

OPT/OZI

L07

Aplikace I: Příprava a měření optického signálu

generace prostorových stavů světla

využití digitální holografie

- výpočet hologramu

$$t_A \propto |U + U_{\text{ref}}|^2$$

- optická rekonstrukce

$$U_{\text{out}} \propto t_A \propto |U|^2 + |U_{\text{ref}}|^2 + U^* U_{\text{ref}} + U U_{\text{ref}}^*$$

obvykle nakloněná
rovinná vlna

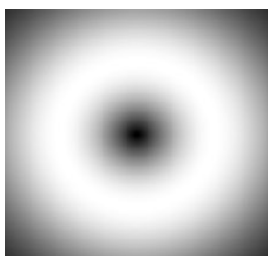
- filtrování nežádoucích komponent – 4f systém

$$U_{\text{filt}} \propto U$$

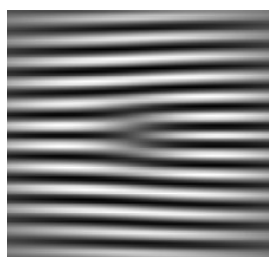
příklad: LG svazky

$$U \propto r e^{-r^2} e^{i\phi}$$

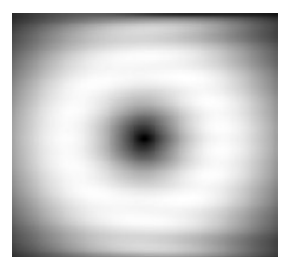
přenos momentu hybnosti



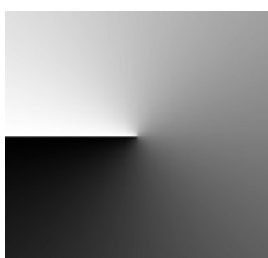
$|U|$



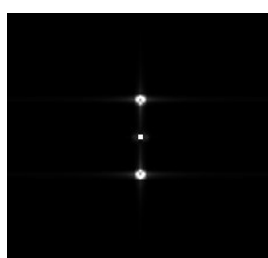
$|t_A|$



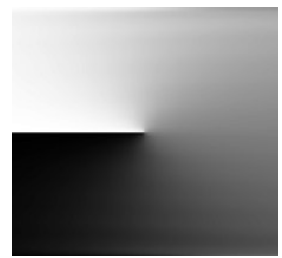
$|U_{\text{filt}}|$



$\arg(U)$



$|\mathcal{F}\{t_A\}|$



$\arg(U_{\text{filt}})$

detekce signálu

intenzitní detekce (CCD)

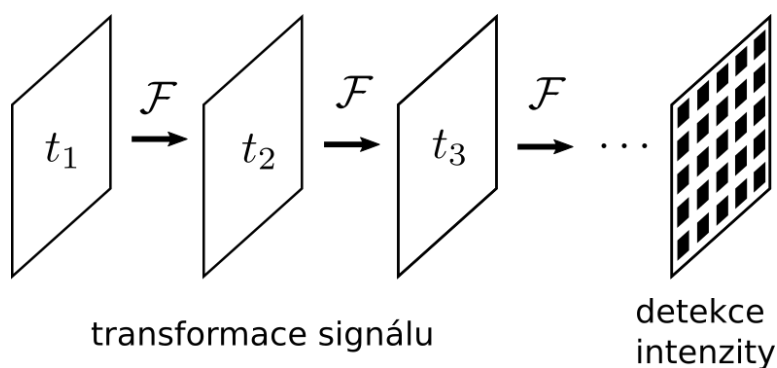
signál

$$g(\mathbf{x}) = \langle \mathbf{x} | g \rangle$$

intenzita

$$I(\mathbf{x}) = |g(\mathbf{x})|^2 = |\langle \mathbf{x} | g \rangle|^2$$

obecné schéma



fázové masky

$$t_k(\mathbf{x}) = e^{i\phi_k(\mathbf{x})}$$

realizují unitární transformaci

$$|g\rangle \rightarrow U|g\rangle, \quad UU^\dagger = \mathbf{1}$$

tj. projekce

$$I(\mathbf{x}) = |\langle \mathbf{x} | U|g\rangle|^2 = |\langle \pi_x | g \rangle|^2$$

