

Defektoskopie a klasifikace

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Počítačové vidění v průmyslu.
2. Defektoskopie a defektometrie.
3. Zařízení v defektoskopii.
4. Metody v defektoskopii.
5. Distanční transformace.
6. Hausdorffova vzdálenost.
7. Srovnávání se vzorem.

Defektoskopie a klasifikace

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

- 1. Počítačové vidění v průmyslu.**
2. Defektoskopie a defektometrie.
3. Zařízení v defektoskopii.
4. Metody v defektoskopii.
5. Distanční transformace.
6. Hausdorffova vzdálenost.
7. Srovnávání se vzorem.

Počítačové vidění v průmyslu – rozpoznávání

- Identifikace 2D i 3D objektů na základě apriorní znalosti modelu nebo vyhledávání modelu v databázi pomocí obsahu (image retrieval, image content).



Cambridge Neurodynamics Ltd.

ANPR = Automatic Number Plate Recognition.



CAMEA Ltd.

Unicam Velocity, Unicam Red-light.

BNJ 19-26

2A0 3396

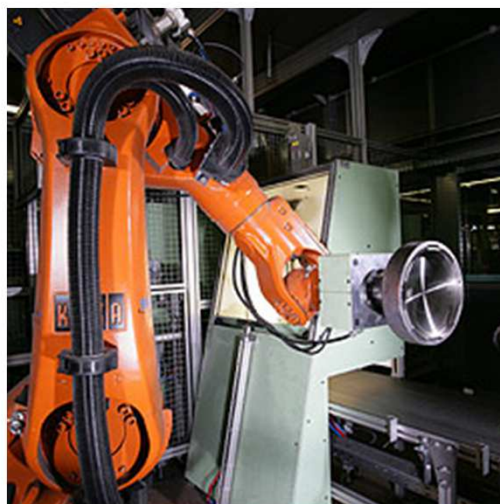


Počítačové vidění v průmyslu – řízení

- Navádění robotů na trajektorii: model prostředí + řídicí strategie.

KUKA

Robotický systém pro broušení a leštění vík tlakových hrnců – řízení pohybu robota je založeno na vizuální detekci vzájemné polohy ramene a víka.

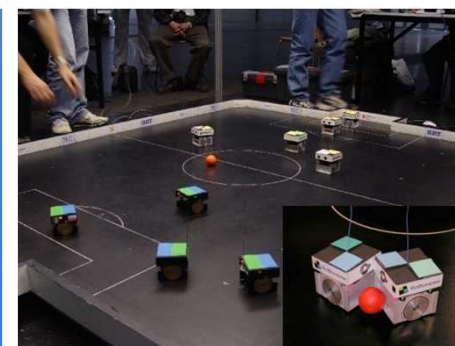


LTR ↔ LTR
LABORATOŘ TELEPREZENCE A ROBOTIKY

Orpheus



ROBOHEMIA



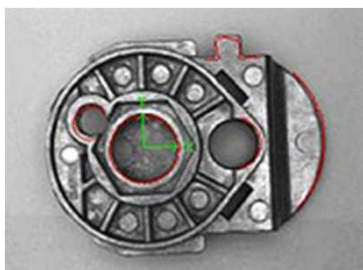
Počítačové vidění v průmyslu – inspekce

- Kontrola kvality: měření parametrů výrobků (1D,2D,3D), tvarová shoda s modelem, povrchová kontrola...

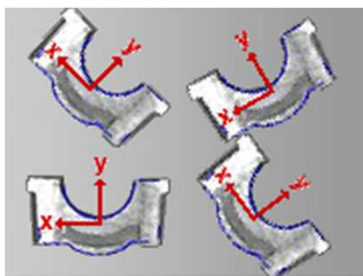
ISRA
VISION



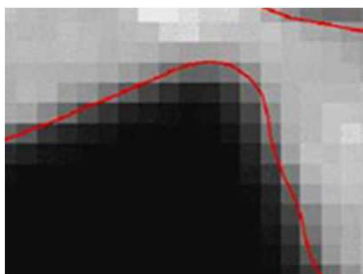
Planar Position Recognition and Identification.



← detekce kontur objektu

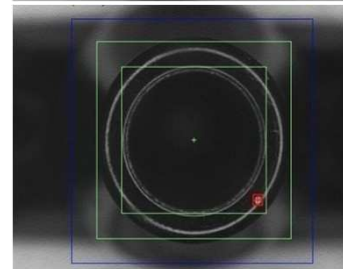
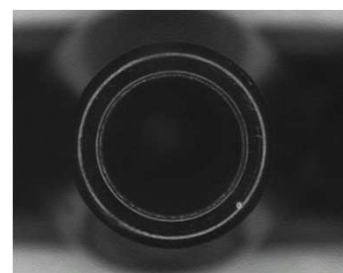
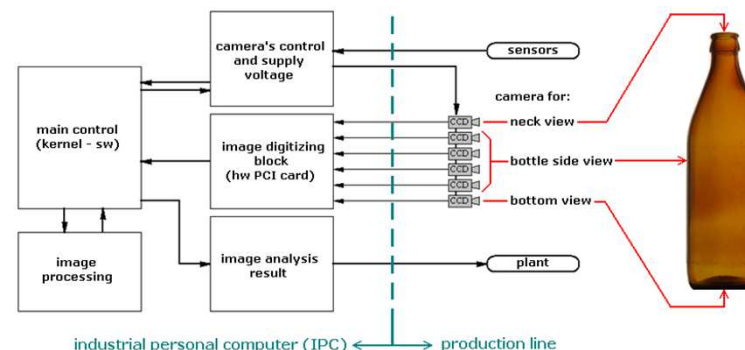


← nezávislost na otočení



← sub-pixelová přesnost

CAMEBA
BTCAM612



Defektoskopie a klasifikace

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Počítačové vidění v průmyslu.
- 2. Defektoskopie a defektometrie.**
3. Zařízení v defektoskopii.
4. Metody v defektoskopii.
5. Distanční transformace.
6. Hausdorffova vzdálenost.
7. Srovnávání se vzorem.

