



Číslicové spracovanie obrazov

Prednáška č. 8

- **Afinne transformácie obrazu**
- Perspektívna transformácia
- Stereoskopia
- Geometrická kalibrácia kamery

Priestorová transformácia obrazu – *afinne transformácie*

- Pod pojmom priestorová transformácia rozumieme takú transformáciu obrazu, pri ktorej dochádza k transformácii súradníc obrazových prvkov. Z uvedeného je teda zrejmé, že hodnota resp. jas op sa zachováva a dochádza k zmene jeho polohy. Medzi základné priestorové transformácie patrí **rotácia**, **posunutie** a **perspektívna transformácia**

- Afinna transformácia obrazu**

- Rotácia (R – rotačná matica)
- Posunutie (B – vektor posunutia)
- „Strih“ – Shear (S – matica strihu)

$$\begin{bmatrix} i_t \\ j_t \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} i - i_0 \\ j - j_0 \end{bmatrix} + \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & \sin(\varphi) \\ -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i - i_0 \\ j - j_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} i_s \\ j_s \end{bmatrix} = \mathbf{S} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tan(\varphi) \\ \tan(\gamma) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix}$$



Priestorová transformácia obrazu – *afinne transformácie*

Zrkadlenie obrazu

predstavuje zámenu poradia op v horizontálnom alebo vertikálnom smere. Zrkadlenie možno použiť napríklad aj pri snímaní obrazu, kedy vplyvom optiky kamery alebo fotoaparátu dochádza k otočeniu snímaného obrazu. Tiež je možné zrkadlenie aplikovať na obraz pred výpočtom konvolúcie.

Zrkadlenie vo vertikálnom smere

$$I'(i, j) = I(N - i, j)$$

Zrkadlenie v horizontálnom smere

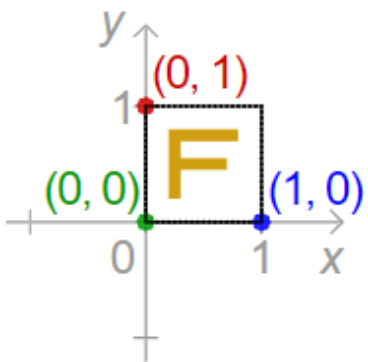
$$I'(i, j) = I(i, M - j)$$



Priestorová transformácia obrazu – *afinne transformácie*

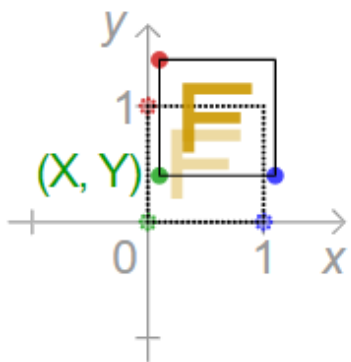
No change

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



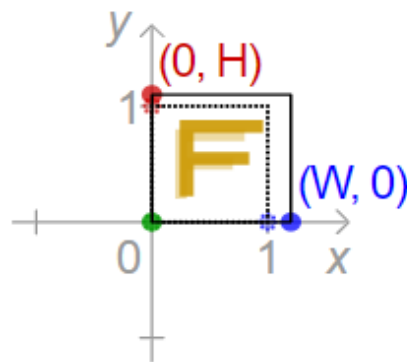
Translate

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & X \\ 0 & 1 & Y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



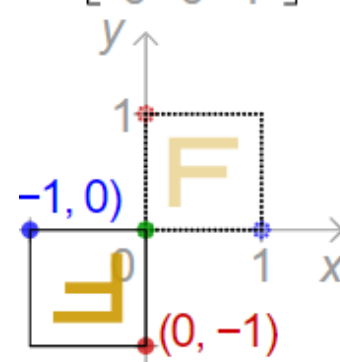
Scale about origin

$$\begin{bmatrix} W & 0 & 0 \\ 0 & H & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



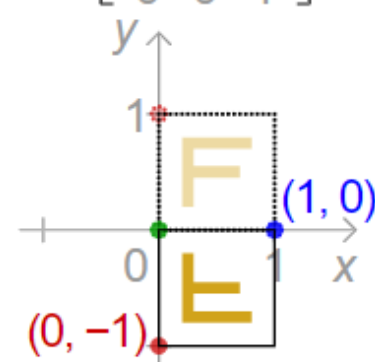
Reflect about origin

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



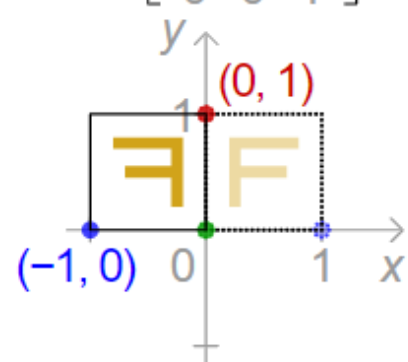
Reflect about x-axis

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



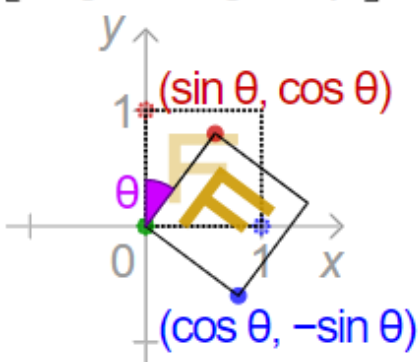
Reflect about y-axis

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



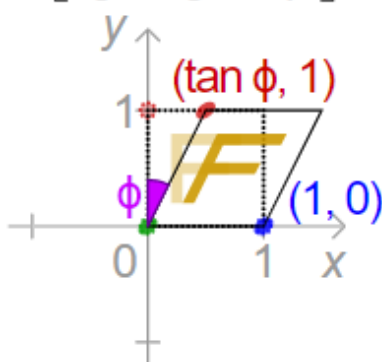
Rotate about origin

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



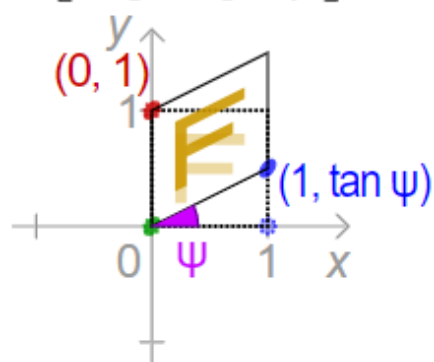
Shear in x direction

$$\begin{bmatrix} 1 & \tan \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Shear in y direction

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \tan \psi & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$





