

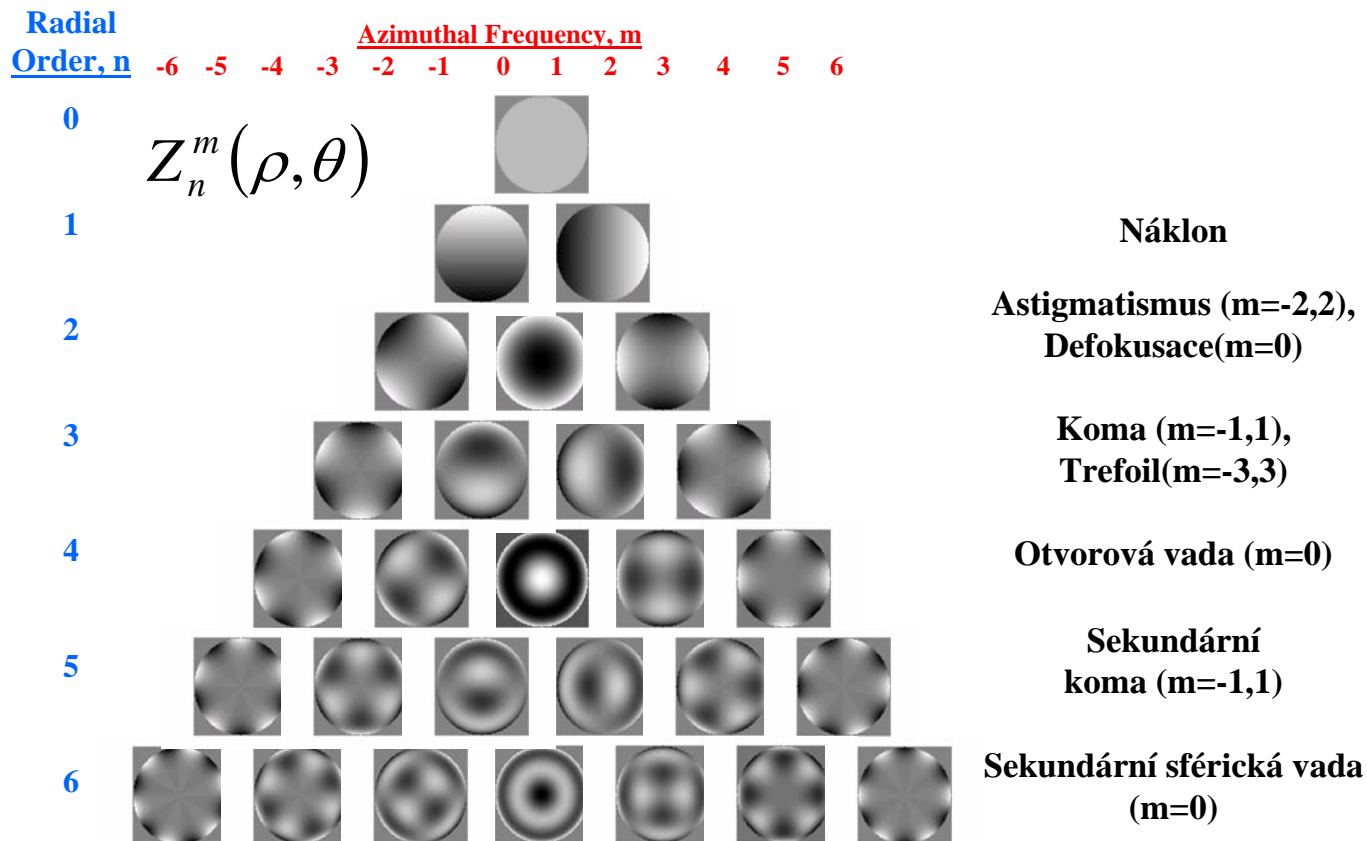
6. Měření kvality zobrazení optických soustav

- měření aberací
- měření rozlišovací schopnosti
- měření optické funkce přenosu

6.1. Měření aberací

Aberace – geometrické
– vlnové

popis pomocí Zernikeho polynomů $W(\rho, \theta) = \sum_n^k \sum_{m=-n}^n W_n^m Z_n^m(\rho, \theta)$