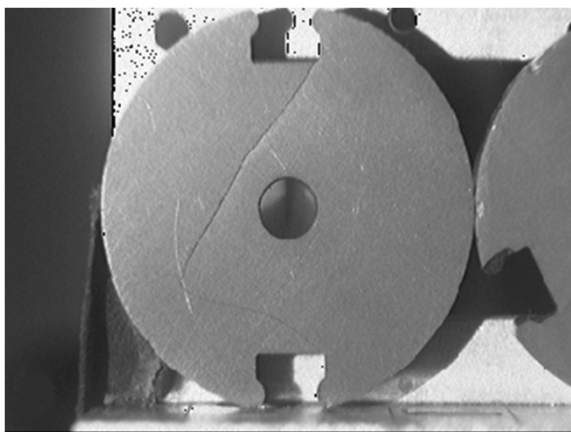
Defektoskopie a defektometrie – definice

- ▶ Defektoskopie = analýza defektů materiálu
 - nedestruktivnost: vizuální metody
 - analýza mikro i makro-struktury materiálu podle měřítka snímání
- ▶ Defektometrie = oblast metrologie zabývající se měřením vad materiálů
 - metrologie: věda zabývající se měřením fyzikálních veličin

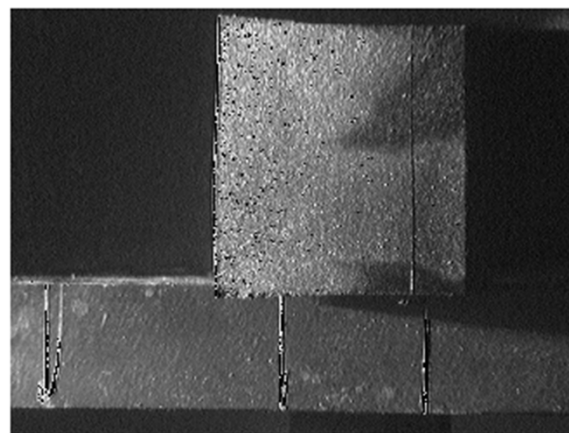
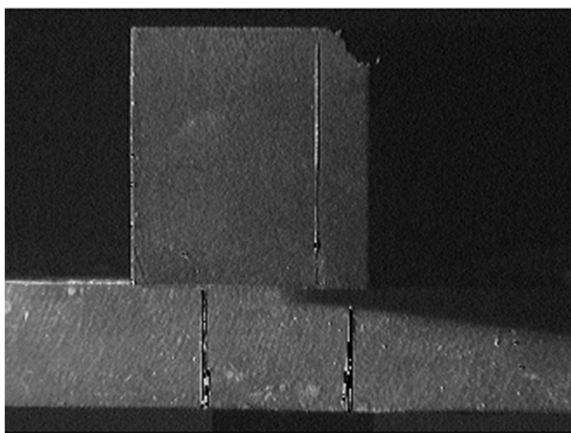
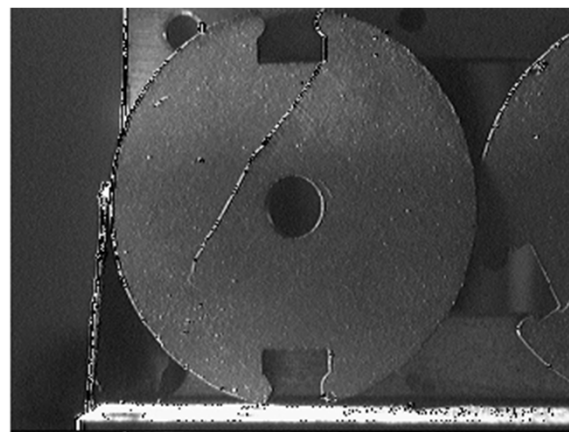
Defektoskopie a defektometrie – senzory

- ▶ Optické senzory: povrchové a tvarové defekty - speciální osvětlení pro praskliny, strukturu povrchu materiálu atd.
- ▶ Elektromagnetické senzory: podpovrchové defekty - vyhodnocení 2D nebo 3D obrazu