Číslicové spracovanie obrazov

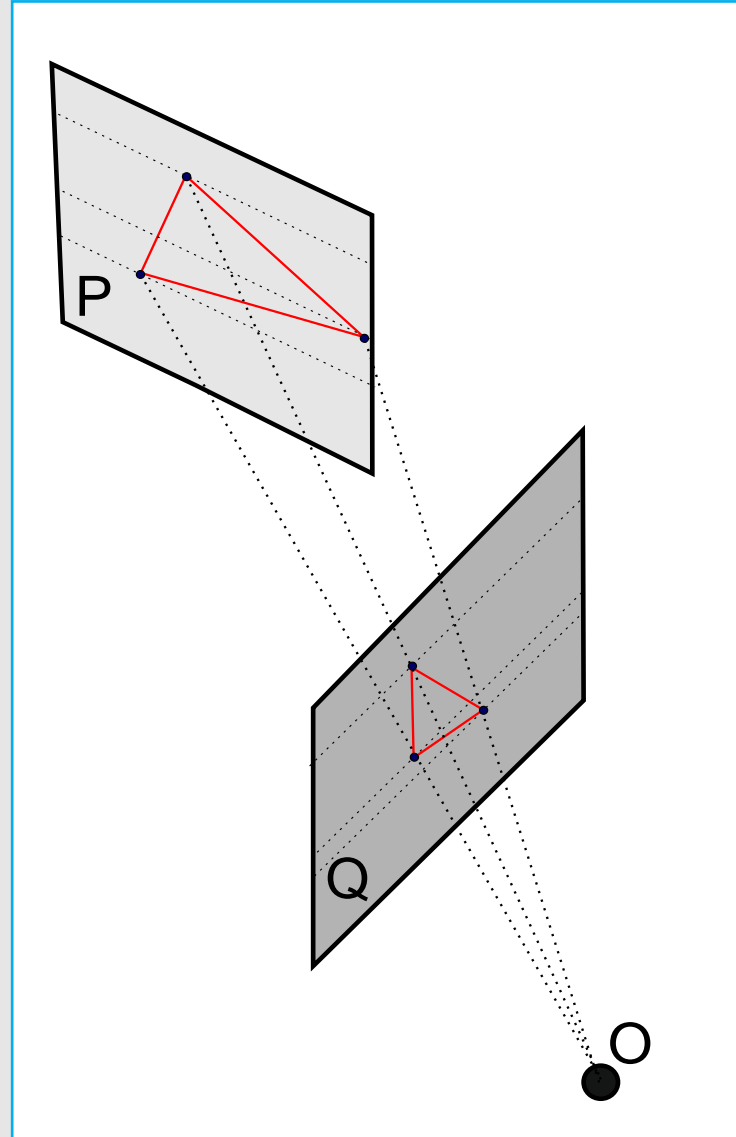
Prednáška č. 8

- Afinne transformácie obrazu
- **Perspektívna transformácia**
- Stereoskopia
- Geometrická kalibrácia kamery

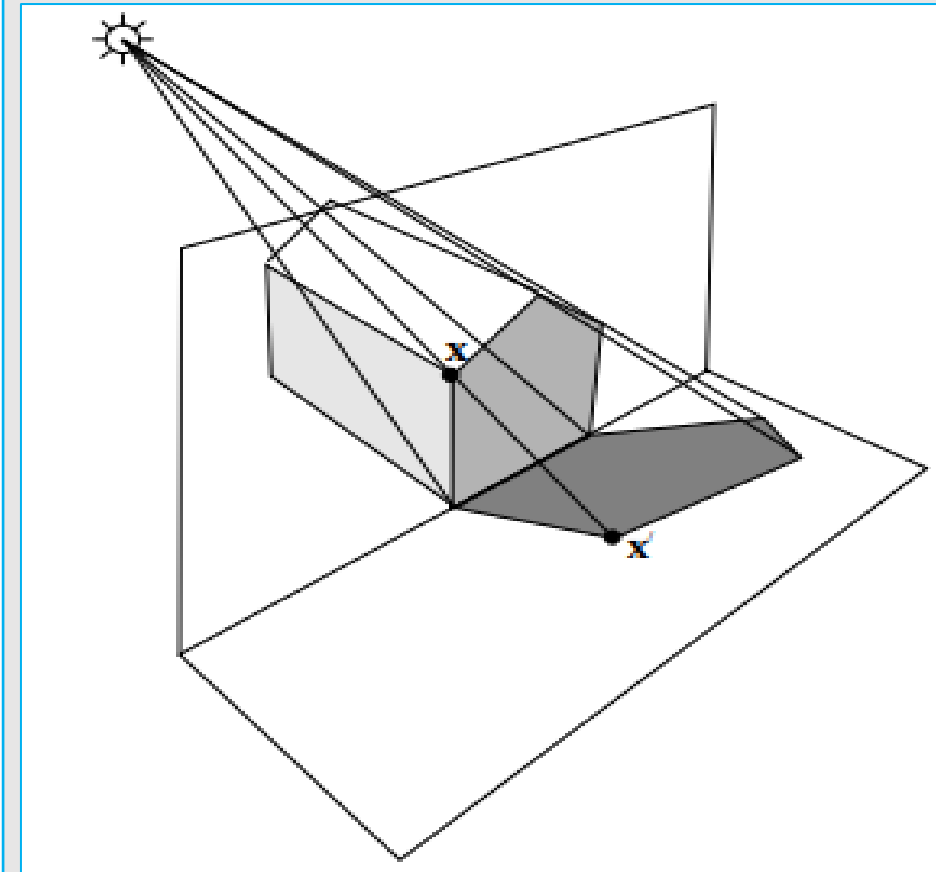
Priestorová transformácia obrazu - Perspektívna transformácia

Perspektívna transformácia slúži na projekciu jednej roviny do inej, cez ohnisko projekcie. Ide teda o bodové premietanie.

- Transformačná matica, tiež aj **matica homografie** \mathbf{H} , má rozmer 3×3 prvkov
- Matica homografie v sebe kombinuje aj všetky afinne parametre
- V princípe je transformácia škálovo invariantná, teda na škále k pri výpočte nezáleží

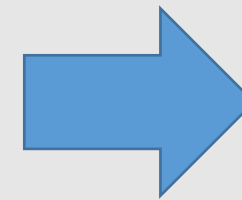
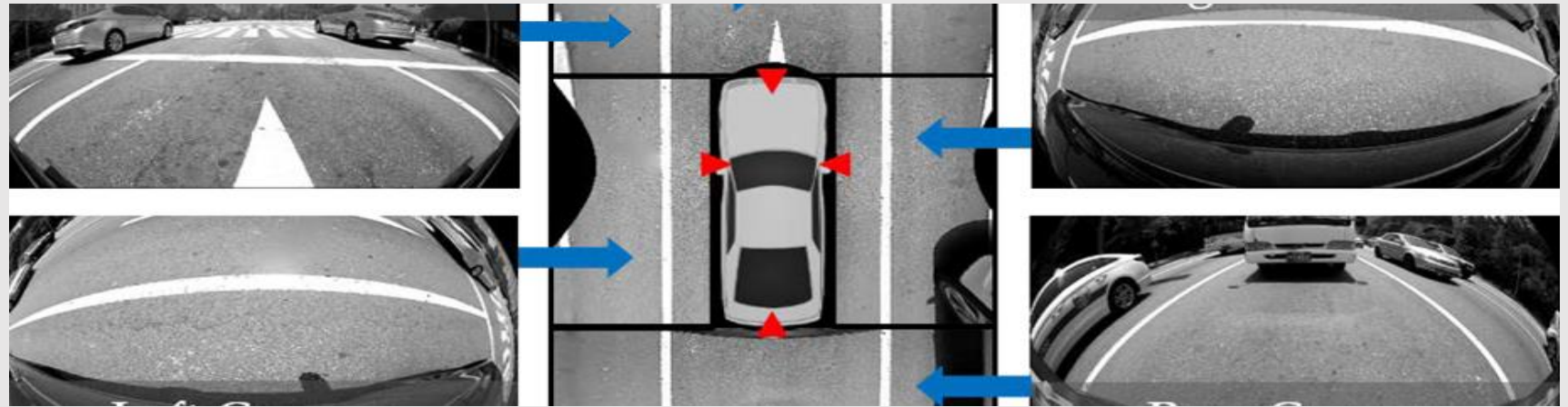


$$\begin{bmatrix} j_t \\ i_t \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{k} \begin{bmatrix} k j_t \\ k i_t \\ k \end{bmatrix} = \mathbf{H} \begin{bmatrix} j \\ i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j \\ i \\ 1 \end{bmatrix}$$



