

**VJEŽBA 3: HOUGHOVA TRANSFORMACIJA****Opis vježbe:**

Potrebno je pomoću, prethodno kalibrirane, web kamere uslikati objekt kvadratnog oblika koji je postavljen na milimetarskom papiru na stolu. Primjenom Houghove transformacije (HT) treba odrediti parametre  $\rho$  i  $\theta$  najdominantnijeg pravca, koji odgovara jednom od rubova objekta na slici. Pod najdominantnijim pravcem podrazumijeva se pravac kojem pripada najveći broj 'glasova' u akumulacijskoj ravni. Implementacija HT u biblioteci OpenCV vraća popis detektiranih pravaca koji su razvrstani prema broju 'glasova' počevši od najdominantnijeg. Primjenom odgovarajuće transformacije, odrediti  $\rho'$  i  $\theta'$  tog pravca u koordinatnom sustavu milimetarskog papira. Provjeriti koliko je odstupanje dobivenog pravca od stvarnog (odgovarajućeg) ruba objekta.

**Priprema:**

- Downloadirati VS2008 projekt odnosno zip datoteku [CameraCalibration.zip](#) te raspakirati sadržaj na disk.
- Pokrenuti projekt te uz pomoć *kalibracijskog panela* kalibrirati kameru. Kalibracijski panel možete napraviti pomoću slike [Chessboard.pdf](#).
- Pročitati u dokumentaciji OpenCV biblioteke detalje vezane za metode `cvInitUndistortMap`, `cvFindExtrinsicCameraParams2`, `cvHoughLines2` te `cvRodrigues2`.
- Analizirati Listing 3.1

---

```
//Display undistorted images

CvMat *intrinsic = (CvMat*)cvLoad("Intrinsics.xml");
CvMat *distortion = (CvMat*)cvLoad("Distortion.xml");
// Build the undistort map that we will use for all
// subsequent frames.
//
IplImage* mapx = cvCreateImage( cvGetSize(image), IPL_DEPTH_32F, 1 );
IplImage* mapy = cvCreateImage( cvGetSize(image), IPL_DEPTH_32F, 1 );
cvInitUndistortMap(intrinsic,distortion,mapx,mapy);

// Just run the camera to the screen, now showing the raw and
// the undistorted image.
//
cvNamedWindow( "Undistort" );
while(image)
{
    IplImage *t = cvCloneImage(image);
    cvShowImage( "Calibration", image ); // Show raw image
    cvRemap(t,image,mapx,mapy ); // Undistort image
    cvReleaseImage(&t);
    cvShowImage("Undistort", image); // Show corrected image
    //Handle pause/unpause and ESC
    int c = cvWaitKey(15);
    if(c == 'p')
    {
        c = 0;
        while(c != 'p' && c != 27)
        {
            c = cvWaitKey(250);
        }
    }
    if(c == 27)
        break;
    image = cvQueryFrame( capture );
}
```

---

**Listing 3.1.**

(Izvor: Learning OpenCV Computer Vision with the OpenCV Library, Gary Bradski & Adrian Kaehler str. 401)

## **Rad na vježbi:**

U aplikaciji napravljenoj u prvoj vježbi treba:

- a) Napisati funkciju tako da korisnik pomoću web kamere uslika objekt koji se nalazi na milimetarskom papiru na stolu. Omogućiti u programu da se mišem može označiti (klikom) četiri ugla milimetarskog papira na slici. Pomoću metode `cvFindExtrinsicCameraParams2` odrediti rotacijsku matricu i translacijski vektor uz pomoć prethodne učitane intrinzične matrice ([Intrinsics.xml](#)) te koeficijente distorzije ([Distortion.xml](#)). Primjenom izraza u prilogu treba odrediti koliko se pravac, dobiven na slici pomoću Houghove transformacije, podudara s odgovarajućim rubom objekta na stolu.