Axiální osvětlení

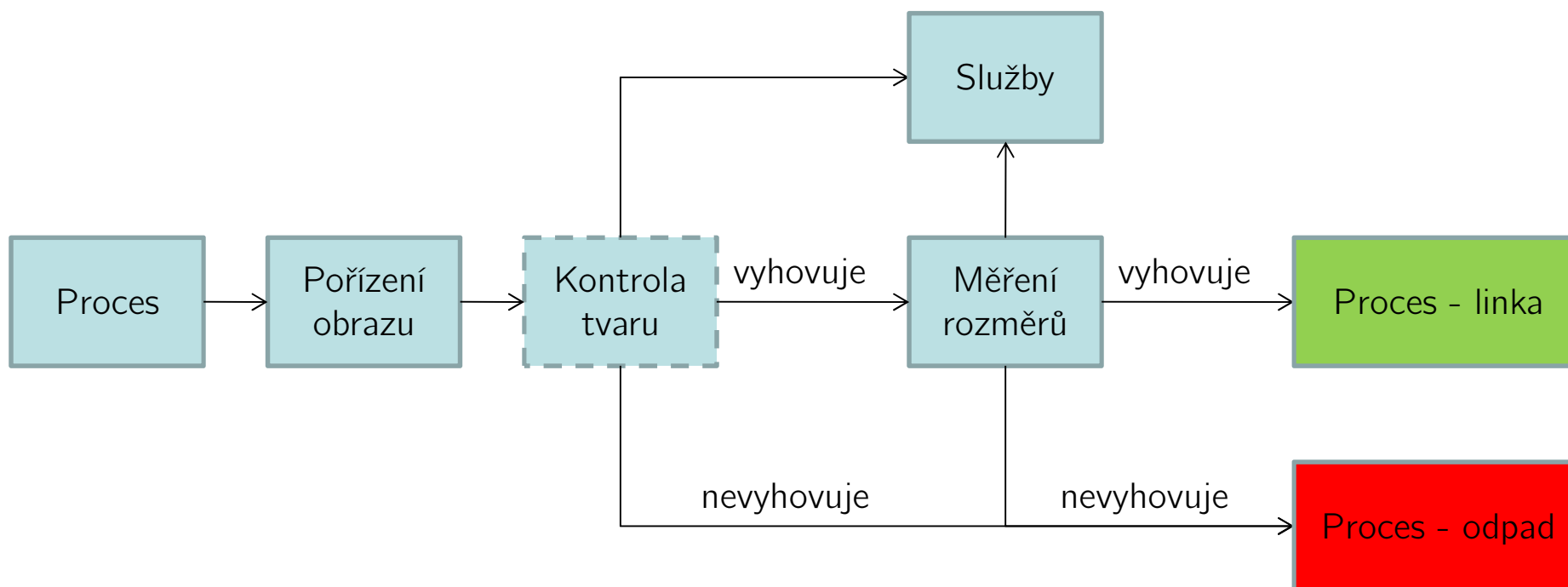


Tangenciální osvětlení



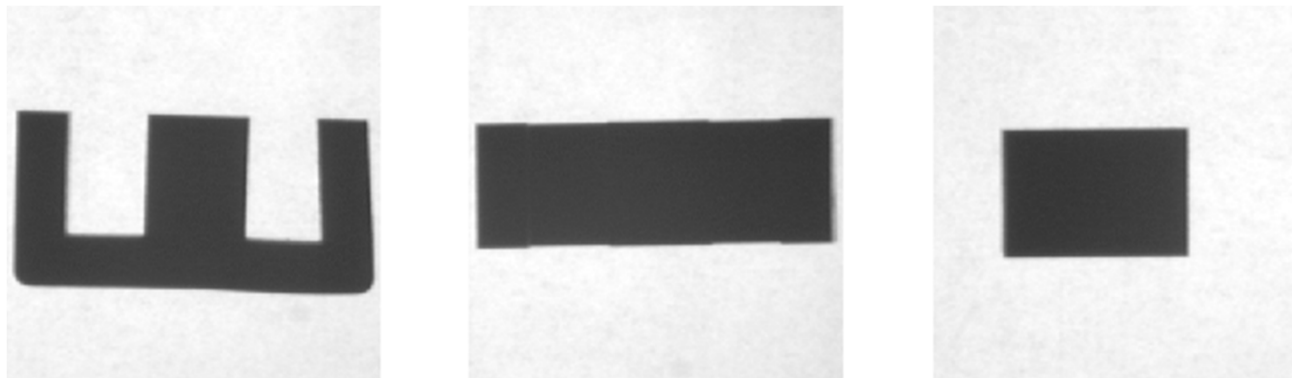
Defektoskopie a defektometrie – schéma

- ▶ Defektoskopické vyhodnocení výrobku v průmyslu: akceptace nebo zamítnutí.
- ▶ Technické prostředky kromě hlavního účelu kontroly umožňují zpravidla i servisní služby:
- ▶ Statistika provozu
- ▶ Monitorování stavu
- ▶ Archivace měřených dat
- ▶ :



Defektoskopie a defektometrie – podmínky

- ▶ Exaktní specifikace:
 - rozměry výrobku (absolutní [m], relativní [%])
 - výrobní tolerance (absolutní [m], relativní [%])
 - zajištění stabilní deklarované polohy objektu při snímání
 - viditelnost částí objektu bez společné hranice s okrajem snímku
- ▶ Pozice a orientace objektu na snímku:
 - přesně vymezená polohovací mechanikou
 - často předem známa pouze oblast výskytu (smyčka)
 - lokalizace objektu



obrazová reprezentace feritového E-jádra na ortogonálních snímcích

Defektoskopie a klasifikace

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Počítačové vidění v průmyslu.
2. Defektoskopie a defektometrie.
- 3. Zařízení v defektoskopii.**
4. Metody v defektoskopii.
5. Distanční transformace.
6. Hausdorffova vzdálenost.
7. Srovnávání se vzorem.

Zařízení v defektoskopii – optická soustava I.

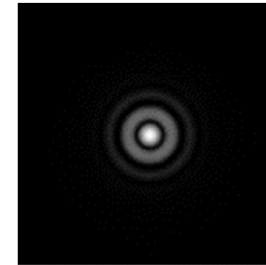
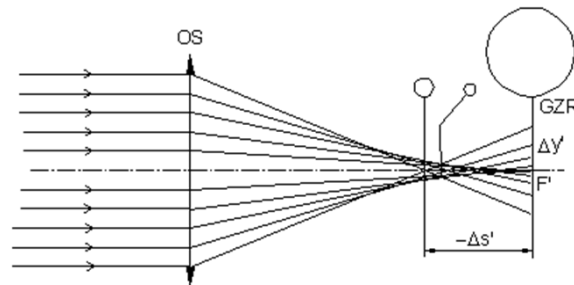
► Projekce předmětu na senzor představuje vždy ztrátovou transformaci způsobenou vlivem:

► Atmosféry (vnější ztráty) = zejména při astronomickém pozorování (tele-objektiv).

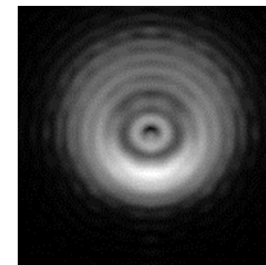
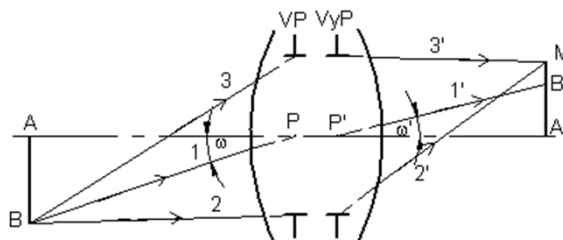
► Optické soustavy (vnitřní ztráty) = zejména při přesné defektoskopii (makro-objektiv).

