelul cu „lentile subțiri”



Constrângerile modelului [Trucco1998]:

1. Orice rază optică care intră prin lentilă paralelă cu axa optică, va trece pe cealaltă parte prin punctul focal;
2. Orice rază optică care intră în lentilă trecând prin punctul focal va emerge paralelă cu axa optică;
3. Raza optică care intră în lentilă trecând prin centrul O al acesteia, nu își va schimba traiectorie la ieșire. Acest tip rază se numește rază principală.

Focalizarea imaginii



Obținerea unei imagini focalizate:

1. Prin reducerea diametrului aperturii / diafragmei la un punct (camera așa numită „pinhole): [model teoretic](#)
2. Prin introducerea unui [sistem optic \(obiectiv\)](#) compus din lentile, diafragme și alte componente, proiectat pentru a face ca toate razele optice care își au originea de la același punct 3D din scenă să convergă într-un punct unic pe planul imagine.

- Cercul de confuzie (c)

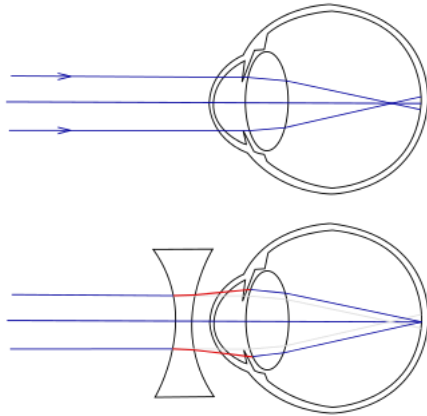
Imagine defocalizata: proiecția cercului de confuzie pe planul imagine > 1 pixel;

Imagine focalizata: proiecția cercului de confuzie pe planul imagine < 1 pixel;

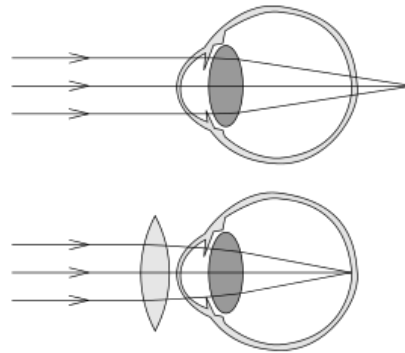
- Adâncime de focalizare: $\pm D1$ pt. care avem imagine focalizata

