



20 LET
JSME TU
PRO VÁS
PRŮMYSLOVÉ
SYSTEMY

Kalibrační proces ve 3D

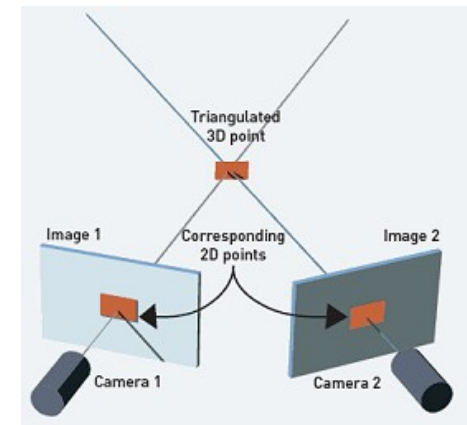
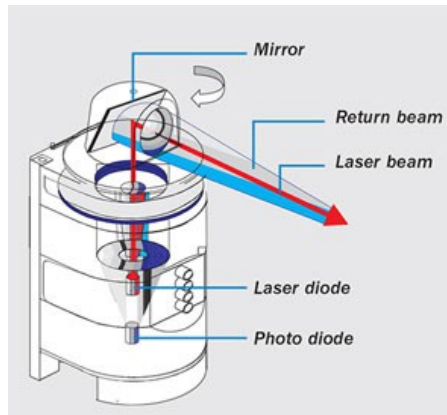
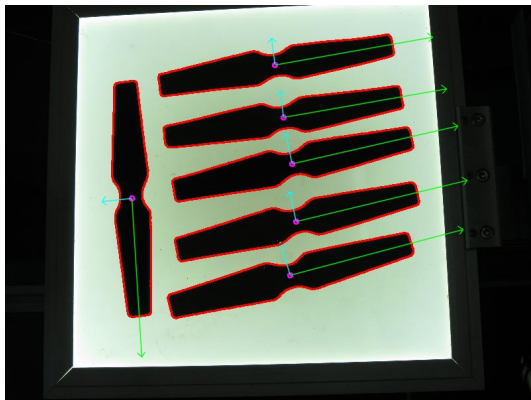


- společnost byla založena v roce 1995 jako součást holdingu FCC
- dodávky komponent pro průmyslovou automatizaci
- integrace systémů kontroly výroby, strojového vidění a robotiky
- od roku 1999 certifikát systému řízení jakosti ISO 9001
- kanceláře Praha, Ústí nad Labem, Plzeň, Bratislava
- 30 zaměstnanců

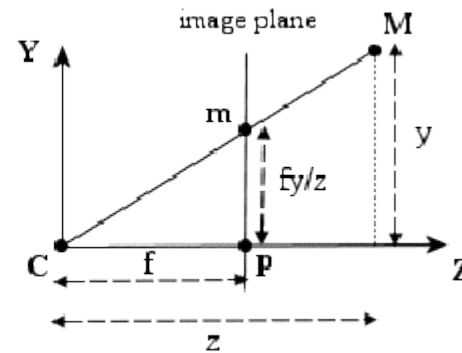
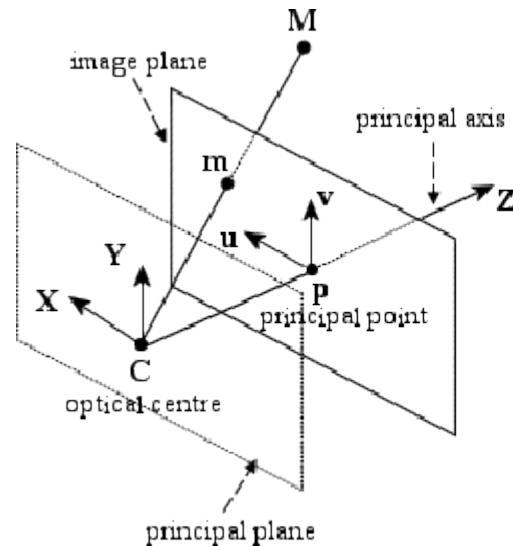


reprezentaci 3D scény lze získat několika způsoby:

- získáním souřadnic X a Y z obrazu kamery, Z souřadnice konstantní (využívá se pro pozicování robotu v jednoduchých úlohách)
- metoda doby letu paprsku světla - X,Y,Z získáme z úhlu a doby letu světla
- získáním souřadnic X a Y z obrazu kamery, Z souřadnice se získá výpočtem pomocí triangulace