► Aberace optické soustavy:

1. Sférická (kulová) chyba = rovnoběžné paprsky v předmětové rovině neprocházejí jedním bodem (ohniskem) v obrazové rovině \Rightarrow obraz bodu = neostrá ploška.

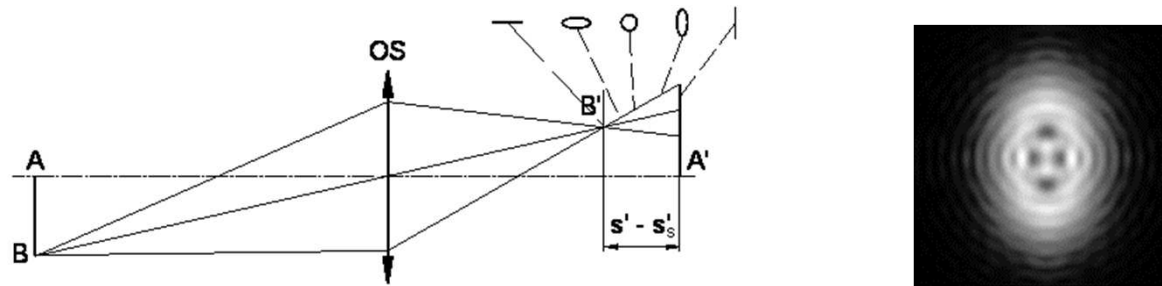


2. Asymetrická chyba (koma) = mimo-osý bod v předmětové rovině zobrazený širokým paprskovým svazkem není v obrazové rovině zobrazen jako bod \Rightarrow obraz bodu = čárový vzor.

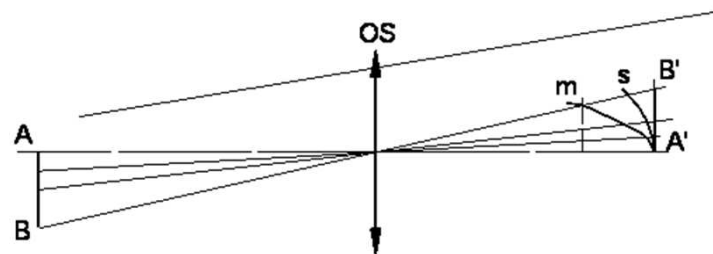


Zařízení v defektoskopii – optická soustava II.

3. Astigmatismus = mimo-osý bod v předmětové rovině zobrazený úzkým paprskovým svazkem je v obrazové rovině zobrazen jako elipsa (popř. čára nebo kruh).

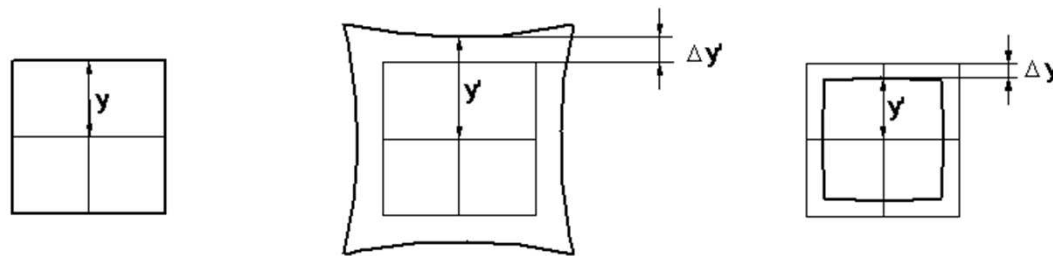


4. Zklenutí obrazového pole = body z předmětové roviny se v obrazovém prostoru zobrazují ostře v různých vzdálenostech (za sebou ležících obrazových rovinách).

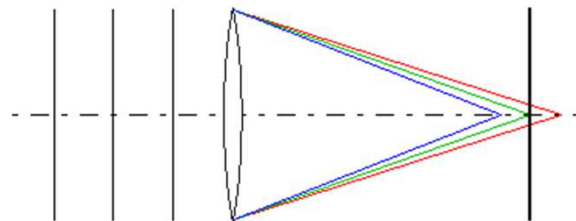
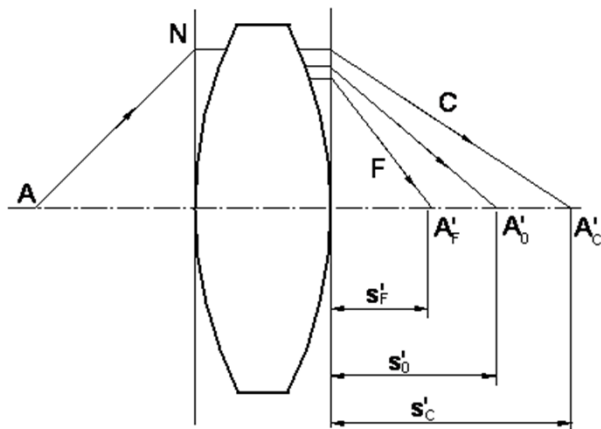


Zařízení v defektoskopii – optická soustava III.

5. Zkreslení (distorze) = zvětšení optické soustavy je v různých místech předmětové roviny různé (zpravidla symetrické kolem optické osy soustavy) \Rightarrow čtverec = strany prohnuté dovnitř (poduška – zvětšení směrem od středu roste) nebo strany prohnuté ven (soudek – zvětšení směrem od středu klesá).