Analogii legate de vederea umana

<http://ro.wikipedia.org/wiki/Miopie>

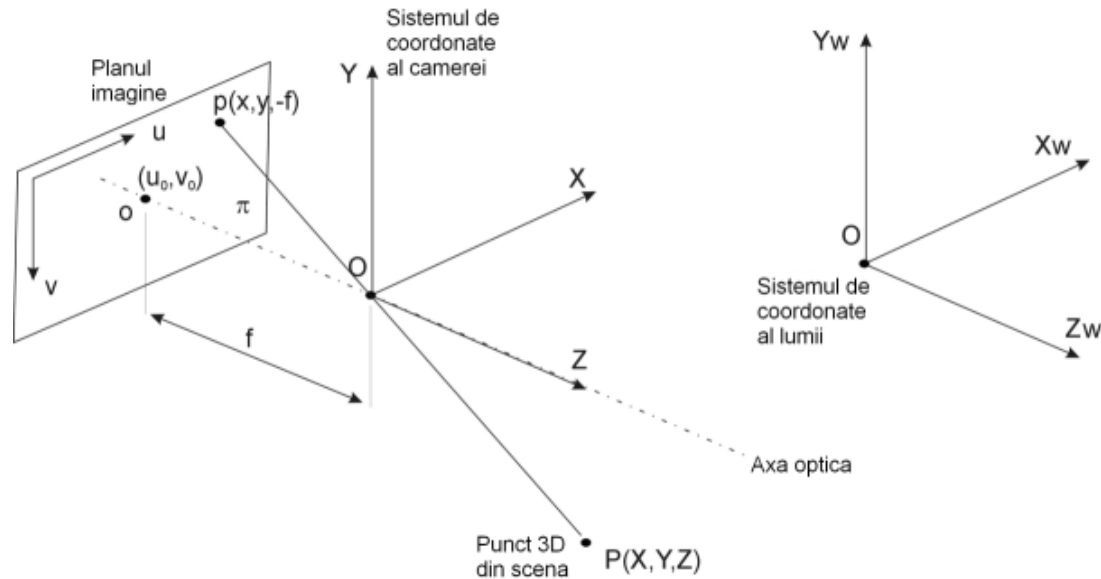


<http://ro.wikipedia.org/wiki/Hipermetropie>



Modelul perspectivă (pinhole) al camerei

Apertura / diafragma sunt aproximată cu un punct (centrul de proiecție) \Rightarrow principiul coliniarității modelului cu lentile subțiri (constrângerea 3)



Ecuțiile fundamentale ale modelului perspectivă al camerei sunt [Trucco1998]:

$$\begin{cases} x = f \cdot \frac{X_C}{Z_C} \\ y = f \cdot \frac{Y_C}{Z_C} \end{cases}$$

Unde: $[X_C, Y_C, Z_C]$ sunt coordonatele punctului \mathbf{P} în sistemul de coordonate al

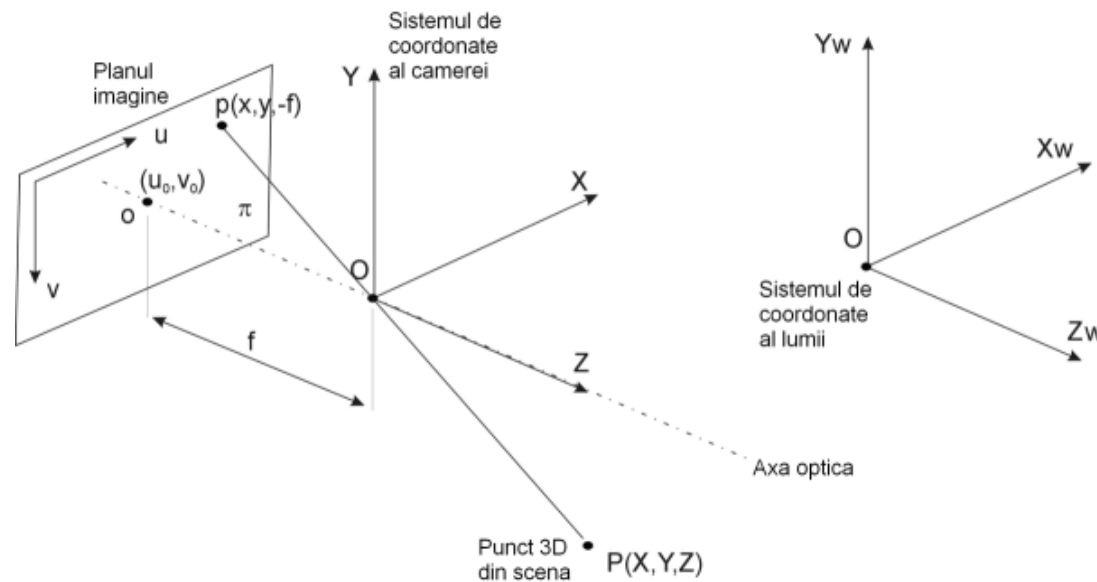
camerei

$[x, y, -f]$ sunt coordonatele punctului \mathbf{p} în sistemul de coordonate al camerei

Parametrii fizici ai camerelor

Parametrii intrinseci – descriu caracteristicile optice și geometrice ale camerei (caracteristicile interne ale camerei):

- **distanța focală** – distanța dintre centrul optic al sistemului de lentile al obiectivului și planul imagine: f ,
- **punctul principal** – coordonatele centrului real al imaginii (intersecția axei optice a obiectivului cu planul imagine) în coordonate imagine (pixeli) : (u_0, v_0) ;
- **coeficienții de distorsiune radială și tangențială** ai lentilelor obiectivului.