Priestorová transformácia obrazu - Perspektívna transformácia

Transformácia nachádza svoje uplatnenie hlavne v problematike kalibrácie kamerových systémov, generovaní 3D scén z fotografií (napr. google street view), generovaní vtáčej perspektívy a tiež pri tvorbe syntetických scén, kedy sa nejaký obraz premietne na určené miesto v rovine snímky.



Priestorová transformácia obrazu - Perspektívna transformácia

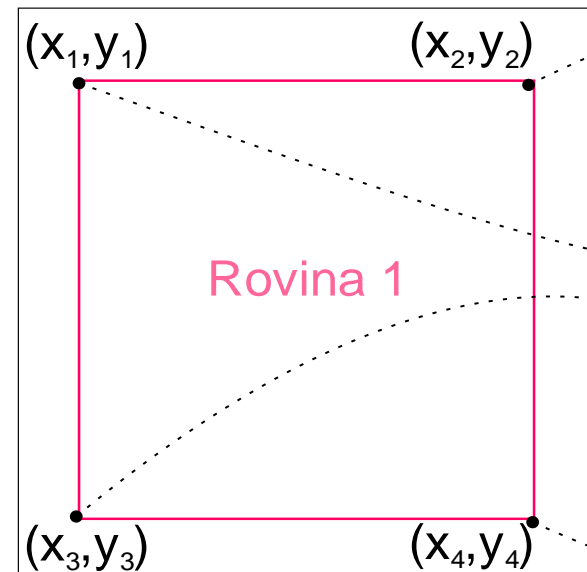
Homografiu z korešpondencie bodov je možné vypočítať pomocou nasledovného vzťahu.

- K výpočtu homografie je nutné poznať aspoň 4 korešpondujúce dvojice bodov v dvoch rovinách
- Čím viac korešpondujúcich bodov sa použije pre zostrojenie matice K, tým lepší odhad matice homografie bude dosiahnutý

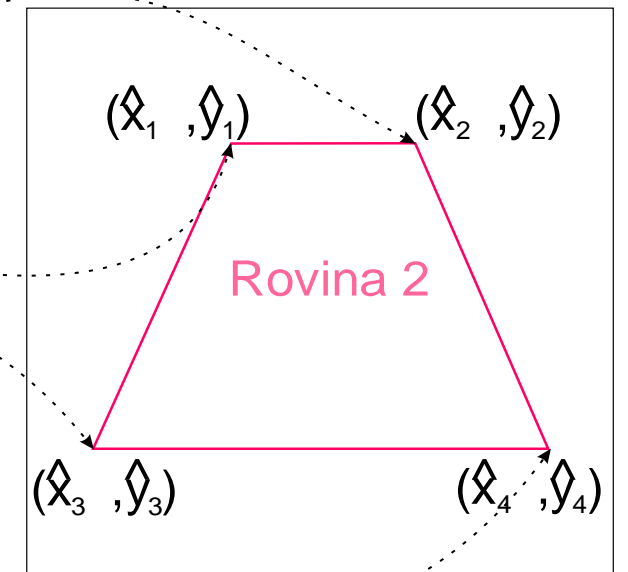
$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1\hat{x}_1 & -y_1\hat{x}_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1\hat{y}_1 & -y_1\hat{y}_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_n\hat{x}_n & -y_n\hat{x}_n \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & -x_n\hat{y}_n & -y_n\hat{y}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ \vdots \\ h_{31} \\ h_{32} \end{bmatrix} = KH = \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{y}_1 \\ \vdots \\ \hat{x}_n \\ \hat{y}_n \end{bmatrix} = \bar{\mathbf{b}}$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{K}^{-1}\bar{\mathbf{b}}$$

Obraz 1



Obraz 2





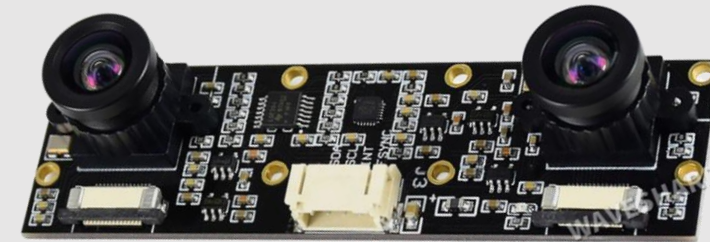
Číslicové spracovanie obrazov

Prednáška č.8

- Afinne transformácie obrazu
- Perspektívna transformácia
- **Stereoskopia**
- Geometrická kalibrácia kamery

Stereoskopia

- Stereoskopické snímanie 3D vizuálnej scény patrí medzi najprirodzenejšie spôsoby zachytávania informácií o hĺbke resp. priestore. Je založené na princípe ľudského vnímania hĺbky.
- Projekcie z dvoch kamier (očí) sú v horizontálnom smere voči sebe posunuté. Miera posunutia jednotlivých časti vnímaného obrazu **je daná vzdialenosťou týchto objektov** od pozorovateľa resp. začiatku súradnicového systému kamier.
- Vzájomné posunutie časti obrazu nazývame **disparita**.
- Medzi najstaršie techniky vyvolania priestorového vnemu patrí zariadenie **stereoskop**
- Dnes je 3D obraz zachytávaný pomocou stereoskopických kamier



Stereoskopia

- Modernejšie spôsoby zobrazovania stereoskopických obrazov prišli s rozvojom 3D kina v USA, kedy sa v roku 1952 premietal **prvý farebný stereoskopický film Bwana Devil**
- Projekcia je založená na premietaní filmu dvoma projektormi, ktoré sú vybavené polarizačnými alebo farebnými filtrami. Na plátne sa tak vytvorí **anaglyf**

Bwana Devil (1952) ★ 4.9 328 ¹⁰

Not Rated | 1h 19min | Adventure | 30 November 1952 (USA)



British railway workers in Kenya are becoming the favorite snack of two man-eating lions. Head engineer Bob Hayward becomes obsessed with trying to kill the beasts before they maul everyone on his crew.

Directors: Arch Oboler, Robert Clampett
Writers: Robert Clampett (Time for Beany sequence), Arch Oboler
Stars: Robert Stack, Barbara Britton, Nigel Bruce | [See full cast & crew >>](#)

[+ Add to Watchlist](#)

The world's **FIRST FEATURE LENGTH** motion picture in **NATURAL VISION**



Arch Oboler's **3 DIMENSION**
"BWANA DEVIL"
in Thrilling **COLOR**

A LION in your lap!