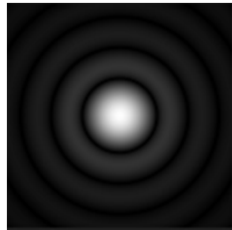
6. Chromatická chyba = vada zobrazení způsobená disperzí materiálu optické soustavy (tj. závislost indexu lomu čočky na vlnové délce \Rightarrow různé vlnové délky mají různá ohniska) \Rightarrow bod zobrazen ostře vždy jen pro jednu vlnovou délku.



Zařízení v defektoskopii – optická soustava IV.

- Ukazatele fyzické kvality = *PV* (peak-valley) ... pomocné kritérium, udává minimální a maximální diferenci mezi skutečnou a ideální optickou plochou.
= *RMS* (root-mean-square) ... směrodatná odchylka skutečné od ideální optické plochy (měřeno v mnoha bodech povrchu).

- Ukazatele optické kvality = *SR* (Strehl Ratio) ... poměr energie Airyho disku skutečné optické soustavy vzhledem k její teoretické maximální hodnotě (energie Airyho disku ideální optické soustavy).

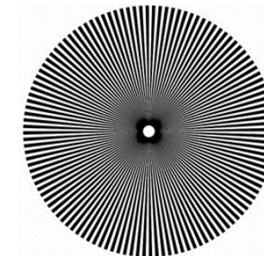
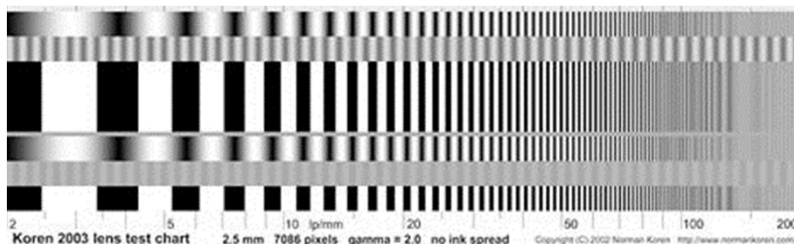


Difrakční kroužky
(prostřední je Airyho disk)

- = *MTF* (Module Transfer Function) ... poměr modulace optického signálu na vstupu a výstupu soustavy (představuje přesný ukazatel kvality optické soustavy).

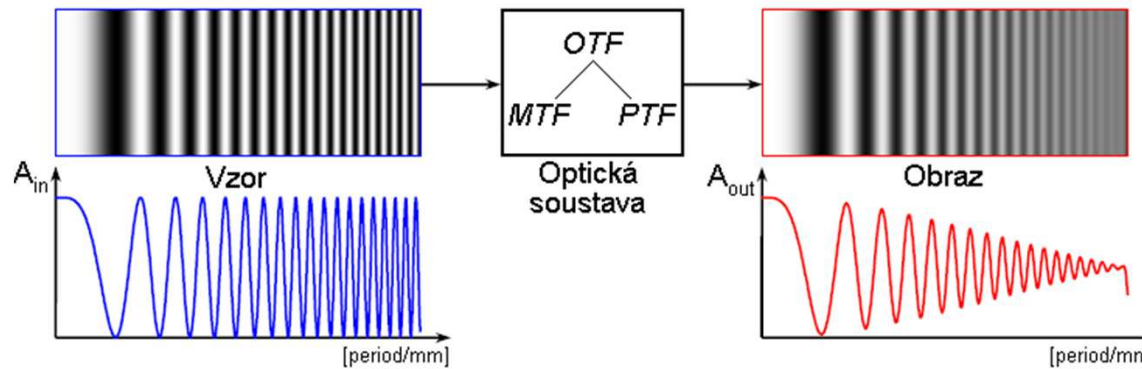
- Modulace M :
$$M = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \quad A_{\max}, A_{\min} = \text{maximální a minimální intenzita}$$

- Pro výpočet M se používají testovací obrazce (např. Koren2003, Siemensova hvězda):



Zařízení v defektoskopii – optická soustava V.

▸ *MTF* = poměr modulace M_{in} na vstupu optické soustavy k modulaci M_{out} na jejím výstupu.



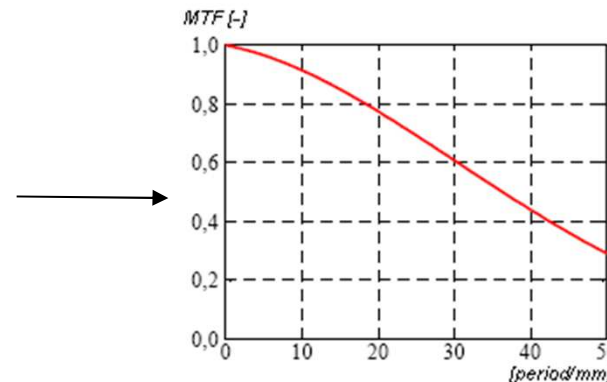
▸ Přenos optické soustavy *OTF*:

$$OTF(u, v) = |H(u, v)| \cdot e^{j\phi(u, v)} = MTF(u, v) \cdot e^{jPTF(u, v)}$$

$$|H(u, v)| \cdot e^{j\phi(u, v)} = F\{h(x, y)\} \quad h(x, y) = \text{impulsní odezva soustavy}$$

▸ Průběh *MTF* = závislost přenosu modulace na:

1. Koren - počtu period (dvojic čar) na mm [period/mm]
2. Siemens - vzdálenosti od středu soustavy [mm]



Zařízení v defektoskopii – priority

- ▶ Primární parametr = spolehlivost-rychlost-přesnost
- ▶ Sekundární parametr = cena
- ▶ Moderní parametr = spolehlivost-rychlost-přesnost-cena

Zařízení	Uživatelské	Průmyslové	Hi-end
Osvětlení	 7.000,-	 15.000,-	 50.000.-
Objektivy	 6.000,-	 40.000,-	 160.000.-
Kamery	 10.000,-	 60.000,-	 200.000.-

Defektoskopie a klasifikace

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Počítačové vidění v průmyslu.
2. Defektoskopie a defektometrie.
3. Zařízení v defektoskopii.
- 4. Metody v defektoskopii.**
5. Distanční transformace.
6. Hausdorffova vzdálenost.
7. Srovnávání se vzorem.