Transformarea de coordonate dintre sistemul de referință al camerei și planul

image (proiecție / normalizare) : $\mathbf{P} = [X_c, Y_c, Z_c]^T$ [unit. metrice] $\Rightarrow \mathbf{p} = [u, v]^T$ [pix]

1. Transformarea $\mathbf{P} = [X_c, Y_c, Z_c]^T$ [m sau mm] $\Rightarrow \mathbf{p} = [x, y, -f]^T$ [m sau mm]

Sistemul ecuațiilor fundamentale ale modelului pinhole: pentru coordonate normalizate (cu $1/Z$):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = f \begin{bmatrix} X_c / Z_c \\ Y_c / Z_c \end{bmatrix} = f \begin{bmatrix} x_N \\ y_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

f – distanța focală [unit. metrice]

x_N, y_N - coordonate normalizate (cu $1/Z$):

2. Transformarea coordonatelor punctului \mathbf{p} din **unități metrice** $[x, y]^T$ în coordonate imagine $[u, v]^T$ [pix]

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_u \cdot x \\ D_v \cdot y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

D_u, D_v – coeficienți de transformare unități metrice în pixeli:

$D_u = 1 / dpx; D_v = 1 / dpy;$

(1) + (2) \Rightarrow ecuația de proiecție:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} x_N \\ y_N \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 \\ 0 & f_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ matricea internă a camerei}$$

f_x – distanța focală exprimată în unități de pixeli orizontali: $f_x = f \cdot D_u = \frac{f}{dpx}$

f_y – distanța focală exprimată în unități de pixeli verticali: $f_y = f \cdot D_v = \frac{f}{dpy}$

Transformarea inversă din coordonatele imagine în sistemul de coordonate al camerei (reconstrucție): $\mathbf{p} = [u, v]^T$ [pix] $\Rightarrow \mathbf{P} = [X_c, Y_c, Z_c]^T$ [unit. metrice]

$$\begin{bmatrix} x_N \\ y_N \\ 1 \end{bmatrix} = A^{-1} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

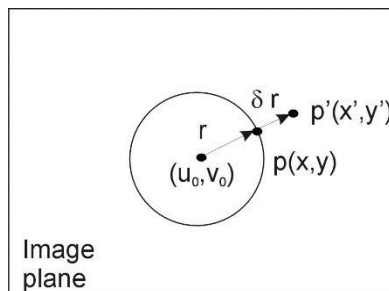
OBSERVATIE: Cu o singura camera nu putem determina Z (adâncimea), doar coordonatele normalizate (ecuația dreptei de proiecție):

$$\begin{bmatrix} x_N \\ y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c / Z_c \\ Y_c / Z_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

Pentru determinarea adâncimii: minim 2 camere (sistem stereo).

Modelarea distorsiunilor lentilelor

Distorsiunea radiala (curbura lentilelor)



$$\begin{bmatrix} \partial x^r \\ \partial y^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \cdot (k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4 + \dots) \\ y \cdot (k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4 + \dots) \end{bmatrix}$$

$$r^2 = x^2 + y^2;$$

k_1, k_2, \dots - coeficienții de distorsiune radială

Distorsiunea tangențiala (nealinierea centrelor de curbura a lentilelor)

$$\begin{bmatrix} \partial x^t \\ \partial y^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2p_1 \cdot xy + p_2(r^2 + 2x^2) \\ p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2 \cdot xy \end{bmatrix}$$

p_1, p_2 – sunt coeficienții de distorsiune tangențiala.

Transformarea coordonatelor punctului \mathbf{p} din **unități metrice** $[x, y]^T$ in coordonate imagine $[u, v]^T$ [pix]:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_u \cdot (x + \partial x^r + \partial x^t) \\ D_v \cdot (y + \partial y^r + \partial y^t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

OBSERVAȚIE: Ec de proiecție (6) devine neliniară !!!

Soluția: corecție distorsiuni pe imagine \Rightarrow proiectie folosind modelul liniar.