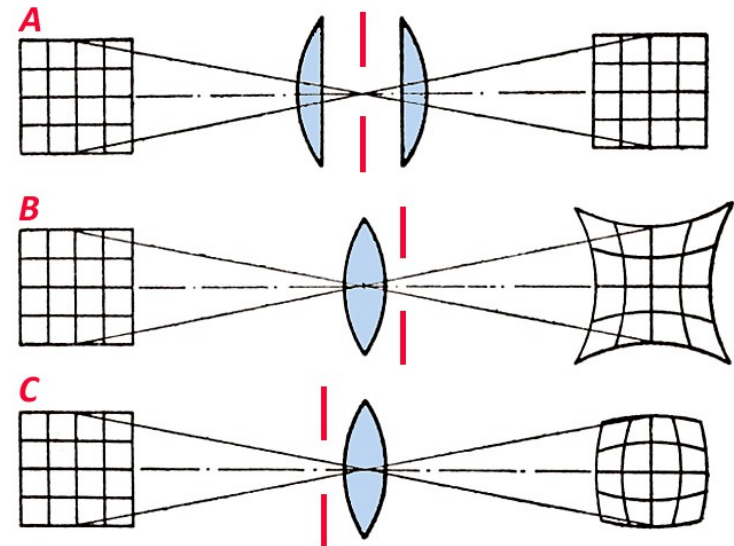
Pinhole kamera - základem získání reprezentace bodu v prostoru je promítání bodu přes projekční střed na obrazovou rovinu. Tím získáme 2D reprezentaci bodu z prostoru.



Reálná kamera se ovšem od tohoto modelu vzdaluje přítomností distorzí tzv. zkreslení. Tato zkreslení jsou způsobena přítomností čoček v optické soustavě kamery a jejich nepřesnostmi.

Radiální zkreslení:

- způsobeno přítomností čočky
- má podstatný vliv na výsledný obraz
- průběh není symetrický
- nutno kompenzovat

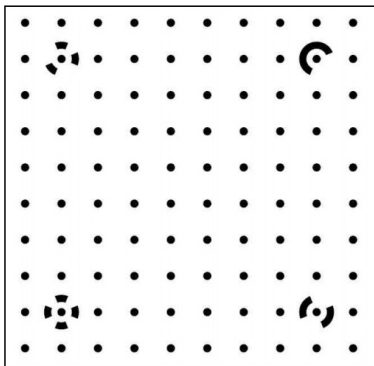


Tangenciální zkreslení:

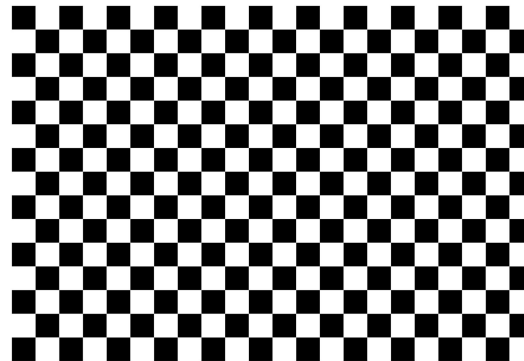
- způsobeno nepřesnou centrací čoček
- v současných objektivěch je toto zkreslení téměř zanedbatelné

Kalibrace se provádí pomocí kalibračního vzoru, který nám umožní přesně definovat 3D body v prostoru a jejich obraz v obrazové rovině.

**Kalibrační vzor
kruhové
značky**



**Kalibrační vzor
čtvercové
značky**



Ukázka výpočtu koeficientů zkreslení v OpenCV:

- K1 – k6 jsou koeficienty radiálního zkreslení
- P1 a p2 jsou koeficienty tangenciálního zkreslení

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + t$$

$$x' = x/z$$

$$y' = y/z$$

$$x'' = x' \frac{1+k_1 r^2+k_2 r^4+k_3 r^6}{1+k_4 r^2+k_5 r^4+k_6 r^6} + 2p_1 x' y' + p_2 (r^2 + 2x'^2)$$

$$y'' = y' \frac{1+k_1 r^2+k_2 r^4+k_3 r^6}{1+k_4 r^2+k_5 r^4+k_6 r^6} + p_1 (r^2 + 2y'^2) + 2p_2 x' y'$$