ARCH OBOLER'S **"BWANA DEVIL"** IN THRILLING COLOR · Starring ROBERT STACK · BARBARA BRITTON · NIGEL BRUCE · Released thru United Artists

Stereoskopia

- Modernejšie spôsoby zobrazovania stereoskopických obrazov prišli s rozvojom 3D kina v USA, kedy sa v roku 1952 premietal **prvý farebný stereoskopický film Bwana Devil**.
- Projekcia je založená na premietaní filmu dvoma projektormi, ktoré sú vybavené polarizačnými alebo farebnými filtermi. Na plátne sa tak vytvorí **anaglyf**.



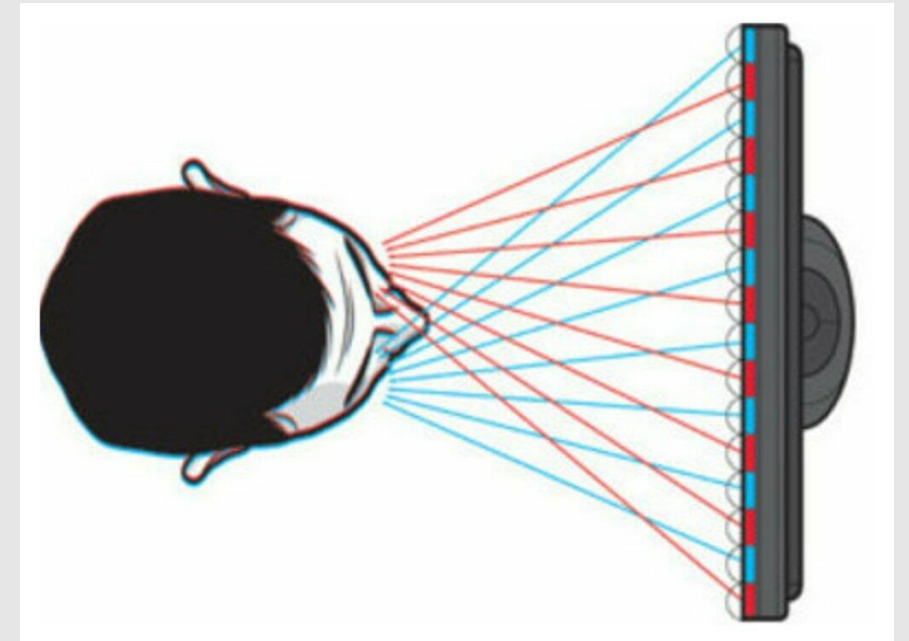
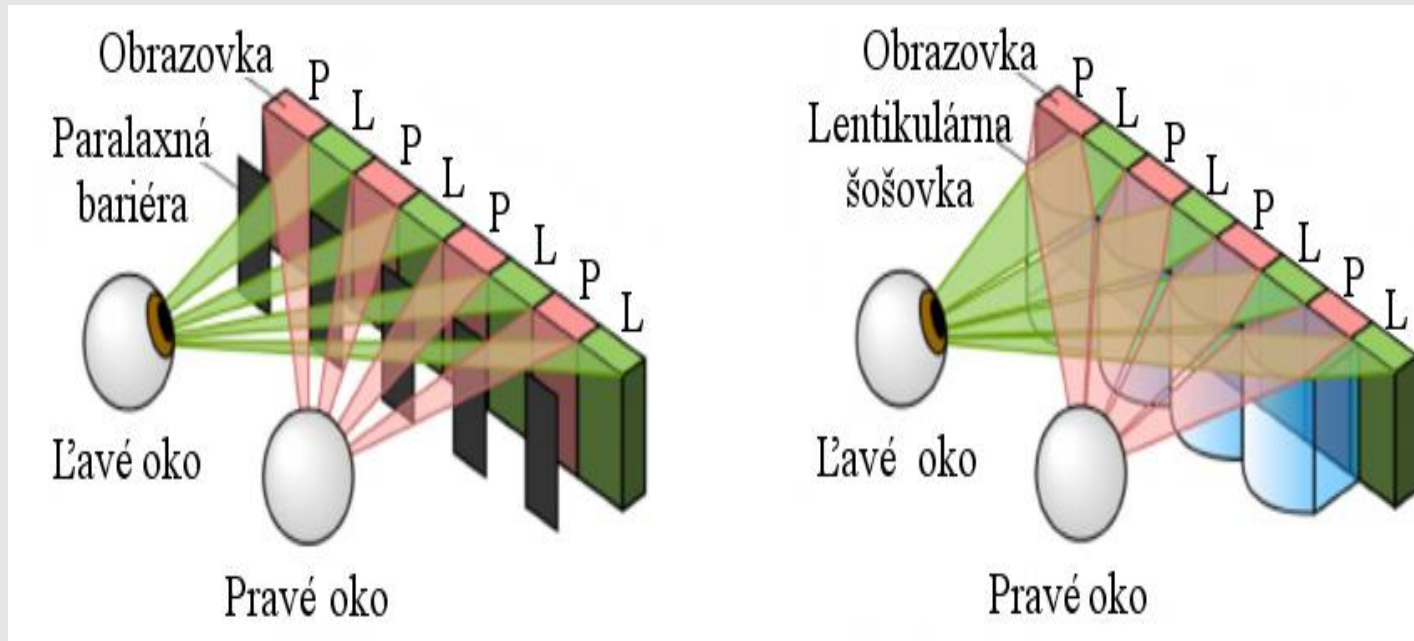
Stereoskopia

- Modernejšie spôsoby zobrazovania stereoskopických obrazov prišli s rozvojom 3D kina v USA, kedy sa v roku 1952 premietal **prvý farebný stereoskopický film Bwana Devil**.
- Projekcia je založená na premietaní filmu dvoma projektormi, ktoré sú vybavené polarizačnými alebo farebnými filtrami. Na plátne sa tak vytvorí **anaglyf**.
- **Anaglyf je divákovi za použitia špeciálnych okuliarov vnímaný ako 3D obraz**



Stereoskopia

- Moderné zariadenia osobnej potreby (TV, kamery, mobilné telefóny) vnem hĺbky sprostredkujú špeciálnym vyhotovením PDP, LCD alebo OLED displeja. Takýto displej je tvorený obrazovými prvkami, ktoré sú od seba v horizontálnom smere separované **disparitnou (paralaxnou) bariérou** alebo **lentikulárnymi šošovkami**



Stereoskopia - Súosový stereoskopický kamerový systém

- SSKS pozostáva z dvoch kamier, ktoré sú od seba v horizontálnom smere vzdialené o vzdialenosť a . Stred tohto kamerového systému je v polovici tejto vzdialenosti. Pri snímaní 3DVS je tento bod na jednej priamke so začiatkom jej súradnicového systému, ktorá je kolmá na totožné roviny tvorené osami x_L, y_L a x_R, y_R súradnicových systémov kamier.
- Vychádzamé z predpokladu, že kamery majú identické parametre sú ideálne, bez skreslení a snímky sú zarovnané ($i_R = i_L$) !

