

OPT/OZI

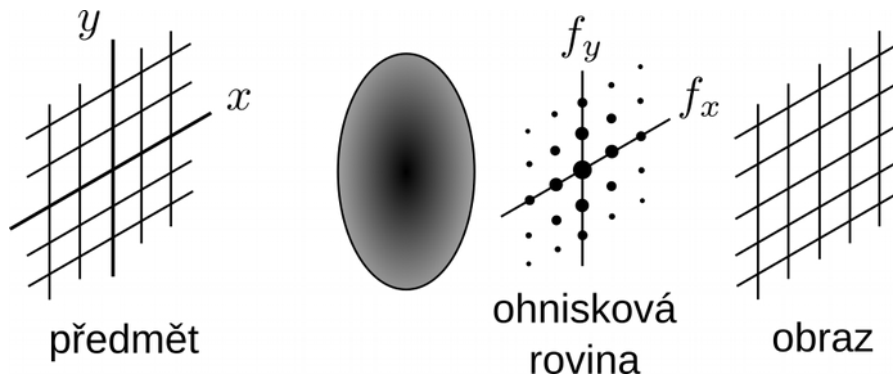
L06

Optické procesory

zpracování informace = provádění transformací na vstupních datech

základní experimenty

formování koherentního obrazu (Abbe 1873)



rovina FT – filtrace prostorového spektra

- např. komponenty na ose f_x odpovídají vertikálním strukturám
- filtrace spektra = konvoluce na vstupním signálu

mikroskop s fázovým kontrastem (Zernike 1935)

$$U_o(\xi, \eta) = \exp[i\phi(\xi, \eta)] \approx e^{i\phi_0} [1 + i\Delta\phi(\xi, \eta)]$$

žádný kontrast v intenzitě

malé změny fáze

$$I_i \approx |1 + i\Delta\phi|^2 \approx 1$$

kontrast vznikne změnou fáze pozadí o $\pi/2$

$$I_i \approx |\exp(i\pi/2) + i\Delta\phi|^2 = |I(1 + \Delta\phi)|^2 \approx 1 + 2\Delta\phi$$

toho dosáhneme umístěním fázové destičky na osu v ohn. rovině

nekoherentní optické procesory

výhody

- prosté artefaktů (rozptyl na prachových částicích, spekl)
- jednodušší příprava dat (intenzitní modulace)

nevýhody

- obtížné filtrování frekvencí (chybí Fourierova rovina)
- $I \geq 0$ – některé operace nelze provést (odečtení intenzit)

typy systémů

- geometricko-optické
- difrakční
- diskrétní

systémy založené na geometrické optice

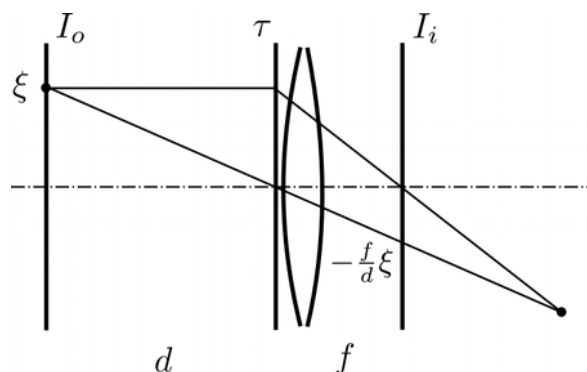
geometrická projekce

$$\tau(x, y) = \tau_1(x, y) \tau_2(x, y)$$

integrace – fokusace na detektor

$$I_i \propto \iint \tau(x, y) dx dy$$

konvoluce – syntéza odezvové funkce



realizuje PSF

$$I_i(x; \xi) \propto \tau \left[\frac{d}{f} \left(x + \frac{f}{d} \xi \right) \right] = \tau \left(\frac{d}{f} x + \xi \right)$$

zvětšení

posuv

pro obecný vstup bude

$$I_i(x) \propto \int_{-\infty}^{\infty} \tau\left(\frac{d}{f}x + \xi\right) I_o(\xi) d\xi$$

- pro konvoluci vložíme vstup invertovaně $I_o(\xi) \rightarrow I_o(-\xi)$
- šířka odezvy je řízena podélným posunem detektoru