Corecția distorsiunilor lentilelor

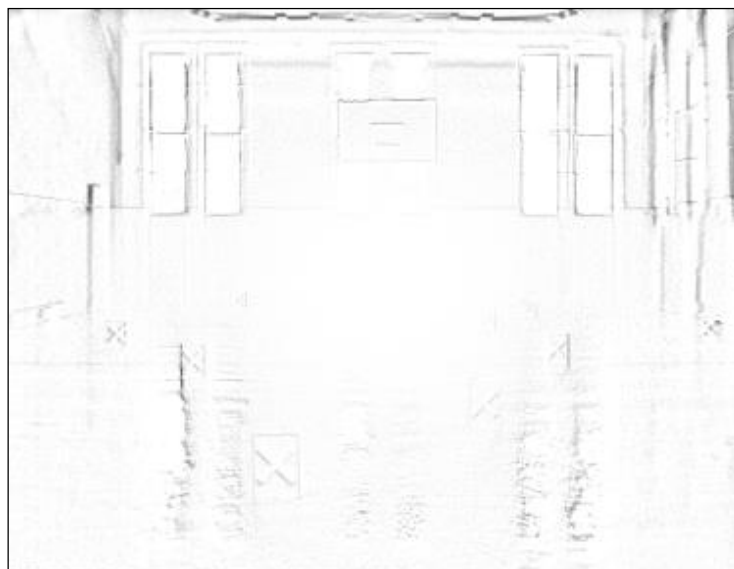
- Gradul de degradare al imaginilor datorat distorsiunii lentilelor este proporțional cu valoarea coeficienților.
- Valoarea acestor coeficienți depinde de calitatea lentilelor, curbura lentilelor (distanța focală) etc.
- Ponderea cea mai mare în degradarea imaginii o au componentele radiale.
- În tabelul următor se prezintă valorile medii ale acestor coeficienți pentru obiectivele CCTV Pentax-Cosmicar testate în diverse experimentele de calibrarea camerelor:

Distanța focală [mm]	Coeficienți de distorsiune			
	k_1	k_2	p_1	p_2
16 mm	-0.1420	-0.1190	0.0004	0.0014
8.5 mm	-0.2070	0.2780	0.0018	-0.0011
6.5 mm	-0.2100	0.1200	0.0020	0.0007

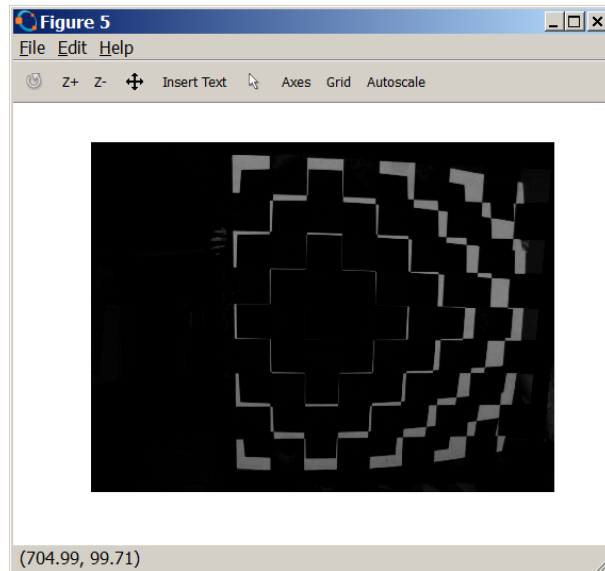
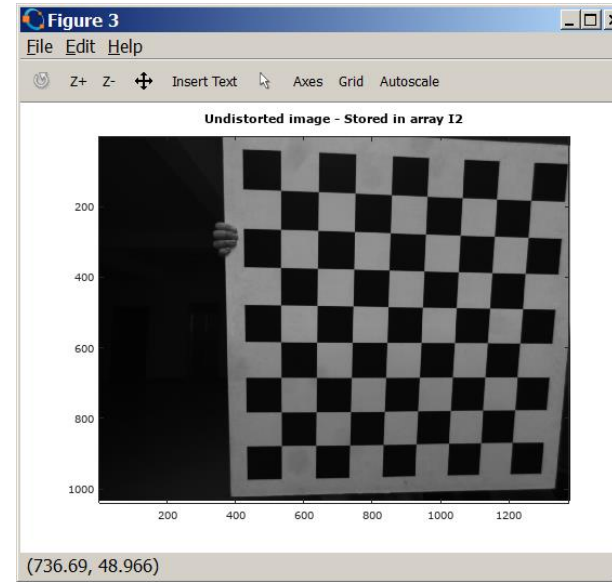
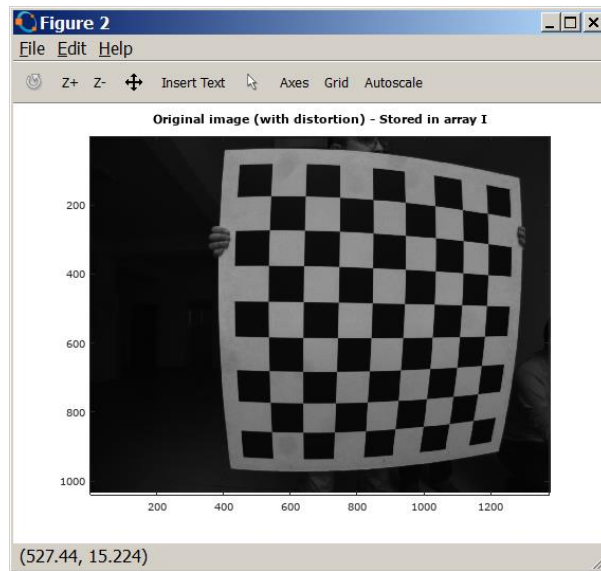
Valori medii ale coeficienților de distorsiune obținuți prin calibrare pentru obiective CCTV Pentax-Cosmicar cu diverse distanțe focale.