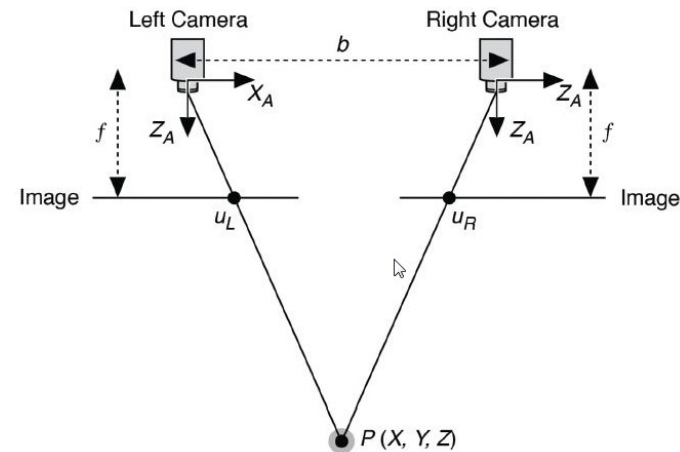
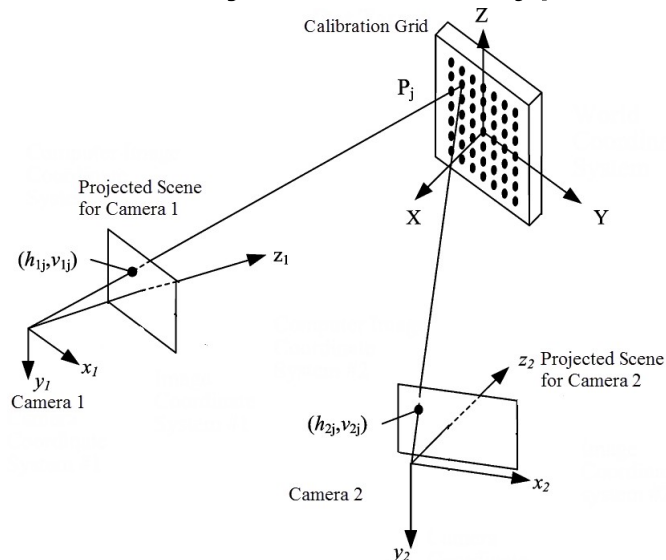
$$\text{where } r^2 = x'^2 + y'^2$$

$$u = f_x * x'' + c_x$$

$$v = f_y * y'' + c_y$$

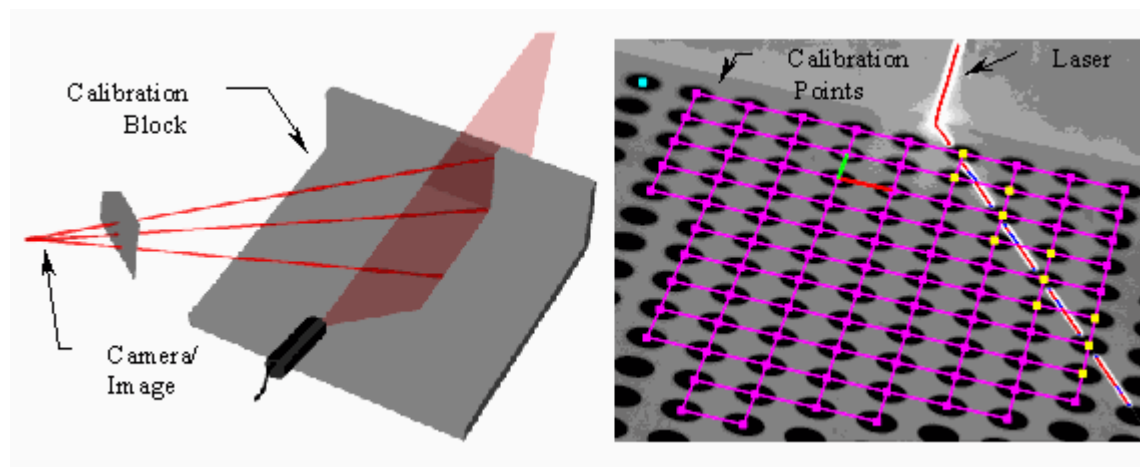
kamera - kamera

- základem je zjistit souřadnice jednotlivých bodů v obrazových rovinách pro známé body ve 3D
- po několika opakování lze vypočít vzájemnou polohu kamer (matice R a T)
- matice R a T slouží k zjednodušení systému na standardní epipolární geometrii, na které lze již snadno vypočít hloubku (vzdálenost) pro jednotlivé pixely