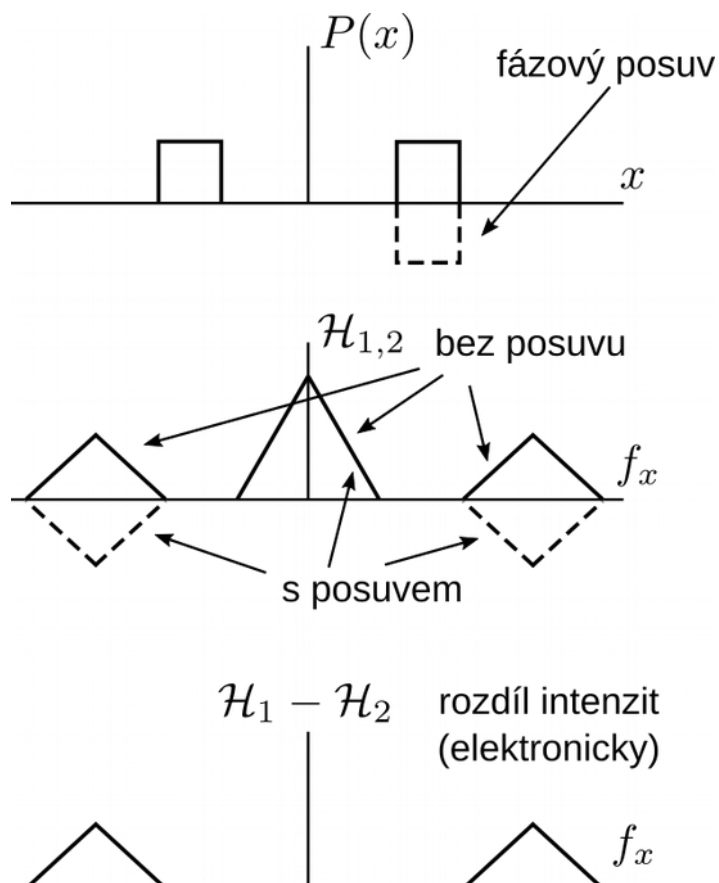
omezení geometricko–optických systémů

- difrakce byla zanedbána
- s rostoucím množstvím dat zpracovaných danou aperturou roste vliv difrakce

systemy zahrnující vliv difrakce

- odezva je určena pupilovou funkcí/maskou zobr. systému
- lze vytvořit jen intenzitní (t.j. nezáporné) impulzní odezvy

příklad pásmový filtr – vyžaduje odečítání intenzit



- elektroniku možno nahradit koherentním procesem (SLM)
nekoherentní systémy jsou *jednodušší ale méně flexibilní*

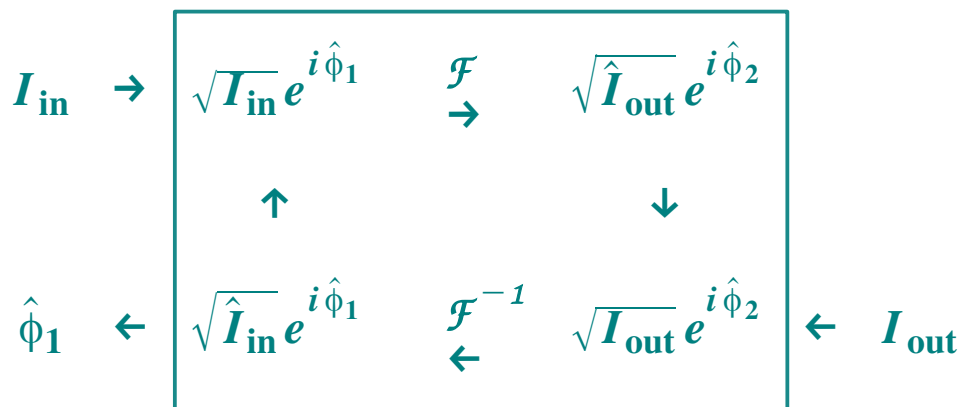
koherentní optické procesory

- zpracování koherentního optického signálu
- optická FT

holografická intenzitní modulace

- FT fázového hologramu
- menší ztráty oproti technologiím NLC, DMD

Gerchberg-Saxtonův algoritmus



intenzita zdroje: I_{in}

požadovaný výstup: I_{out}

generovaný výstup: \hat{I}_{out}

modulace

zdroj \rightarrow fázový hologram \rightarrow optická FT \rightarrow výstupní intenzita

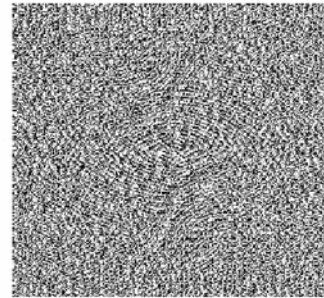
příklad:



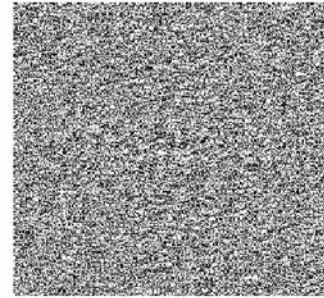
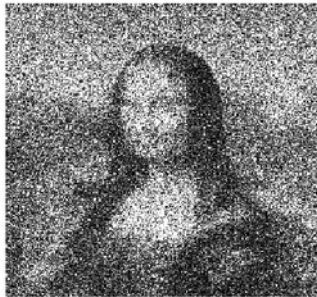
\hat{I}_{out}

$\hat{\phi}_1$

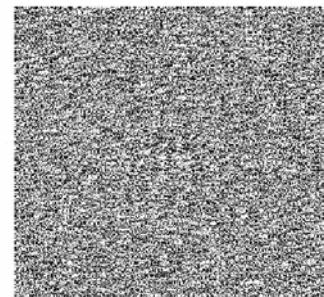
1. iterace



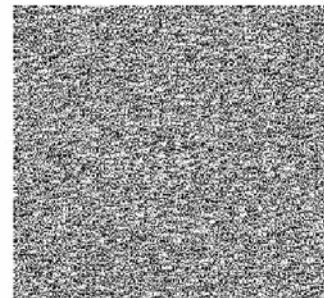
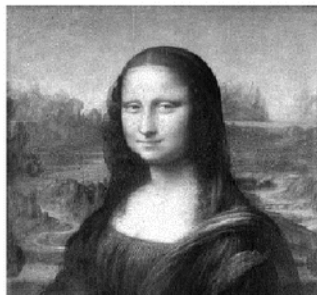
10. iterace



30. iterace



100. iterace

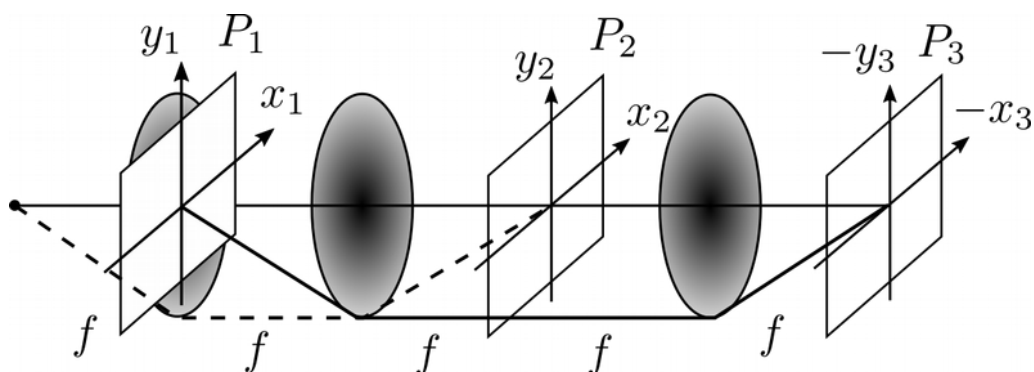


4f procesory

- umožňují filtrování prostorových frekvencí ve Fourierově rovině
- realizovatelné transformace: konvoluce, křížová korelace

$$U(x, y) \propto \iint g(\xi, \eta) h(x-\xi, y-\eta) d\xi d\eta$$

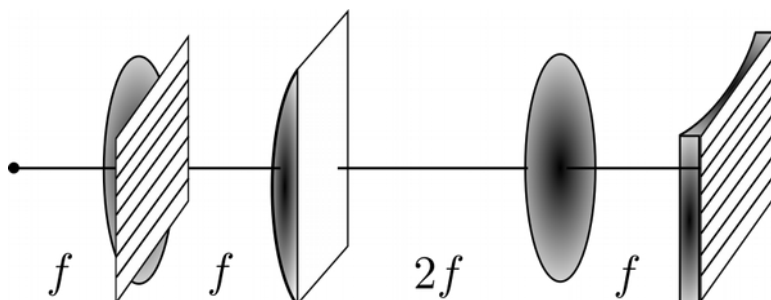
optický systém



filtr v rovině P_2 realizuje požadovanou filtraci $H(f_x, f_y)$

$$t_A(x_2, y_2) \propto H\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right)$$

anamorfní procesor – zpracování pole 1D vstupů



kombinace cylindrické a normální
čočky provádí FT v ose x

cylindrická čočka s ohniskovou
vzdáleností $f/2$ odstraňuje fázový
faktor od FT čočkou