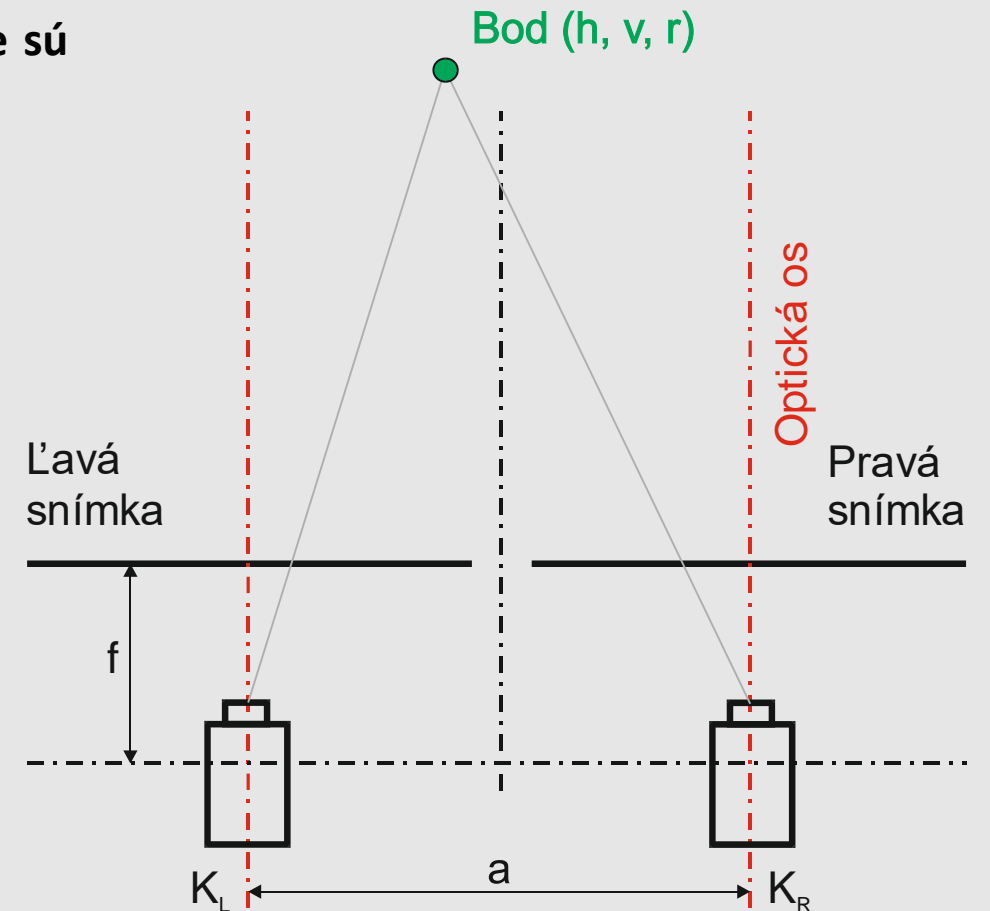
$$r = \frac{dD - f_x a}{D} = d - \frac{f_x a}{D}$$

$$h = \frac{a}{2D} (j_L + j_R - 2j_0)$$

$$v = -\frac{af_x}{2Df_y} (i_L + i_R - 2i_0)$$

D je horizontálna disparita, ktorá predstavuje rozdiel horizontálnych súradníc priemetov rovnakých bodov v ľavej a pravej stereoskopической snímke

f_x a f_y sú ohniskové vzdialenosti



Stereoskopia - Nesúosový stereoskopický kamerový systém

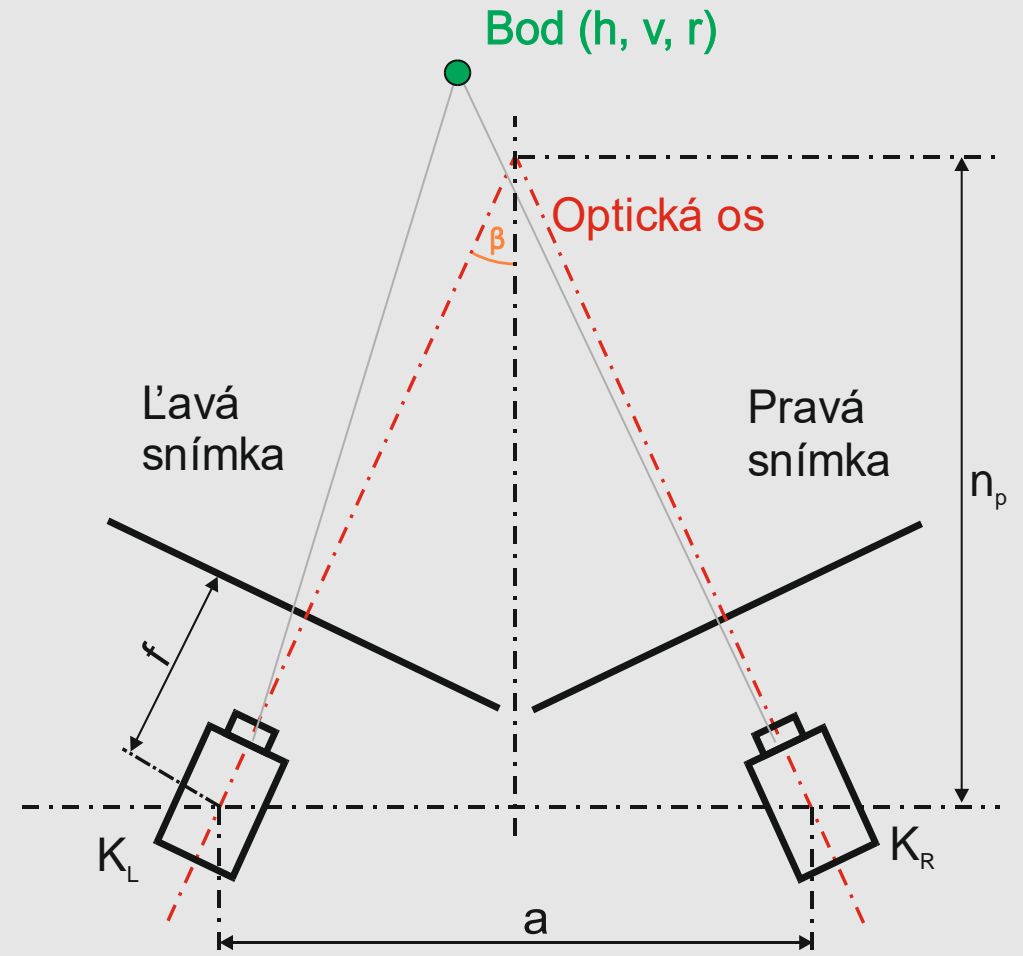
- Optické osi kamier NSKS nie sú rovnobežné, ale v definovanom bode sa pretínajú.
- Kamery sú k sebe natočené. V bode, kde sa optické osi pretínajú, **zvierajú uhol 2β** .
- Vzdialenosť „ n_p “ medzi začiatkom SKS a priesečníkom optických osi budeme **nazývať nulová paralaxa (zeroparalax)**

$$n_p = \frac{a}{2 \tan(\beta)}$$

$$r = d - \frac{af_x}{a \frac{f_x}{n_p} + D} = d - \frac{af_x}{2f_x \tan(\beta) + D}$$