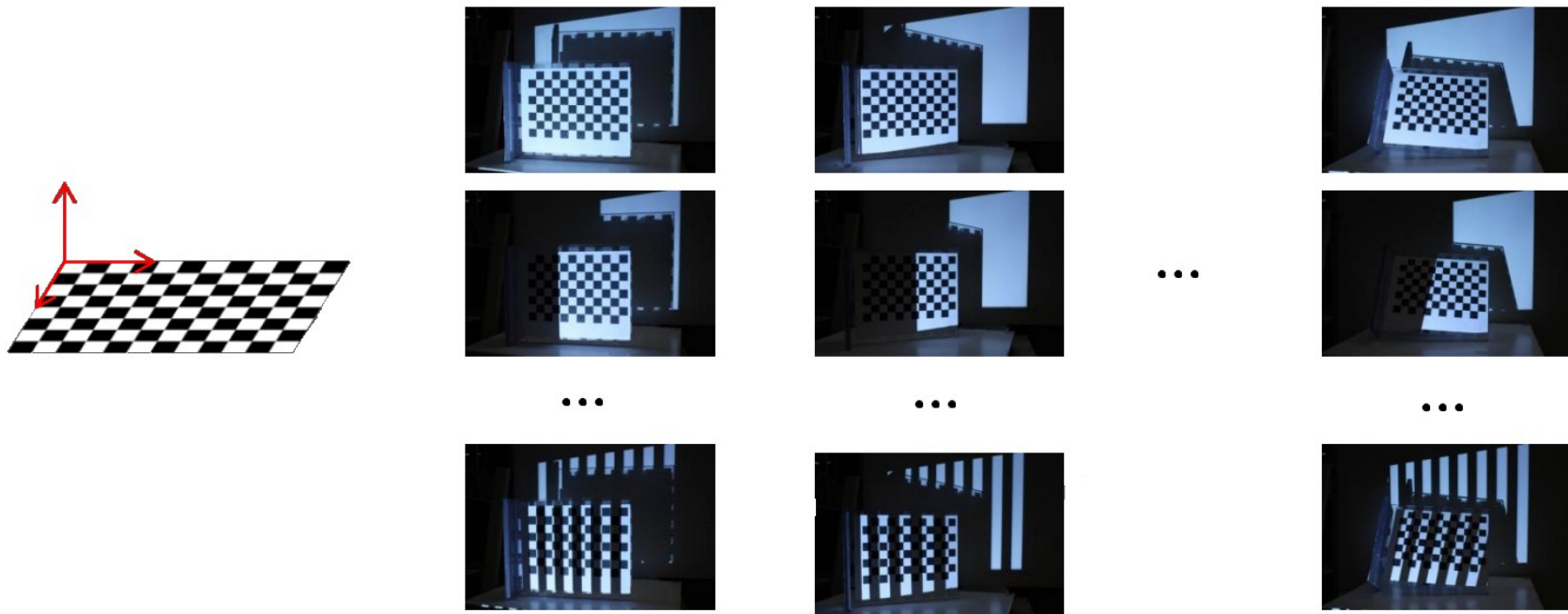
kamera – laser

- hledáme rovinu laseru v obraze
- po několika opakování lze vypočítat vzájemnou polohu kamery a laseru (matice R a T)
- z roviny laseru a vzájemné polohy laseru a kamery lze vypočítat hloubku pro jednotlivé body na čáře laseru



kamera – strukturované světlo

- snažíme se zjistit vztah pixelu v kameře a pixelu z projektoru
- každý pixel v kameře se zakóduje bitovou sekvencí z projektoru
- z toho vypočítáme vzájemnou polohu kamery a projektoru (matice R a T)



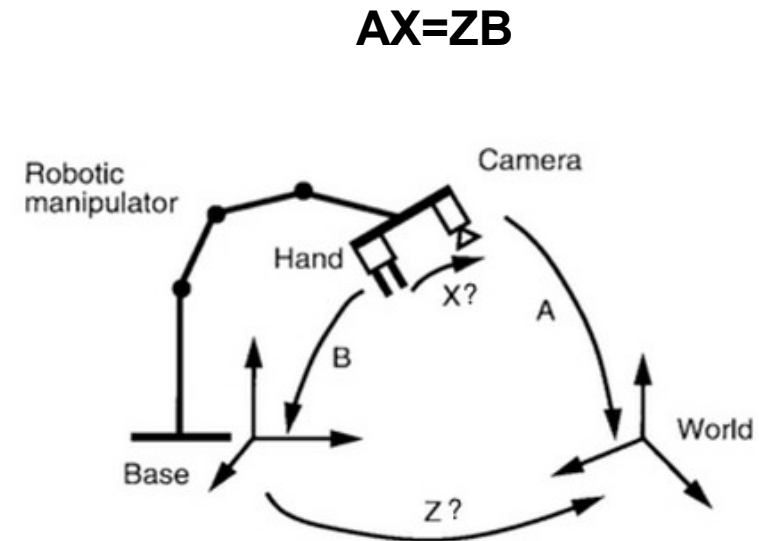
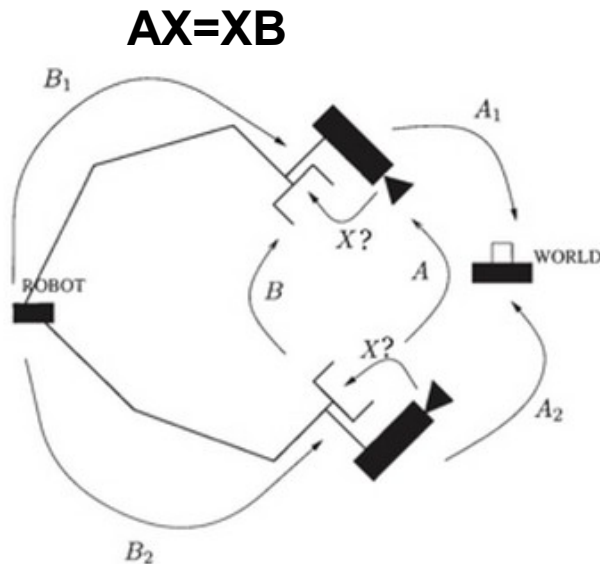
fyzické