na prostorové módy

$$|\pi_x\rangle = U^\dagger|\mathbf{x}\rangle, \quad \pi_x(\mathbf{x}') = \langle \mathbf{x}' | \pi_x \rangle = \langle \mathbf{x}' | U^\dagger | \mathbf{x} \rangle$$

jedna maska – 4f systém

realizuje konvoluci s odezvou $h(\mathbf{x})$

filtr *přizpůsobený* (matched) signálu $s(\mathbf{x})$

$$H(\mathbf{f}_x) = S(\mathbf{f}_x)^*, \quad \rightarrow \quad h(\mathbf{x}) = s(-\mathbf{x})^*$$

výstup

$$v(\mathbf{x}) = \int g(\xi) s^*(\xi - \mathbf{x}) d\xi$$

v počátku souřadnic (optická osa)

$$v(\mathbf{0}) = \int g(\xi) s^*(\xi) d\xi = \langle s | g \rangle$$

rozeznávání (diskriminace)

protokol

hledané signály s_1, s_2, \dots, s_N

přizpůsobené filtry $S_1^*, S_2^*, \dots, S_N^*$

normalizace výstupu na intenzitu znaku:

$$v_n = \frac{\langle s_n | g \rangle}{\sqrt{\langle s_n | s_n \rangle}}$$

k -tý signál

$$g = s_k$$

generuje nejsilnější odezvu na ose k -tého výstupu

$$|v_k|^2 \geq |v_n|^2, \quad \forall n$$

optická interpretace

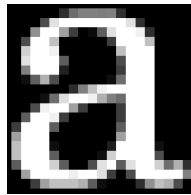
$$s(x) \xrightarrow{\mathcal{F}} S(f_x) \xrightarrow{\text{filtr}} \underbrace{S(f_x)S^*(f_x)}_{\text{rovinná vlna}} \xrightarrow{\mathcal{F}^{-1}} \approx \delta(x)$$

digitální realizace

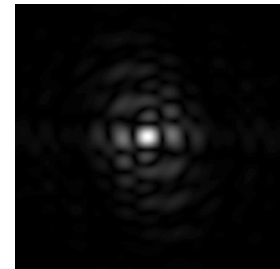
vstup

tain. We began on the easy
staying up or balanced on th
a big problem stopping. You
e" to stop. The Pie Method is
ront end of the skis to where
back ends are wide apart, ma
ece of pie. This only slows you
be, and stops you if you are or
esn't really work. I quickly a
g in a manner that would not
neone had told me that you si

