VJEŽBA 3: HOUGHOVA TRANSFORMACIJA

I. Cilj vježbe:
Naučiti kako kalibrirati kameru. Odrediti parametre pravca u 3D prostoru primjenom Houghove transformacije.

II. 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 ρ i θ najdominantnijeg pravca, koji odgovara jednom od rubova objekta na slici. Pod najdominantnijim pravcem podrazumijeva se pravac kojem pripada najveći broj 'glasova' u akumulacijskoj ravnini. Implementacija HT u biblioteci OpenCV vraća popis detektiranih pravaca koji su razvrstani prema broju 'glasova' počevši od najdominantnijeg. Primjenom odgovarajuće transformacije, odrediti ρ' i θ' tog pravca u koordinatnom sustavu milimetarskog papira. Provjeriti koliko je odstupanje dobivenog pravca od stvarnog (odgovarajućeg) ruba objekta.

III. Rad na vježbi:

a) Skinuti skriptu calibration.py.
b) Pokrenuti python skriptu te uz pomoć *kalibracijskog panela* kalibrirati kameru. Kalibracijski panel možete napraviti pomoću slike chessboard.pdf.
c) 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. Odrediti rotacijsku matricu i translacijski vektor uz pomoć prethodne učitane intrinsične matrice te koeficijenata distorzije (camera_params.json). 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:
`undistort, Canny, HoughLines, solvePnP, Rodrigues.`

Web poveznice:
https://docs.opencv.org/3.4/d9/db0/tutorial_hough_lines.html
https://docs.opencv.org/3.4.3/d4/d94/tutorial_camera_calibration.html

IV. Prilog:

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

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

gdje je :

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

Iz (1) dobije se:

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

gdje je:

$$A = P \cdot R = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \end{bmatrix}^T ;$$
$$b = P \cdot t = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix}^T .$$

Iz (2) vrijedi sljedeće:

$$u = s(a_1 \cdot p + b_1),$$

$$v = s(a_2 \cdot p + b_2),$$

$$1 = s(a_3 \cdot p + b_3) \Rightarrow s = \frac{1}{a_3 \cdot p + b_3}$$

Jednadžba pravca na slici opisana parametrima ρ i θ glasi:

$$u \cdot cos\theta + v \cdot sin\theta = \rho \tag{3}$$

odnosno:

$$(a_1 \cdot p + b_1) \cdot cos\theta + (a_2 \cdot p + b_2) \cdot sin\theta = \rho \cdot (a_3 \cdot p + b_3) \tag{4}$$

odnosno:

$$\lambda_x \cdot x + \lambda_y \cdot y = \lambda_\rho \tag{5}$$

gdje je:

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

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

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

gdje je:

$$\theta' = atan2(\lambda_y, \lambda_x),$$

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