- rozlišení kamery
- přesnost vytištění kalibračního vzoru
- rovinnost kalibračního vzoru
- pokrytí obrazu kalibračním vzorem
- správné pokrytí prostoru

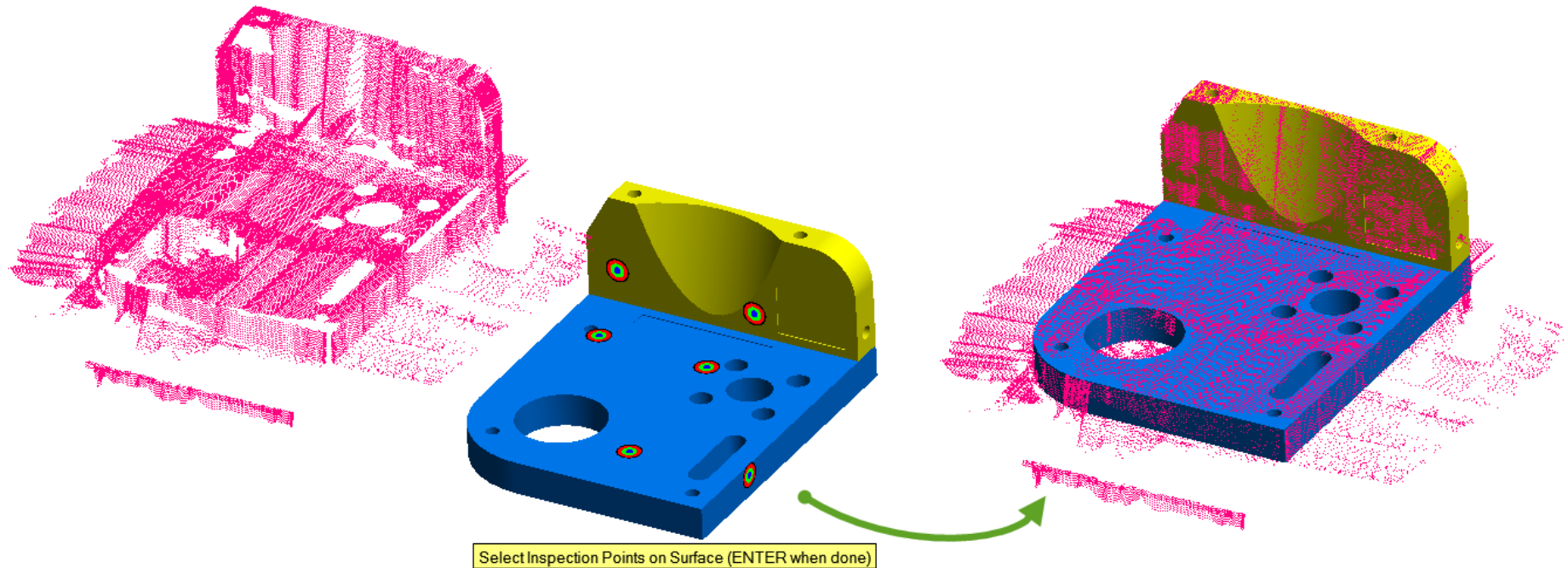
softwarové

- množství snímků pro kalibraci
- výpočet distorzních koeficientů
- nalezení přesné pozice kalibračních obrazců
- nalezení korespondencí stereopáru

- základem této kalibrace je nalézt vztah mezi souřadnými soustavami robotu a kamer
- dvě metody řešení problému
 - výpočet pozic kamery z pozic robotu $AX=XB$
 - souběžný výpočet transformace a pozice robotu $AX=ZB$



- tato kalibrace řeší vztah mezi modelem a mrakem bodů naměřených stereo-párem
- dvě metody řešení problému
 - kalibrace modelu pomocí aditivních značek
 - výpočet pomocí hledání minimálních vzdáleností



Robotický měřicí systém

Základem je snaha o vytvoření měřicího systému nahrazující metrologickou laboratoř pro měření výlisků plastových dílů.