Metody v defektoskopii

- ▶ Metody předzpracování obrazu:
 - filtrace šumu
 - korekce geometrických zkreslení
 - bodové jasové transformace
 - lokální jasové transformace
 - :

- ▶ Klasické segmentační metody:
 - prahování (prosté, adaptivní, procentní,...)
 - detekce hran (konvoluce, diference)
 - geometrické transformace (Hough, Wavelet, Radon, ...)
 - :

- ▶ Účelové klasifikační mechanismy:
 - distanční transformace + Hausdorffova vzdálenost + srovnávací výpočet (viz příklad dále)

Defektoskopie a klasifikace

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Počítačové vidění v průmyslu.
2. Defektoskopie a defektometrie.
3. Zařízení v defektoskopii.
4. Metody v defektoskopii.
- 5. Distanční transformace.**
6. Hausdorffova vzdálenost.
7. Srovnávání se vzorem.

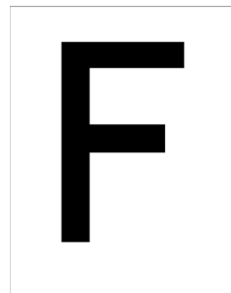
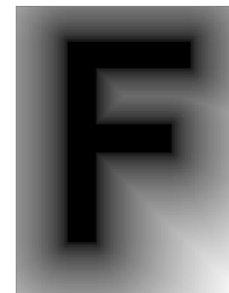
Distanční transformace – definice

- ▶ Konverze vstupního binárního obrazu P na výstupní obraz D_P celočíselných hodnot.
- ▶ Výsledek distanční transformace D_P se nazývá distanční mapa.
- ▶ Formálně: hodnota $D_P(p)$ výstupního obrazu je dána vztahem:

$$D_P(p) = \min_{q \in P} \|p - q\|$$

- ▶ Neformálně: hodnota bodu p výstupního obrazu je rovna jeho vzdálenosti od nejbližšího nenulového bodu vstupního binárního obrazu.
- ▶ Maximální možná hodnota D_P je dána vzdáleností diagonálních rohových bodů obrazu:

$$\tilde{\max}(D_P) = \|P(1,1) - P(x_{\max}, y_{\max})\|$$

obraz P distanční mapa D_P

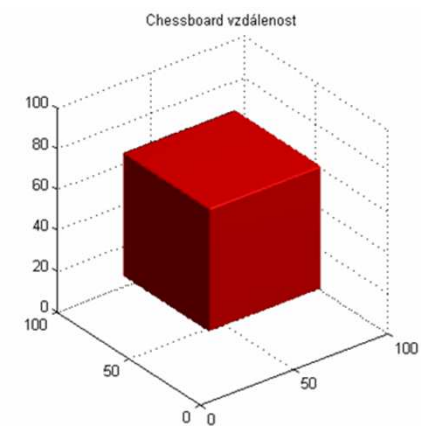
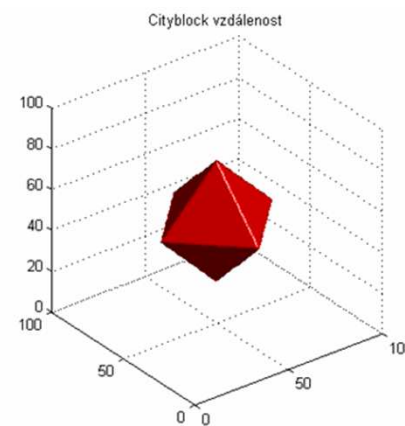
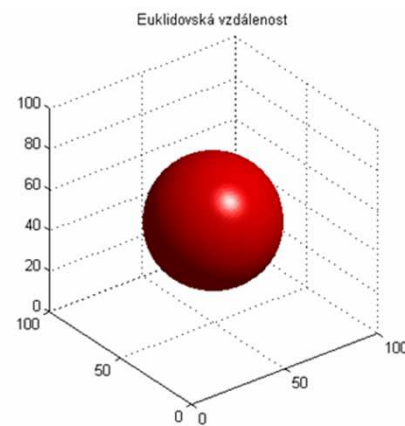
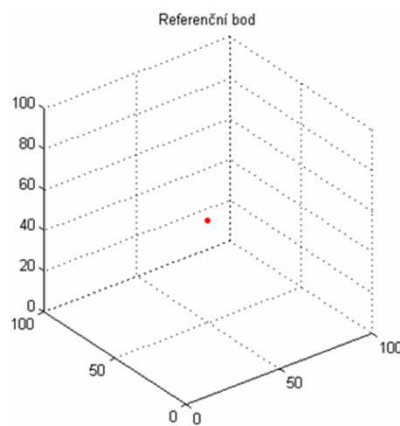
Distanční transformace – metrika

- ▶ Nejčastější metriky použité pro aproximaci vzdálenosti bodů P a Q v prostoru \mathcal{R}^n :