- NEINTERFEROMETRICKÉ METODY

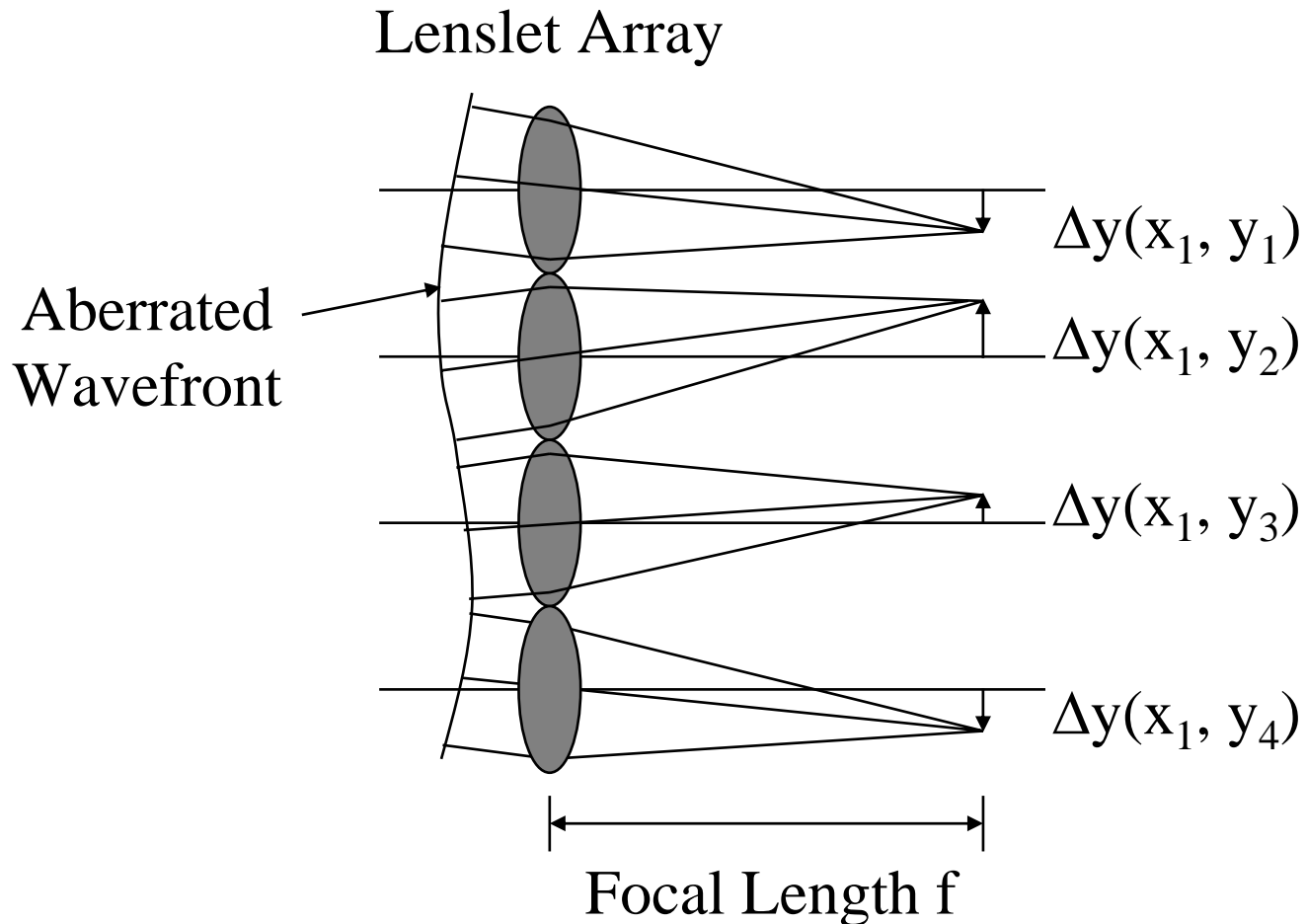
- Foucaultův test
- Ronchiho test
- „Star“ test (test na hvězdu)
- Hartmannův test, Shack-Hartmannův test

- INTERFEROMETRICKÉ METODY

- interferometry s referenční vlnoplochou (Fizeaův int., Twymanův-Greenův int.)
- „shearing“ interferometry
- „point diffraction“ interferometr

SHACKŮV-HARTMANNŮV SENZOR

- matice čoček + CCD kamera v jejich ohniskové rovině
- využití: adaptivní optika, oční lékařství, ...