Dosavadní pokusy o univerzální měřicí systém ztroskotávaly na interpretaci kontrolního plánu

- Pro každý měřený výrobek je nutné navrhnout nové nekolizní trajektorie mezi měřicími body
- Trajektorie se navrhují a testují přímo na skutečném robotickém pracovišti
- programy strojového vidění se připravují na skutečném robotickém pracovišti
- snižuje se využití robotického pracoviště
- opravy a změny jsou zdlouhavé a nákladné

Řešení ROMESY

- softwarový simulátor postavený na 3D modelu měřeného výrobku, robota a měřicího zařízení
- softwarový on-line plánovač nekolizních trajektorií
- simulace pohledů kamery pro prvotní parametrizaci měřicích program

Simuluje kompletní prostředí - robota

- kamerovou hlavu
- měřený díl
- měřicí zařízení

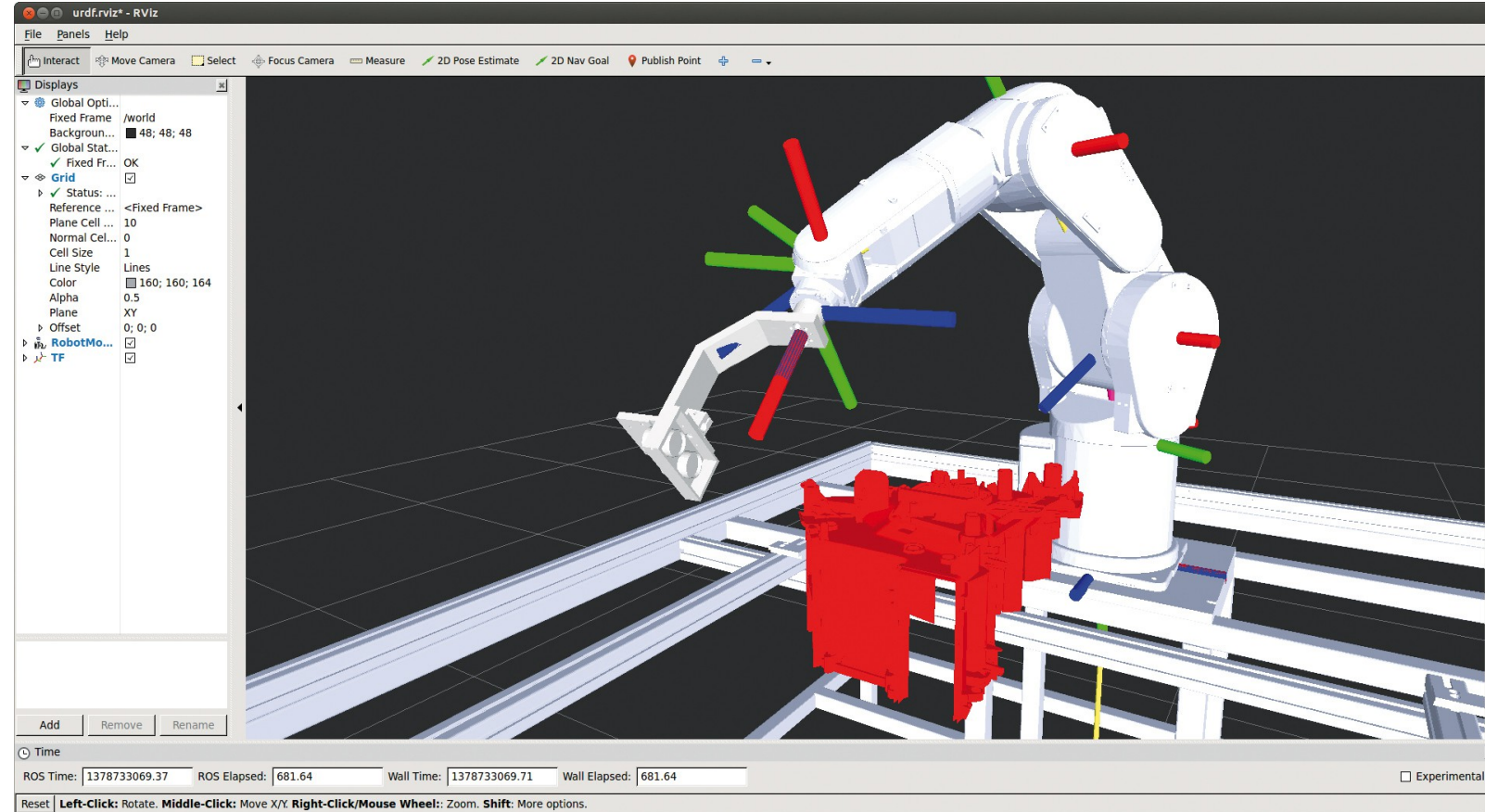
Plánuje nekolizní trajektorii

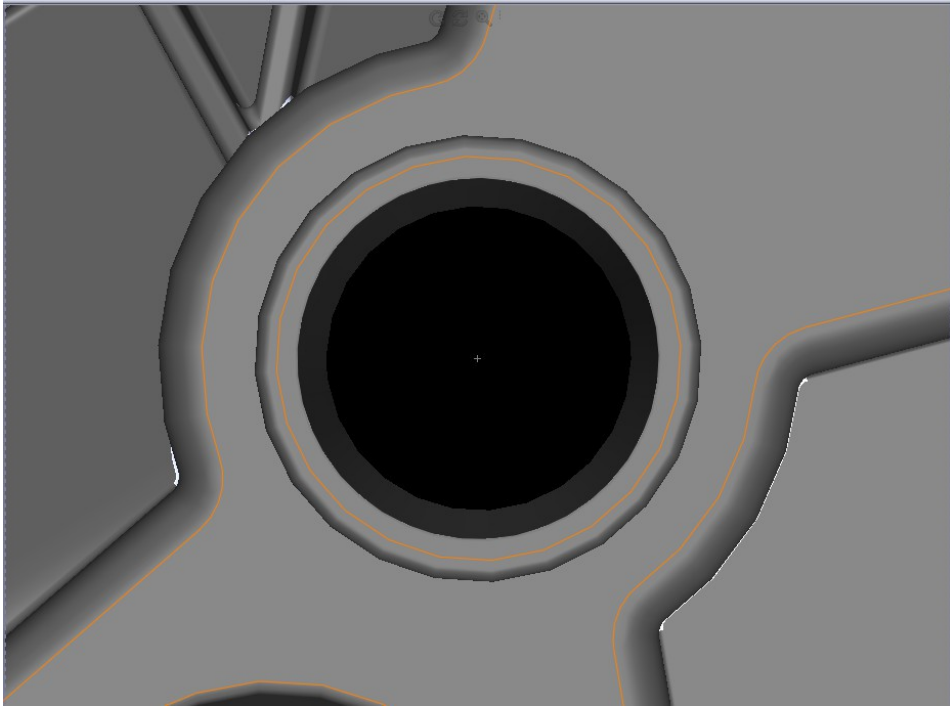
- transformuje souřadné systémy
- optimalizuje trasu

Simuluje pohled kamery

Univerzální

- výměna modelu robota
- výměna modelu kamerové hlavy



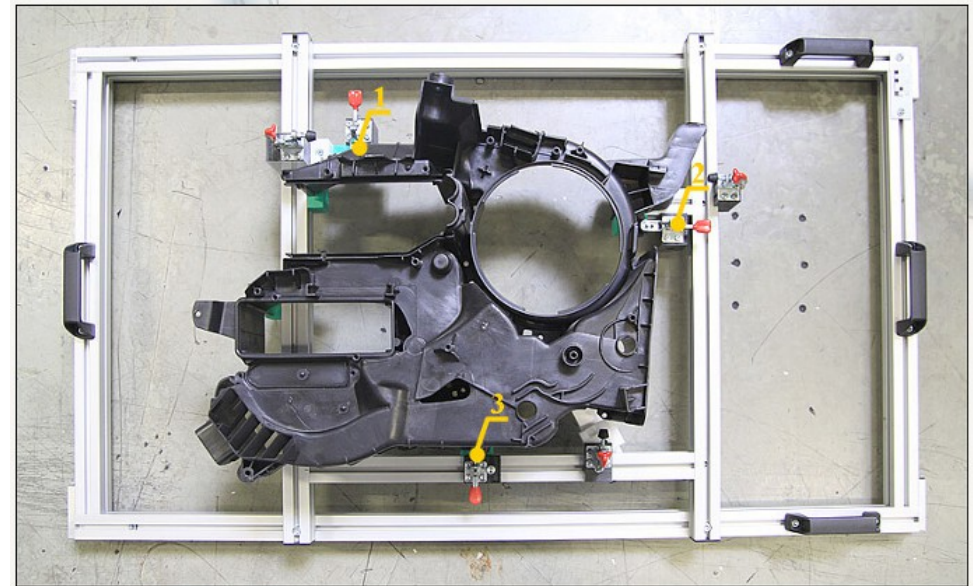


základní nastavení nástrojů pro zpracování obrazu se provádí na simulovaném pohledu