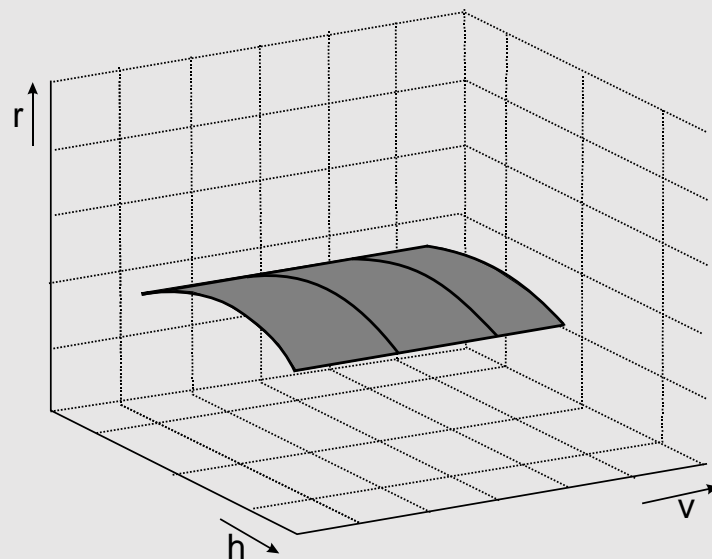
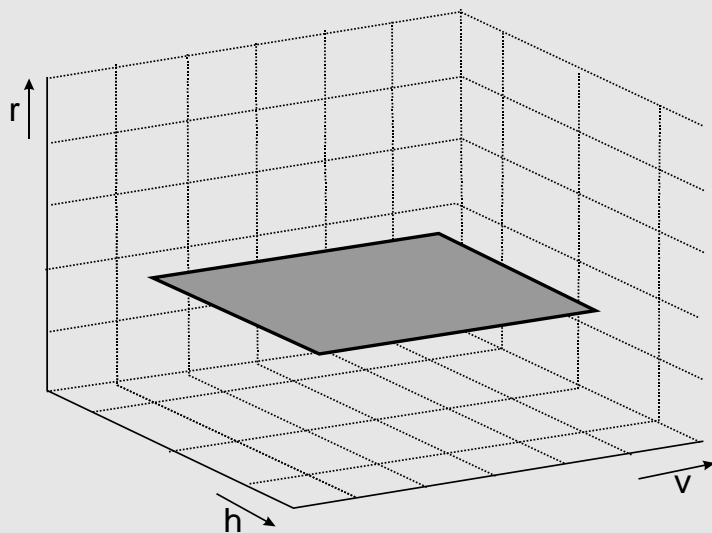
$$h = \frac{a(j_L + j_R - 2j_0)}{2(a \frac{f_x}{n_p} + D)} = \frac{a(j_L + j_R - 2j_0)}{2(2f_x \tan(\beta) + D)}$$

$$v = \frac{af_x (i_L + i_R - 2i_0)}{-2f_y(a \frac{f_x}{n_p} + D)} = \frac{af_x (i_L + i_R - 2i_0)}{-2f_y(2f_x \tan(\beta) + D)}$$



Stereoskopia - Nesúosový stereoskopický kamerový systém

- pri NSKS, vzniká okrem horizontálnej aj vertikálna disparita. To vedie k zlej estimácii hĺbkovej súradnice bodov 3DVS horizontálne posunutých od stredu súradnicového systému 3DVS.
- Pri SSKS k takejto chybe nedochádza.
- Vertikálna disparita, spôsobuje v hĺbkovej rovine zakrivenie rekonštruovanej 3DVS. Body 3DVS horizontálne posunuté od stredu súradnicového systému 3DVS sa po rekonštrukcii dostávajú pod ideálnu hĺbkovú rovinu. Preto je potrebné objekty 3DVS umiestniť v oblasti okolo stredu jej súradnicového systému.
- **V praxi sa častejšie stretávame s NSKS.**
- **V kinách sa tento problém čiastočne kompenzuje zakrivením plátna (to je zakrivené aj z iných dôvodov).**



Stereoskopia - Vyhľadávanie korešpondujúcich bodov

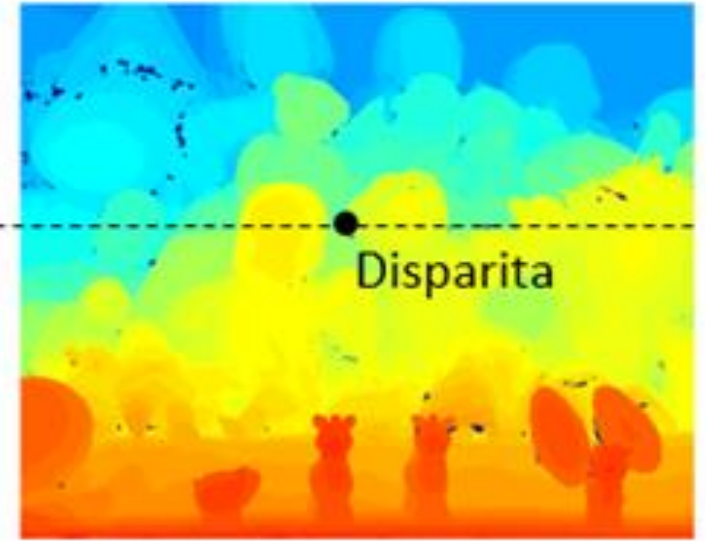
- Pri výpočte hĺbky zo stereoskopického obrazu je potrebné poznať disparitu.
- Keďže sa vychádza z predpokladu, že stereoskopické snímky sú zarovnané, problém vyhľadávania korešpondujúcich bodov sa redukuje na jednorozmerné vyhľadávanie.
- Disparitu je potrebné určiť pre každý op prekrývajúcej sa časti stereoskopických obrazov.
- Disparita jednotlivých op je potom zapísaná do matice (obrazu), ktorú potom nazývame disparitná resp. hĺbková mapa