6.2. Měření rozlišovací schopnosti

- v ideálním případě – daná difrakčním limitem
- v reálném případě – ovlivněná řadou faktorů (aberrace, vady materiálů, technologické chyby při výrobě – decentrace, vignetace, kvalita ploch)

RAYLEIGHOVO KRITÉRIUM

- rozlišovací mez – daná nejmenší vzdáleností dvou nekoherentních svítících bodů, které optická soustava ještě rozliší
– měření pomocí testů
- kruhová apertura

$$d = \frac{1.22\lambda f'}{D}$$

STREHLOVO KRITÉRIUM

- hodnocení kvality bodového zobrazení pomocí poměru D intenzit ve středu rozptylného obrazce pro reálný systém a pro systém fyzikálně dokonalý
- $D \geq 0.8$
- hodnocení difrakčního obrazu bodu

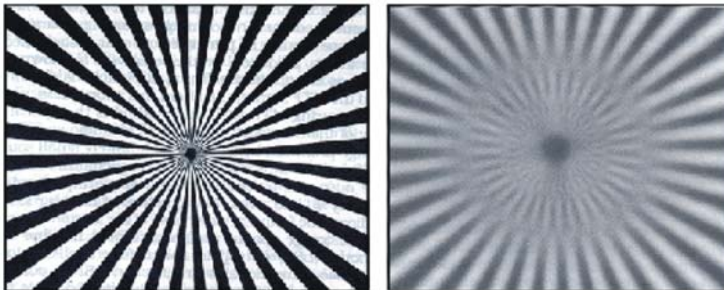
6.3. Měření optické funkce přenosu

Optická funkce přenosu (OTF – „Optical Transfer function“)

- FT bodové rozptylové funkce (PSF – „Point spread function“)
- obecně komplexní funkce

$$OTF(f_x, f_y) = MTF(f_x, f_y)e^{iPTF(f)}$$

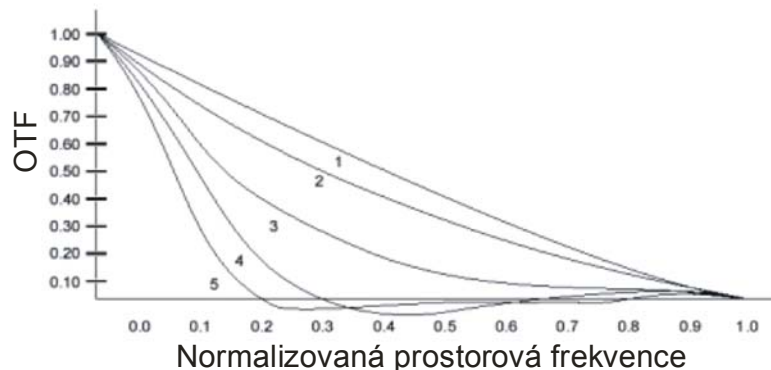
- funkce přenosu modulace (MTF – „Modulation transfer function“)
- funkce přenosu fáze (PTF – „Phase transfer function“)



$$K'(f_x, f_y) = MTF(f_x, f_y)K(f_x, f_y)$$

↓
kontrast obrazu

↓
kontrast předmětu



$$\varphi'(f) = \varphi(f) + PTF(f)$$

↓
fáze
obrazu

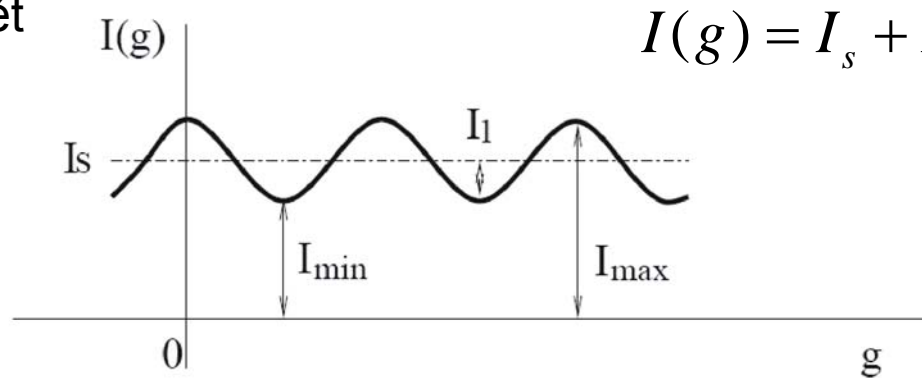
↓
fáze
předmětu

METODY MĚŘENÍ

1) PŘÍMÉ MĚŘENÍ KONTRASTU

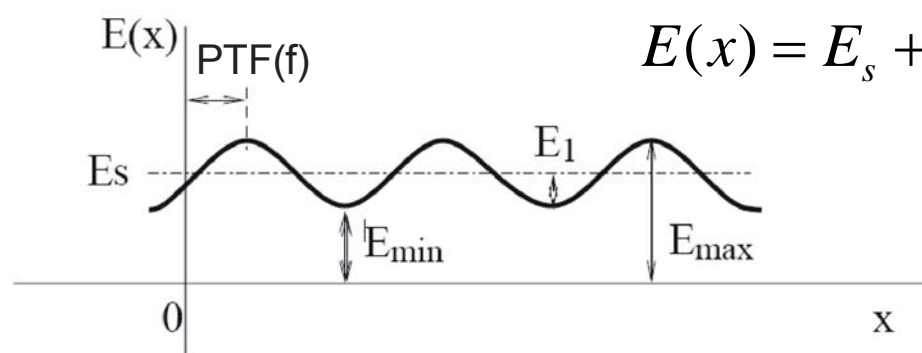
- sinusový test s určitými prostorovými frekvencemi