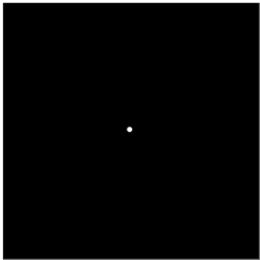
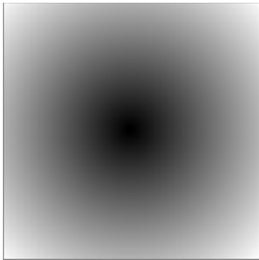
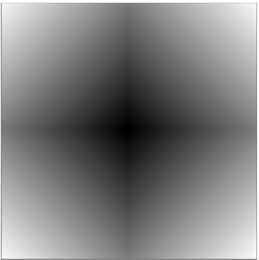
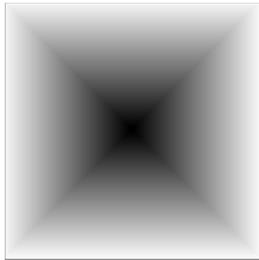
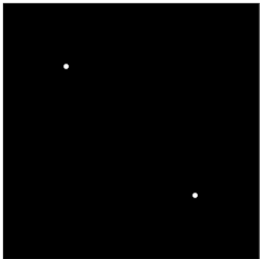
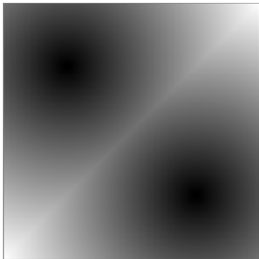
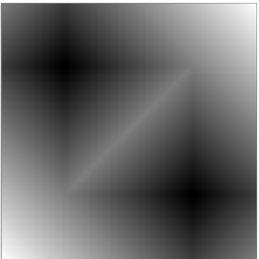
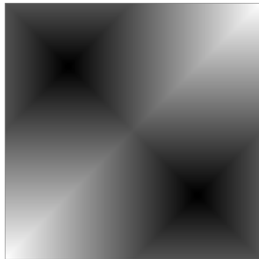
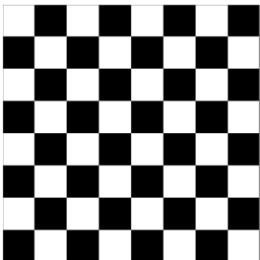
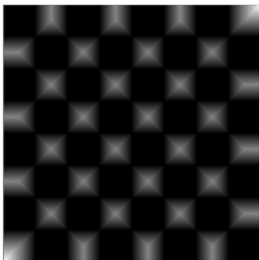
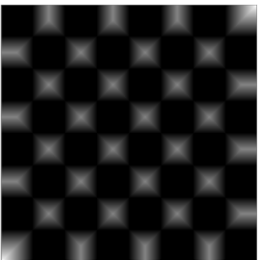
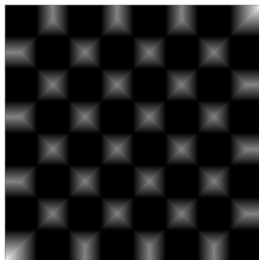

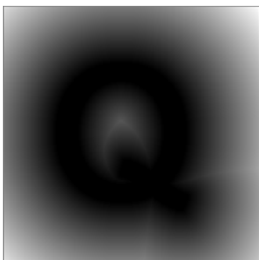
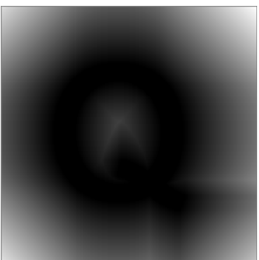
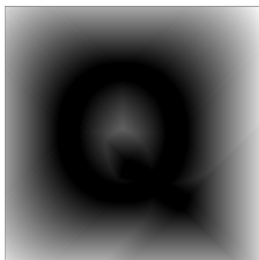
- ▶ Euklidovská:
$$d_E(P, Q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2}$$

- ▶ Manhattan (cityblock):
$$d_M(P, Q) = |p_1 - q_1| + \dots + |p_n - q_n|$$

- ▶ Chessboard:
$$d_C(P, Q) = \max(|p_1 - q_1|, \dots, |p_n - q_n|)$$



Distanční transformace – metrika

	Obraz	Euklidovská m.	Manhattan m.	Chessboard m.
Bod:				
Dva body:				
Šachovnice:				
Tvar:				

Distanční transformace – algoritmus

- ▶ Definiční algoritmus: pro každý bod p výstupního obrazu jsou spočítány vzdálenosti $\|p-q\|$ ke všem nenulovým bodům q vstupního obrazu a z nich je vybrána minimální hodnota.
 ↓
- ▶ Výpočetní náročnost roste s kvadrátem počtu pixelů vstupního obrazu.
 ↓
- ▶ K výpočtu se využívají algoritmy aproximující zvolenou metriku vzdálenosti lišící se výpočetní a paměťovou náročností a přesností aproximace.
 ↓
- ▶ Zpravidla lineární nárůst výpočetní náročnosti s počtem pixelů vstupního obrazu.
- ▶ Algoritmy výpočtu:

Danielssonův: 4SED nebo 8SED podle okolí – pouze pro 2D obrazy.

Corner EDT: rozšíření Danielssonova algoritmu pro 3D obrazy.

D-Euclidean (DED): pro libovolnou dimenzi, podle okolí (sousednosti) má pro 2D obrazy dvě verze: DED4 a DED8. Pro 3D obrazy tři verze: DED6, DED18 a DED26.

Saito-Toriwaki: libovolná dimenze – zpravidla pomalejší, než DED, ale s nižší paměťovou náročností.

Cityblock based: velmi rychlé algoritmy s nízkou paměťovou složitostí pro 2D i 3D obrazy, ale také nízkou přesností vzhledem k Euklidovské distanční mapě.

Chamfer based: velmi rychlé algoritmy s nízkou paměťovou složitostí pro 2D i 3D obrazy.

Defektoskopie a klasifikace

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Počítačové vidění v průmyslu.
2. Defektoskopie a defektometrie.
3. Zařízení v defektoskopii.
4. Metody v defektoskopii.
5. Distanční transformace.
- 6. Hausdorffova vzdálenost.**
7. Srovnávání se vzorem.