Ľavá stereo snímka



Pravá stereo snímka



Disparitná mapa

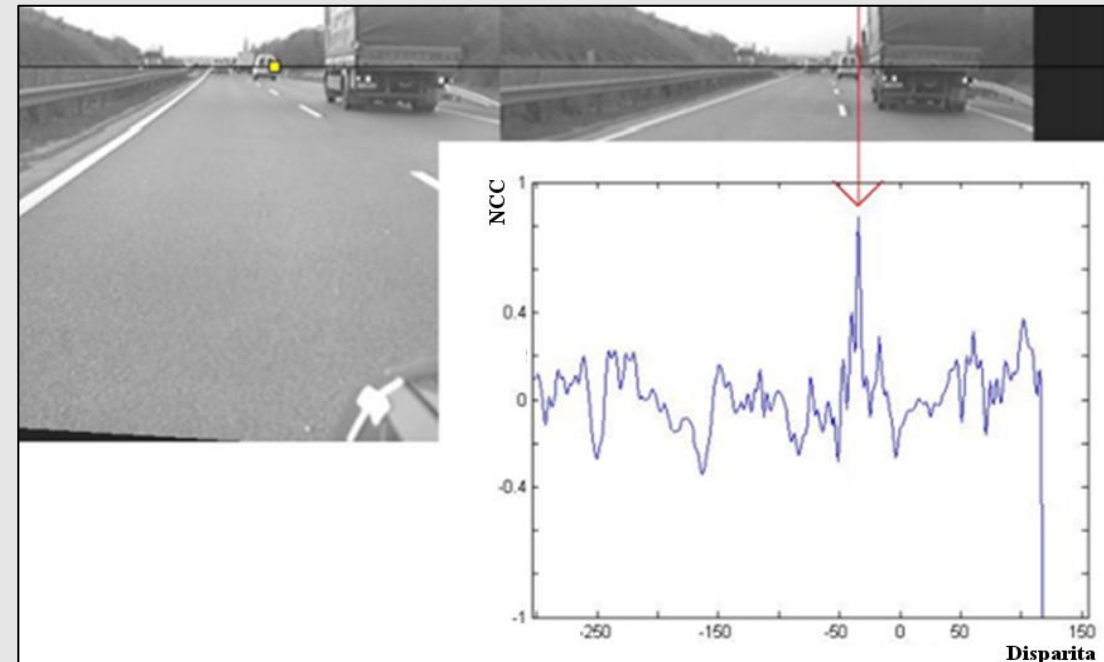
Stereoskopia - Vyhľadávanie korešpondujúcich bodov

Z dvojice stereoskopických scén je vždy jedna referenčná (Base) a druhú môžeme nazvať porovnávaná (Match).
Vo všeobecnosti vytvorenie disparitnej mapy pozostáva z niekoľkých fáz:

- predspracovanie (korekcia a zarovnanie obrazov, normovanie a centrovanie ...)
- výpočet kvantitatívnej miery relevantnej pre vyhodnotenie (korelácia, chyba, kvadratická chyba a pod.)
- určenie disparity
- finálne spracovanie výslednej disparitnej mapy (filtrácia, korekcia ...)

Ako parameter kvantitatívnej miery je možné použiť :

- **Normalizovaná krížová korelácia**
(NCC- Normalized Cross Correlation).
- **Suma absolútnych rozdielov**
(SAD - Sum of Absolute Differences).
- **Suma kvadrátov rozdielov**
(SSD - Sum of Squared Differences).
- **Rang transformácia v kombinácii s NCC, SAD alebo SSD**
- **Census transformácia v kombinácii s NCC, SAD alebo SSD**



Stereoskopia – Rang transformácia

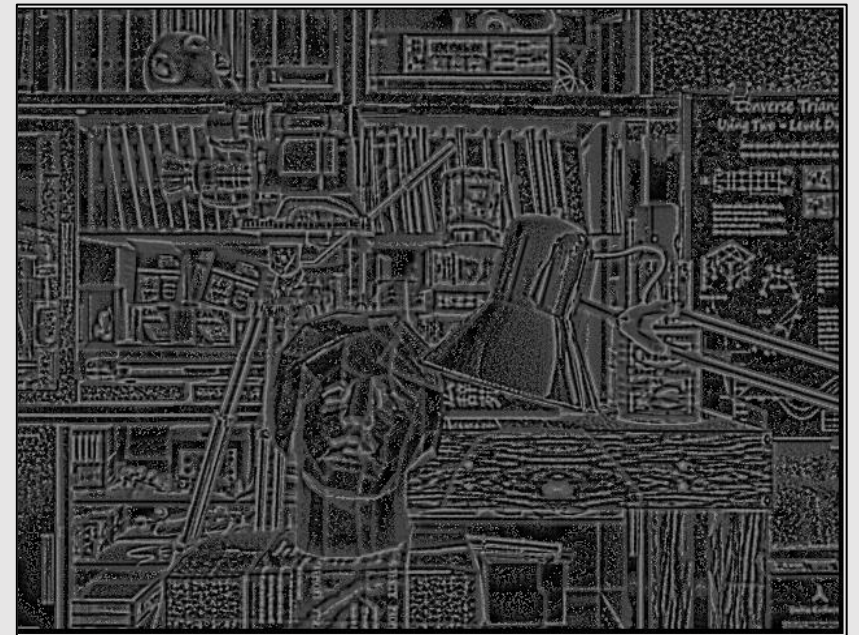
Táto transformácia patrí medzi **bezparametrové lokálne transformácie** (nonparametric local transform) a zavádza sa za účelom odstránenia citlivosti na šum

Princíp spočíva v zistení počtu op v danej lokálnej oblasti, ktoré majú menšiu intenzitu ako stredový op. Ich počet potom predstavuje hodnotu rang transformácie.

Disparita sa potom určuje v takto transformovaných stereoskopických snímkach na základe SSD, SAD alebo NCC