předmět



$$K(f) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

obraz



$$K'(f) = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$$

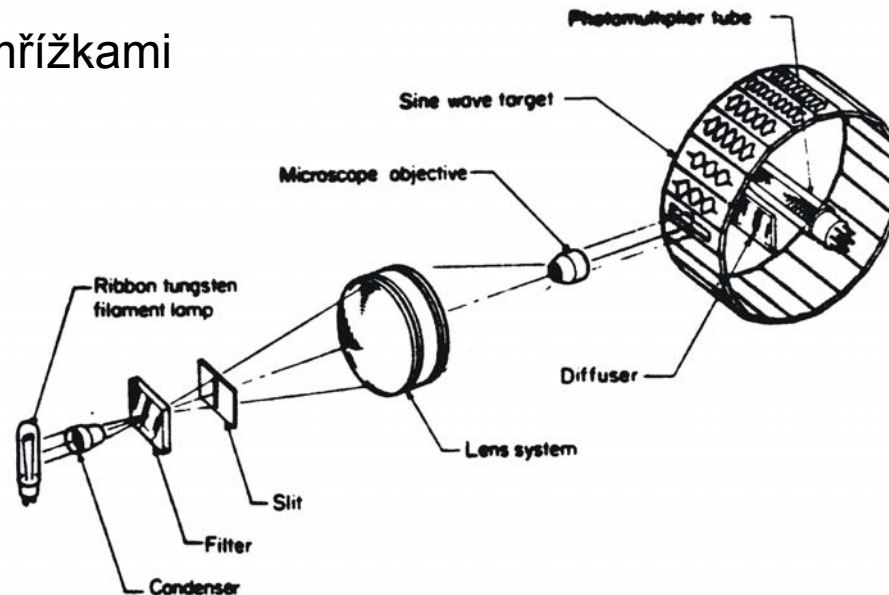
$$MTF(f) = \frac{K'(f)}{K(f)}$$

2) SNÍMACÍ METODY

- vycházíme ze skutečnosti, že známe FT některých předmětů (nekonečně úzká štěrbina, bodová clonka)
- v reálném případě – konečné rozměry předmětů – korekce výsledků

- optická FT: obraz hrany, štěrbiny nebo bodové clonky skenujeme pomocí sinusového testu (i v obráceném pořadí) a měříme intenzitu záření
- elektrooptická FT: používají se nesinusové testy a elektronická filtrace vyšších frekvencí
- elektronická a numerická FT: obraz štěrbiny nebo bodové clonky měříme pomocí CCD prvku a dále počítáme FT obrazu

Př.: metoda se dvěma mřížkami



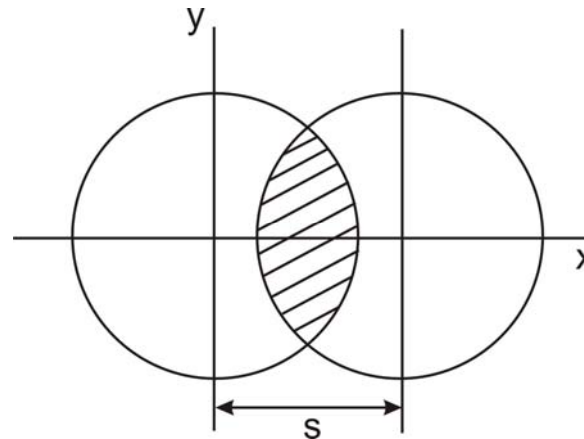
3) INTERFEROMETRICKÉ METODY

- OTF pro nekoherentní záření odpovídá autokorelaci pupilové funkce
- měření autokorelace pupilové funkce pomocí interferometru
- nevýhoda – k měření používáme koherentní záření o jedné vlnové délce, vhodné jen pro systémy s malými barevnými vadami

„LATERAL SHEARING“ INTERFEROMETRY

- příčné posunutí pupily a prostorová frekvence jsou spojené vztahem

$$f_x = \frac{s}{D} \frac{1}{\lambda c}$$



$$OTF(f_x) = \frac{1}{konst.} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} P(x + \frac{s}{2}, y) P^*(x - \frac{s}{2}, y) dx dy$$

$$I(\delta, s) = 2 \cdot konst. \{1 + MTF(f_x) \cos[\delta - PTF(f_x)]\}$$