Efectul de degradare se manifestă prin deplasarea poziției punctelor proiectate pe imagine de-a lungul unor direcții radiale (cu centrul în punctul principal al imaginii) cu o valoare $\partial \mathbf{r} = [\partial x \ \partial y]^T$. Acest efect este neglijabil pentru pixelii centrali și se accentuează pentru pixelii de la periferia imaginii :

$$\begin{bmatrix} \partial x \\ \partial y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial x^r + \partial x^t \\ \partial y^r + \partial y^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \cdot (k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4) + 2p_1 \cdot xy + p_2(r^2 + 2x^2) \\ y \cdot (k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4) + p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2 \cdot xy \end{bmatrix} \quad (7)$$



Ilustrare a efectului distorsiunii lentilelor. Imaginile prezentate au fost obținute făcând diferența între imaginea distorsionată și imaginea corectată. Diferențele apar cu tonuri de gri și sunt mai accentuate în zonele cu muchii mai depărtate de centrul imaginii. În zonele centrale diferențele sunt aproape nule.



Imagine diferenta = abs (I-I2)

Obiectiv Schneider-Kreuznach $f = 4.5 \text{ mm}$

$$k1 = -0.22267$$

$$k2 = 0.05694$$

$$p1 = -0.00009$$

$$p2 = 0.00036$$

Algoritmul de corecție al distorsiunilor

Ideea care stă la baza algoritmului de corecție este că, între pixelii celor două imagini (cei distorsionați $(x', y') = (x+\partial x, y+\partial y)$ și cei ne-distorsionați/corecțați (x, y)) există o corespondență biunivocă, astfel că pentru fiecare locație de coordonate întregi (x, y) din imaginea corectată (exprimată în sistemul de coordonate al camerei) îi va corespunde o valoare de intensitate de la locația (x', y') calculată cu formulele (7). Deoarece coordonatele (x', y') sunt valori flotante se va lua valoarea de intensitate interpolată de la această locație din imaginea achiziționată (distorsionată).

Algoritmul de corecție (inverse warping):

Pentru fiecare pixel de la locația “întreaga” (u, v) [pixeli] din imaginea corectată **D**:

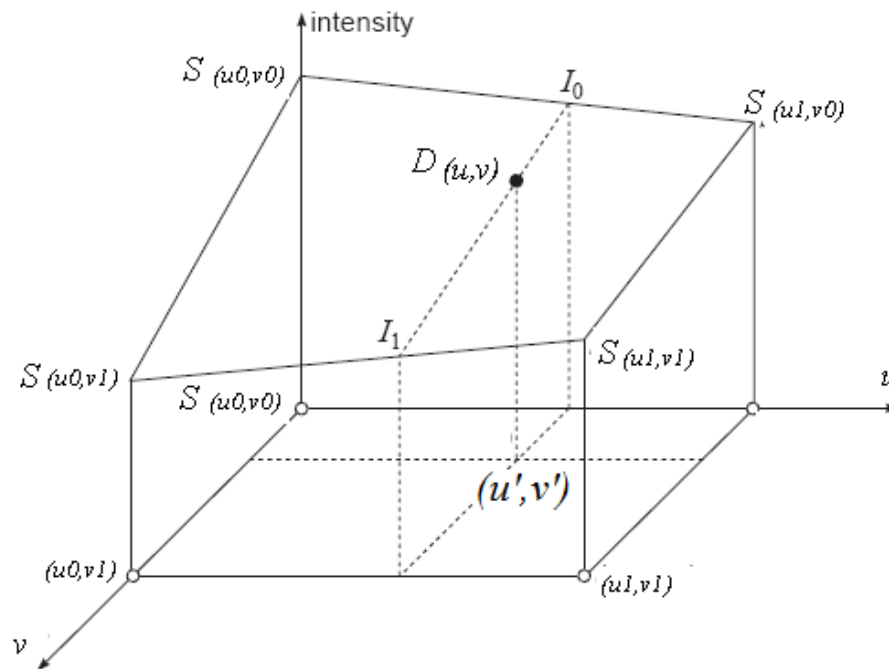
- Se calculează coordonatele (x, y) în sistemul de coordonate al camerei:
$$\begin{cases} x = \frac{u - u_0}{f_x} \\ y = \frac{v - v_0}{f_y} \end{cases} \quad (8)$$
- Se calculează coordonatele corespunzătoare din imaginea distorsionată $(x', y') = (x+\partial x, y+\partial y)$ cu ajutorul (7)
- Pentru aceste coordonate distorsionate (x', y') se calculează coordonatele corespunzătoare în pixeli:

$$\begin{cases} u' = u_0 + x' \cdot f_x \\ v' = v_0 + y' \cdot f_y \end{cases} \quad (9)$$

- Se atribuie valorii intensității de la locația (u, v) din imaginea corectată **D** valoarea interpolată din imaginea distorsionată **S** de la locația (u', v') :

$$D(u, v) = S(u', v') \quad (10)$$

Metoda de interpolare folosită este cea bi-liniară care dă rezultate calitativ similare cu metoda de interpolare bi-cubică dar cu un efort computațional mai scăzut.



$$\begin{aligned} u_0 &= \text{int}(u'); \\ v_0 &= \text{int}(v'); \\ u_1 &= u_0 + 1; \\ v_1 &= v_0 + 1; \\ I_0 &= S(u_0, v_0) * (u_1 - u') \\ &\quad + S(u_0, v_1) * (u' - u_0); \\ I_1 &= S(u_1, v_0) * (u_1 - u') \\ &\quad + S(u_1, v_1) * (u' - u_0); \\ D(u, v) &= I_0 * (v_1 - v') + I_1 * (v' - v_0); \end{aligned}$$

Ilustrarea procesului de interpolare liniară a intensităților din imagine.

Parametrii extrinseci

Poziția și orientarea sistemului de coordonate 3-D asociat camerei relativa la sistemul de coordonate asociat lumii

Necesari pentru a transforma coordonatele unui punct din sistemul de coordonate al lumii in sistemul de coordonate al camerei și invers)