- Operátor vloží měřený díl dílu do měřicího rámu
- Vloží měřicí rám do měřicí skříně
- Zvolí kontrolní plán pro daný díl
- Spustí měření

System identifikuje měřený díl
(testuje charakteristické znaky)

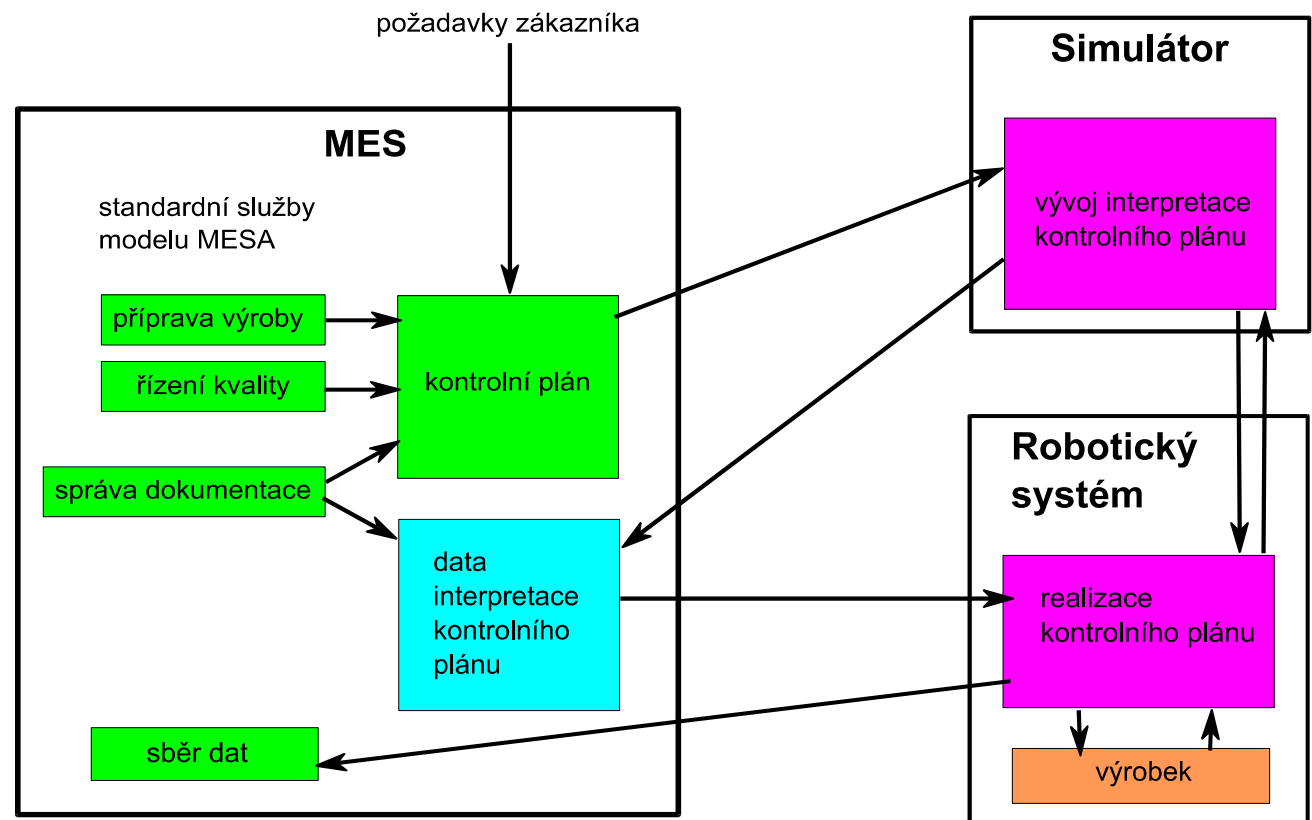
- prevence kolize v případě omylu operátora
- důležité pro různé varianty formy



Robot postupně nastavuje kameru k objektům, které se podle kontrolního plánu měří. Pořídí snímky, vyhodnotí je a vypočte výsledek testu znaku kvality (obvykle OK/NOK)

System vypracuje protokol o testu a uloží do databáze

- náhrada provozní metrologické laboratoře
- úspora kvalifikované práce
- eliminace chyb
- zvýšení produktivity
- automatizace zpracování
- možnost integrace do MES



Děkuji za pozornost

**FCC
PS**

Ing. Kamil Kotek , vedoucí vývoje