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{3f} = \frac{1}{3f/2} \rightarrow \exp(-ikx_2^2/f) \text{ v rovině } P_2$$

digitální holografie

- přenos 4f procesoru je obecně komplexní fce
- současná prostorová modulace fáze a amplitudy (intenzity) je obtížná
- holografie umožňuje použít amplitudový modulátor

amplitudová modulace

$$t_A \propto |U_r + H|^2 \propto \underbrace{1 + |H|^2}_{\text{pozadí}} + \underbrace{H U_r^* + H^* U_r}_{\text{členy úměrné filtraci}}$$

digitálně interferuje požadovaný filtr

$$H\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right)$$

a referenční vlna

nosná prostorová frekvence

$$U_r(x_2, y_2) \propto \exp(-i 2\pi \alpha y_2), \quad \alpha = \frac{\sin \theta}{\lambda}$$

v minulosti interferometrický záznam optické FT požadované impulzní odezvy a referenční rovinné vlny (VanderLugtův filtr 1963)

zpracování dat $g(x_1, y_1)$ 4f systémem

rovina FT:

$$G\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f}\right)$$

za filtrem:

$$U_2 \propto G + |H|^2 G + H G \exp(i 2\pi \alpha y_2) + H^* G \exp(-i 2\pi \alpha y_2)$$

v rovině P_3

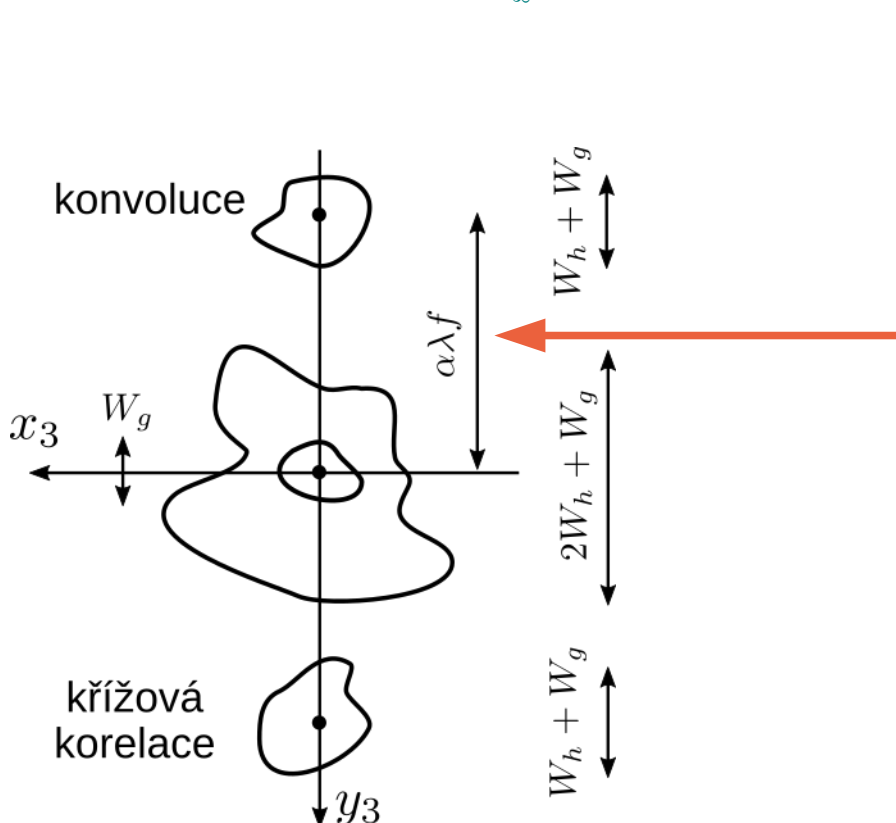
$$U_3(x_3, y_3) \propto g + \underbrace{h * \underline{h}^* * g + h * g * \delta(x_3, y_3 + \alpha \lambda f)}_{\text{konvoluce}} + \underbrace{\underline{h}^* * g * \delta(x_3, y_3 - \alpha \lambda f)}_{\text{korelace}} \quad \underline{h} \equiv h(-x_3, -y_3)$$

třetí člen – konvoluce

$$h * g * \delta(x_3, y_3 + \alpha \lambda f) = \iint_{-\infty}^{\infty} h(x_3 - \xi, y_3 + \alpha \lambda f - \eta) g(\xi, \eta) d\xi d\eta$$

čtvrtý člen – (křížová) korelace

$$\underline{h}^* * g * \delta(x_3, y_3 - \alpha \lambda f) = \iint_{-\infty}^{\infty} h^*(\xi - x_3, \eta - y_3 + \alpha \lambda f) g(\xi, \eta) d\xi d\eta$$



střed korelace

$$x_3 = 0$$

$$y_3 = \alpha \lambda f$$

separace komponent

$$\theta > \frac{3}{2} \frac{W_h}{f} + \frac{W_g}{f}$$