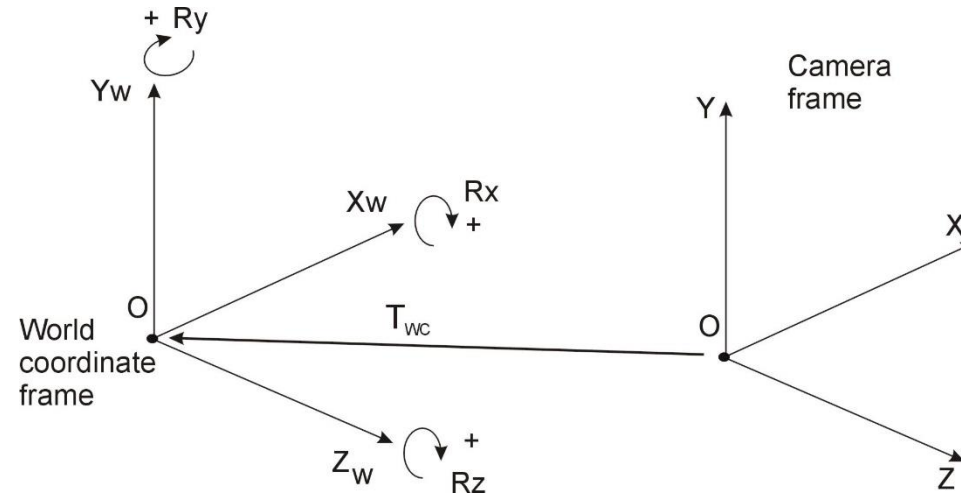
Vectorul de translație $\mathbf{T} = [T_x, T_y, T_z]^T$;

Vectorul de rotație $\mathbf{r} = [R_x, R_y, R_z]^T$ sau *matricea de rotație* echivalentă $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$

În sistemele stereo cu mai multe camere, parametrii extrinseci ne permit de asemenea să exprimăm și relația spațială dintre aceste camere.

Maparea directă (din sistemul lumii în sistemul camerei)

$\mathbf{XX}_W = [X_W, Y_W, Z_W]^T$ (sistemul de coordonate al lumii - WRF) \Rightarrow $\mathbf{XX}_C = [X_C, Y_C, Z_C]^T$ (sistemul de coordonate al camerei – CRF)



$$\mathbf{XX}_C = \mathbf{R}_{WC} \cdot \mathbf{XX}_W + \mathbf{T}_{WC} \quad (5)$$

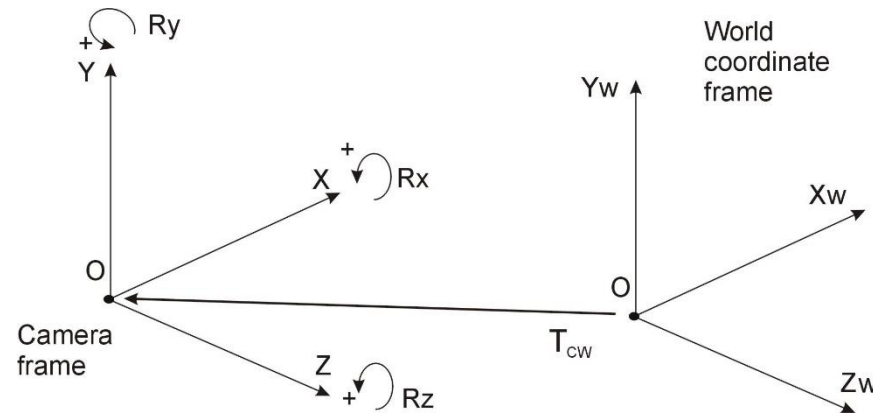
unde: $\mathbf{T}_{WC} = [T_x \ T_y \ T_z]^T$ – vectorul de translație din sistemul lumii în sistemul camerei

(poziția centrului sistemului de coordonate al lumii în sistemul de coordonate al camerei);

\mathbf{R}_{WC} – matricea de rotație din sistemul lumii în sistemul camerei;

Maparea inversa (din sistemul camerei în sistemul lumii)

$\mathbf{XX}_C = [X_C, Y_C, Z_C]^T$ (sistemul de coordonate al camerei – CRF) \Rightarrow $\mathbf{XX}_W = [X_W, Y_W, Z_W]^T$ (sistemul de coordonate al lumii - WRF)



$$\mathbf{XX}_W = \mathbf{R}_{WC}^{-1} \cdot (\mathbf{XX}_C - \mathbf{T}_{WC}) \quad (6)$$