Hausdorffova vzdálenost – definice

- ▶ Měřítka podobnosti mezi dvěma libovolnými konečnými množinami A a B .
- ▶ Formálně: klasická Hausdorffova vzdálenost $h(A, B)$ je dána vztahem:

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$$

- ▶ Neformálně: $h(A, B)$ bude malá, pokud každý prvek z A bude blízký některému prvku z B . Obráceně $h(A, B)$ bude velká, ikdyž jen jeden prvek z A bude vzdálen všem prvkům z B .
- ▶ Hausdorffova vzdálenost je orientovaná, neplatí tedy komutativnost argumentu:

$$h(A, B) \neq h(B, A)$$

- ▶ Jeden prvek z A výrazně vzdálen od všech bodů z B např. vlivem chyby měření způsobí vysokou hodnotu $h(A, B) \Rightarrow$ klasická definice není vhodná pro praktické úlohy.
- ▶ Modifikovaná Hausdorffova vzdálenost $h^f(A, B)$:

$$h^f(A, B) = f_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$$

- ▶ $h^f(A, B)$ nevyhledává maximum, ale f -kvantil ze souboru minimálních vzdáleností (např. medián, pokud $f=0.5$) \Rightarrow míra tolerance vůči chybám v souboru dat je určena f -kvantilem.

Defektoskopie a klasifikace

Karel Horák



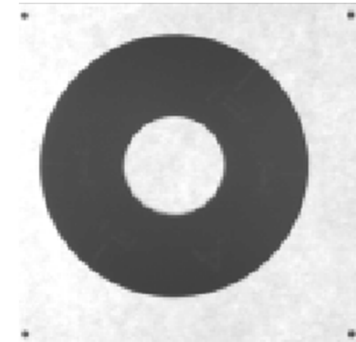
Rozvrh přednášky:

1. Počítačové vidění v průmyslu.
2. Defektoskopie a defektometrie.
3. Zařízení v defektoskopii.
4. Metody v defektoskopii.
5. Distanční transformace.
6. Hausdorffova vzdálenost.
- 7. Srovnávání se vzorem.**

Srovnávání se vzorem – výpočet

► Vstupní obraz měřeného objektu je normalizován. Cílem je:

1. Korekce optických vad vzniklých nedokonalostí snímací soustavy (kamera, objektiv, geometrie snímání, perspektiva...).
2. Normalizace velikosti obrazu z kalibračních bodů na snímku.

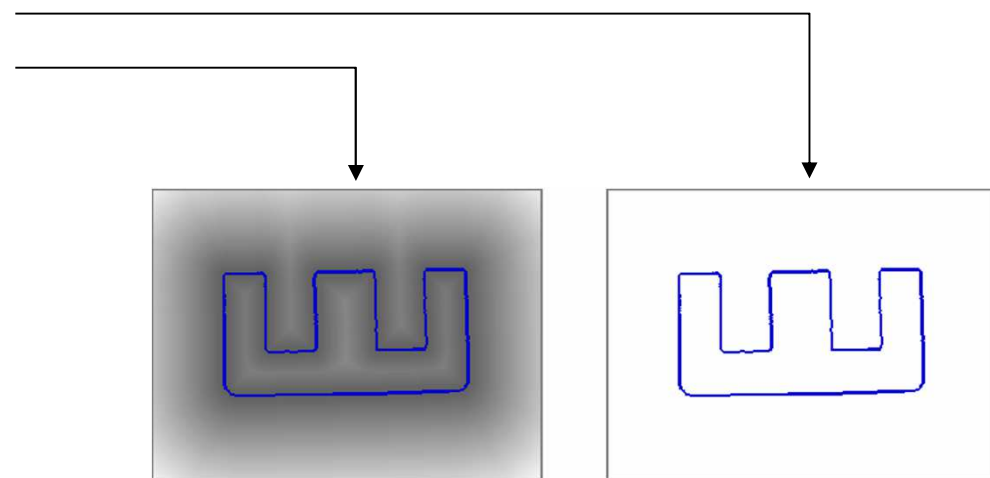


► Příklad: srovnávání měřených dat se vzorem obrazu feritového E-jádra:



► Postup algoritmu:

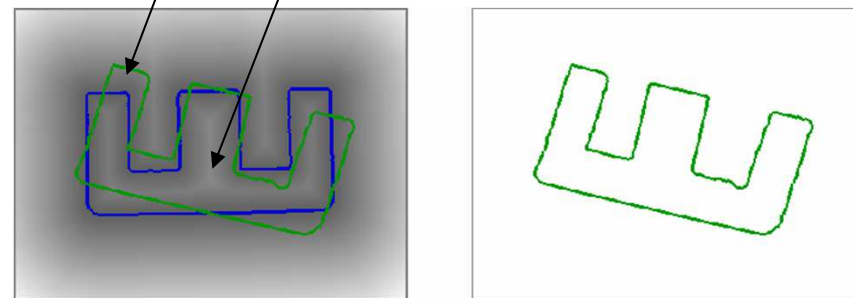
1. Výpočet kontury referenčního modelu.
2. Výpočet DT referenčního modelu.
3. Výpočet kontury měřeného objektu.
4. Výpočet a superpozice referenčních bodů...
5. Pro přípustné relativní polohy měřeného...
6. Výpočet minima HD.



Srovnávání se vzorem – výpočet

► Postup algoritmu:

1. Výpočet kontury referenčního modelu.
2. Výpočet DT referenčního modelu.
3. Výpočet kontury měřeného objektu.
4. Výpočet a superpozice referenčních bodů obou množin.
5. Pro přípustné relativní polohy měřeného objektu a modelu provést výpočet $h^f(A,B)$ pomocí korespondence kontury měřeného objektu a distanční mapy modelu.
6. Výpočet globálního minima $\{h^f(A,B)\}$.



Srovnávání se vzorem – přesnost

- ▶ Cílem algoritmu je najít správnou superpoziční polohu, v níž se korektní části objektu překrývají a poškozené míjí.

Zelená kontura = měřený objekt.
Modrá kontura = referenční model.

- ▶ Správné překrytí

- ▶ Minimalizace $h(A,B)$

- ▶ Minimalizace $h^{f=0.5}(A,B)$

- ▶ Výběr minima $h^{f=0.5}(A,B) \Rightarrow$ necitlivost na nekompletnost množiny měřených dat.