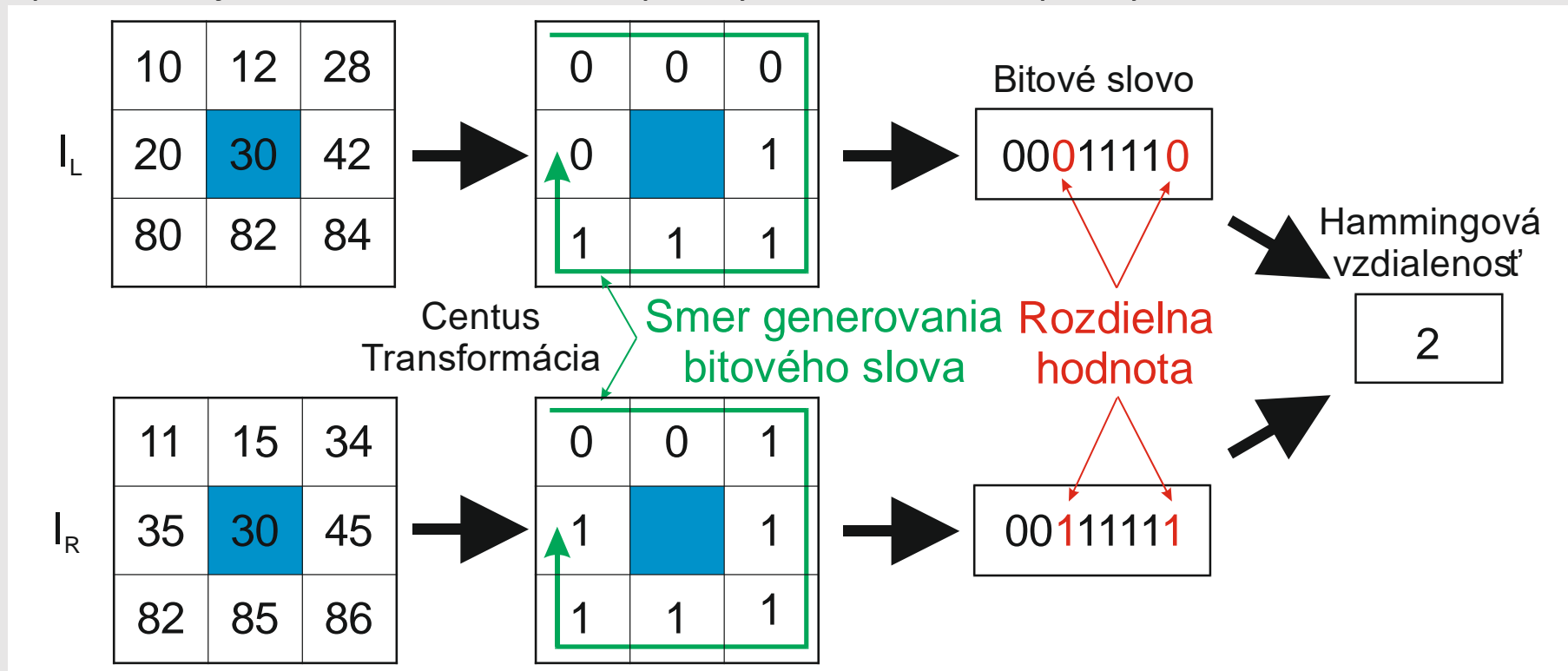
89	63	72
67	55	64
58	51	49

→ 2



Stereoskopia – Centus transformácia

- Vychádza z rang transformácie.
- Neurčuje sa však počet op s nižšou hodnotou, ale pre prostredný prvok sa vygeneruje postupnosť bitov. Tieto bity sú určené na základe okolia stredového prvku. Ak prvok v okolí má vyššiu hodnotu ako stredový prvok, priradí sa mu hodnota 1 a v opačnom prípade hodnota 0.
- Následne sa tieto binárne hodnoty začínajúc v ľavom hornom rohu prepíšu do postupnosti bitov. Takto sa vygenerujú bitové slová pre op v ľavej a pravej snímke. Pre tieto sa následne určí **Hammingova vzdialenosť**, ktorá potom predstavuje kvantitatívnu mieru pre vyhodnotenie disparity.





Číslicové spracovanie obrazov

Prednáška č. 8

- Afinne transformácie obrazu
- Perspektívna transformácia
- Stereoskopia
- **Geometrická kalibrácia kamery**

Geometrická kalibrácia kamery – estimácia ohniskových vzdialenosti

Reálne kamery nemusia mať známe parametre, ako sú napr. ohniskové vzdialenosti, ktoré sú pre estimáciu nevyhnutné.

Odhad parametrov kamery alebo kalibrácia je pomerne zložitý problém popísaný v mnohých publikáciách.

Jednoduchá kalibrácia ohniskových vzdialenosti môže byť daná exaktným výpočtom nasledovnej rovnice pre jednu dvojicu korešpondujúcich bodov

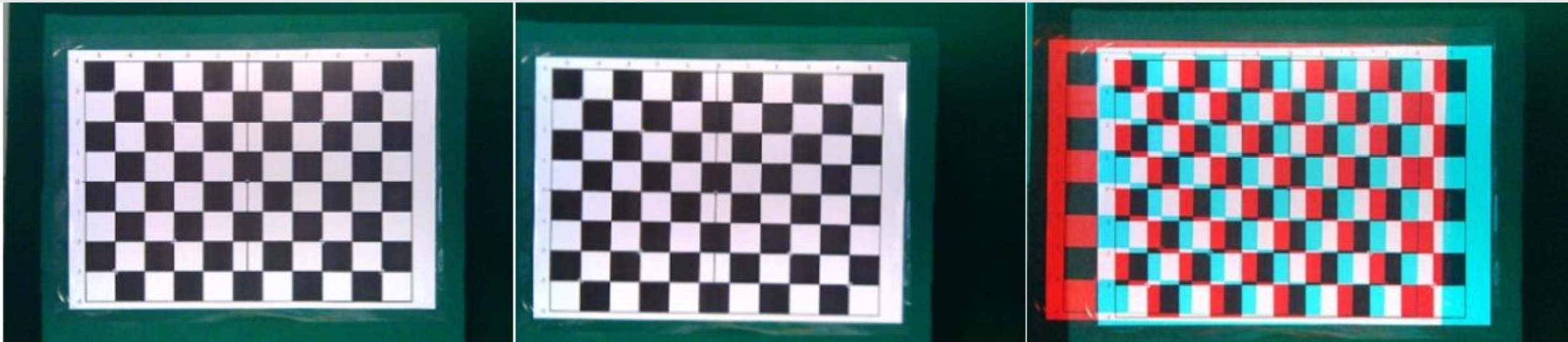
$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} = -(\mathbf{C}^T \mathbf{C})^{-1} \mathbf{C}^T \mathbf{B}$$
$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} v_1 & 0 \\ 0 & h_1 \\ \vdots & \vdots \\ v_n & 0 \\ 0 & h_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = d \begin{bmatrix} j_0 - j_1 \\ i_1 - i_0 \\ \vdots \\ j_0 - j_n \\ i_n - i_0 \end{bmatrix}$$

Existujú aj komplexné metódy určovania vnútorných a vonkajších parametrov kamerových systémov.

Geometrická kalibrácia kamery – estimácia ohniskových vzdialenosti

Pri reálnom stereoskopickom systéme je ťažké zabezpečiť, aby optické osi kamier boli naozaj paralelné a aby kamery ležali v jednej rovine.

Tieto nedostatky vyplývajú jednak z toho, že dve kamery konštrukčne nikdy nebudú vyhotovené identicky.



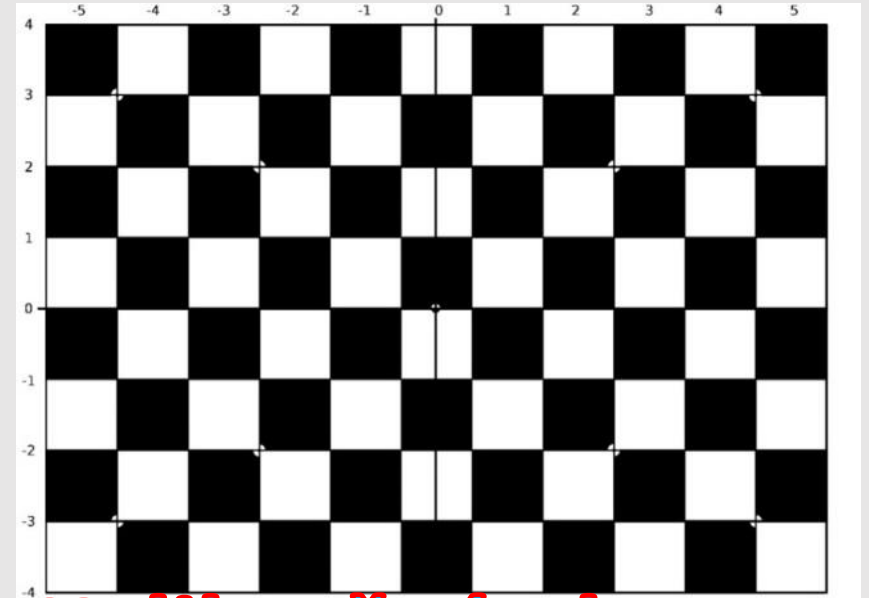
Snímky získané kamerovým systémom bez korekcie

Geometrická kalibrácia kamery – estimácia ohniskových vzdialenosti

Uplatňujeme tu tzv. rektifikáciu nasnímanej snímky vzhľadom na kalibračný obrazec. Rektifikáciu môžeme dosiahnuť pomocou matice homografie.

Snímky získané

kamerovým systémom s korekciou



Kalibračný obrazec