Matricea de rotație este ortogonală [Trucco1998]: $\mathbf{R} \cdot \mathbf{R}^T = \mathbf{R}^T \cdot \mathbf{R} = \mathbf{1} \Rightarrow \mathbf{R}^T = \mathbf{R}^{-1}$

$$\mathbf{XX}_W = \mathbf{R}_{WC}^T \cdot (\mathbf{XX}_C - \mathbf{T}_{WC}) = \mathbf{R}_{CW} \mathbf{XX}_C + \mathbf{T}_{CW} \quad (7)$$

unde: $\mathbf{T}_{CW} = [T_x \ T_y \ T_z]^T$ – vectorul de translație din sistemul camerei în sistemul lumii: $\mathbf{T}_{CW} = -\mathbf{R}_{WC}^T \mathbf{T}_{WC}$

(poziția centrului sistemului de coordonate al camerei în sistemul de coordonate al lumii);

\mathbf{R}_{CW} – matricea de rotație din sistemul camerei în sistemul lumii: $\mathbf{R}_{CW} = \mathbf{R}_{WC}^T$

Semnificatia elementelor matricii de rotatie

$$\mathbf{R}_{WC} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}^{XW} & \mathbf{n}^{YW} & \mathbf{n}^{ZW} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_X^{XW} & n_X^{YW} & n_X^{ZW} \\ n_Y^{XW} & n_Y^{YW} & n_Y^{ZW} \\ n_Z^{XW} & n_Z^{YW} & n_Z^{ZW} \end{bmatrix} \quad (8)$$

where:

$\mathbf{n}^{XW} = [n_X^{XW} \quad n_Y^{XW} \quad n_Z^{XW}]^T$ – vectorul normal corespunzator axei \mathbf{OX}_W a in sistemul de coordonate al camerei

$\mathbf{n}^{YW} = [n_X^{YW} \quad n_Y^{YW} \quad n_Z^{YW}]^T$ – vectorul normal corespunzator axei \mathbf{OY}_W a in sistemul de coordonate al camerei

$\mathbf{n}^{ZW} = [n_X^{ZW} \quad n_Y^{ZW} \quad n_Z^{ZW}]^T$ – vectorul normal corespunzator axei \mathbf{OZ}_W in sistemul de coordonate al camerei

$$\mathbf{R}_{CW} = \mathbf{R}_{WC}^T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}^{XC} & \mathbf{n}^{YC} & \mathbf{n}^{ZC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_X^{XC} & n_X^{YC} & n_X^{ZC} \\ n_Y^{XC} & n_Y^{YC} & n_Y^{ZC} \\ n_Z^{XC} & n_Z^{YC} & n_Z^{ZC} \end{bmatrix} \quad (9)$$

where:

$\mathbf{n}^{XC} = [n_X^{XC} \quad n_Y^{XC} \quad n_Z^{XC}]^T$ – vectorul normal corespunzator axei \mathbf{OX}_C a in sistemul de coordonate al lumii

$\mathbf{n}^{YC} = [n_X^{YC} \quad n_Y^{YC} \quad n_Z^{YC}]^T$ – vectorul normal corespunzator axei \mathbf{OY}_C a in sistemul de coordonate al lumii

$\mathbf{n}^{ZC} = [n_X^{ZC} \quad n_Y^{ZC} \quad n_Z^{ZC}]^T$ – vectorul normal corespunzator axei \mathbf{OZ}_C in sistemul de coordonate al lumii

Mapare directă completa (3D world) \Rightarrow (2D image): proiectie

Matricea de proiectie:

$$\mathbf{P} = \mathbf{A} \cdot [\mathbf{R}_{WC} \mid \mathbf{T}_{WC}] \quad (10)$$

Punct 3D din lume de coordonate $[X_W, Y_W, Z_W]$

$$s \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_S \\ y_S \\ z_S \end{bmatrix} = \mathbf{P} \cdot \begin{bmatrix} X_W \\ Y_W \\ Z_W \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Obținerea coordonatelor imagine 2D:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_S / z_S \\ y_S / z_S \end{bmatrix} \quad (12)$$

Bibliografie

E. Trucco, A. Verri, *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, Prentice Hall, 1998.

S. Nedevschi, R. Dănescu, F. Oniga, T. Marița, [Tehnici de viziune artificială aplicate în conducerea automată a autovehiculelor](#), Editura U.T. Press, Cluj-Napoca, 2012, pp. 7-17, pp. 45-47.