Neke od metoda i struktura OpenCV-a korisne za rad na vježbi:

Metode:

```
cvLoad; cvCreateMat; cvCreateImage; cvRemap; cvInitUndistortMap; cvHoughLines2;  
cvRodrigues2; cvFindExtrinsicCameraParams2
```

Linkovi:

Intrinsics.xml	- <a href="http://moodle.etfos.hr/mod/resource/view.php?id=10680">http://moodle.etfos.hr/mod/resource/view.php?id=10680</a>
Distortion.xml	- <a href="http://moodle.etfos.hr/mod/resource/view.php?id=10681">http://moodle.etfos.hr/mod/resource/view.php?id=10681</a>
CameraCalibration.zip	- <a href="http://moodle.etfos.hr/mod/resource/view.php?id=17548">http://moodle.etfos.hr/mod/resource/view.php?id=17548</a>
Chessboard.pdf	- <a href="http://moodle.etfos.hr/mod/resource/view.php?id=17549">http://moodle.etfos.hr/mod/resource/view.php?id=17549</a>

**Prilog**

Za pravac opisan parametrima  $\rho$  i  $\theta$  na slici (2D), dobiven web kamerom, treba odrediti odgovarajuće parametre pravca  $\rho'$  i  $\theta'$  u 3D prostoru. Neka je  $(u,v)$  koordinata točke koja leži na pravcu  $(\rho, \theta)$  na slici, a  $(x,y,z)$  odgovarajuća točka u prostoru koja se također nalazi na pravcu  $(\rho', \theta')$  u prostoru. Tada vrijedi sljedeće:

$$\mathbf{m} = s \cdot \mathbf{P} \cdot (\mathbf{R} \cdot \mathbf{p} + \mathbf{t}) \quad (1)$$

gdje je :

$$\begin{aligned} \mathbf{m} &= [u \quad v \quad 1]^T && \text{-- koordinata točke na slici;} \\ \mathbf{p} &= [x \quad y \quad z]^T && \text{-- koordinata točke u koordinatnom sustavu milimetarskog papira } S_0; \\ \mathbf{P} &= \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_c \\ 0 & f_y & v_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} && \text{-- projekcijska matrica, gdje su } f_x, f_y, u_c \text{ i } v_c \text{ intrinzični parametri kamere;} \\ \mathbf{R} &&& \text{-- rotacijska matrica koja opisuje orijentaciju k. s. } S_0 \text{ u odnosu na k. s. kamere;} \\ \mathbf{t} &&& \text{-- translacijski vektor koji opisuje poziciju k. s. } S_0 \text{ u odnosu na k. s. kamere.} \end{aligned}$$

Iz (1) dobije se:

$$\mathbf{m} = s \cdot (\mathbf{A} \cdot \mathbf{p} + \mathbf{b}) \quad (2)$$

gdje je:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \mathbf{P} \cdot \mathbf{R} = [\mathbf{a}_1 \quad \mathbf{a}_2 \quad \mathbf{a}_3]^T; \\ \mathbf{b} &= \mathbf{P} \cdot \mathbf{t} = [b_1 \quad b_2 \quad b_3]^T. \end{aligned}$$

Iz (2) vrijedi sljedeće:

$$u = s(\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{p} + b_1),$$

$$v = s(\mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{p} + b_2),$$

$$1 = s(\mathbf{a}_3 \cdot \mathbf{p} + b_3) \Rightarrow s = \frac{1}{\mathbf{a}_3 \cdot \mathbf{p} + b_3}$$

Jednadžba pravca na slici opisana parametrima  $\rho$  i  $\theta$  glasi:

$$u \cdot \cos\theta + v \cdot \sin\theta = \rho \quad (3)$$

odnosno:

$$(\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{p} + b_1) \cdot \cos\theta + (\mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{p} + b_2) \cdot \sin\theta = \rho \cdot (\mathbf{a}_3 \cdot \mathbf{p} + b_3) \quad (4)$$

odnosno:

$$\lambda_x \cdot x + \lambda_y \cdot y = \lambda_\rho \quad (5)$$

gdje je:

$$\begin{aligned} \lambda_x &= a_{11}\cos\theta + a_{21}\sin\theta - \rho a_{31} \\ \lambda_y &= a_{12}\cos\theta + a_{22}\sin\theta - \rho a_{32} \\ \lambda_\rho &= (a_{33}z + b_3)\rho - (a_{13}z + b_1)\cos\theta - (a_{23}z + b_2)\sin\theta \end{aligned}$$

Pošto je  $z = 0$ , vrijedi

$$\lambda_\rho = b_3\rho - b_1\cos\theta - b_2\sin\theta.$$

Izraz (5) predstavlja jednadžbu pravca u xy-ravnini k. s.  $S_0$ . Isti se pravac može opisati i jednadžbom

gdje je:

$$x \cdot \cos\theta' + y \cdot \sin\theta' = \rho',$$

$$\theta' = \text{atan2}(\lambda_y, \lambda_x),$$

$$\rho' = \frac{\lambda_p}{\sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_y^2}}.$$