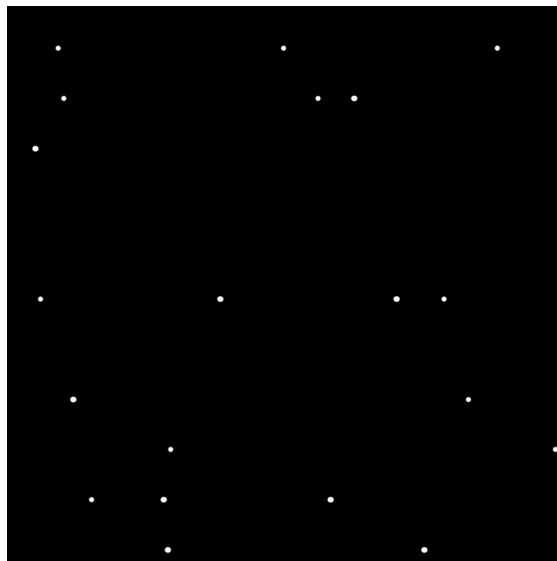
hledaný znak



filtr



výstup

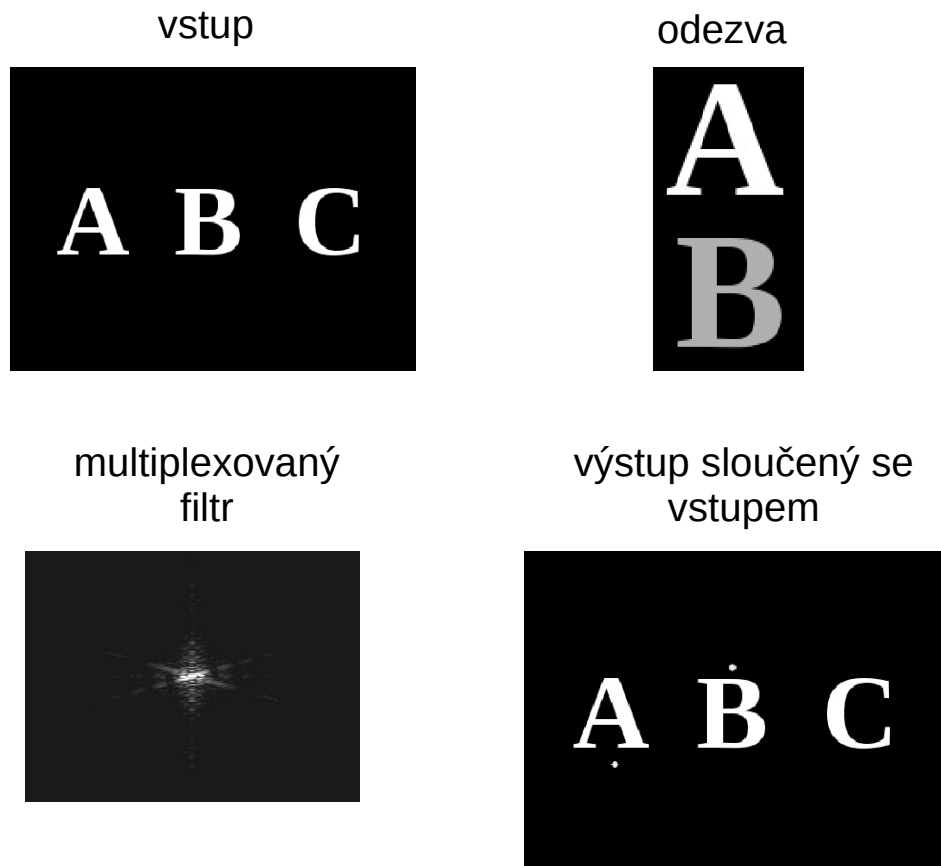


křížové korelace jsou provedeny pomocí rychlé Fourierovy transformace (FFT)

zpracování množinou filtrů

- sériově
- paralelně: frekvenční multiplexing, t.j. každý filtr využívá jinou nosnou frekvenci

příklad:



problém invariance

- rotace a změna velikosti hledaného signálu zmenšují odezvu
- citlivost na tyto transformace se u různých objektů liší

řešení

- návrh invariantního korelátoru
 - využití Mellinovy transformace pro invarianci vůči škálování
 - transformace do polárních souřadnic: rotace → translace
 - obvykle vede k zeslabení korelací a snížení citlivosti
- přibližné řešení – neuronové sítě

neuronové sítě

- trénujeme odezvu filtru h na korelace c_n s množinou funkcí g_n

$$\langle h | g_n \rangle = c_n$$

požadované korelace

rozklad filtru do trénovacích funkcí

$$\langle h | = \sum_k a_k \langle g_k |$$

korelace mezi g_n a g_k

$$c_n = \langle h | g_n \rangle = \sum_k a_k \underbrace{\langle g_k | g_n \rangle}_{P_{nk}} \rightarrow \vec{a} = \mathbf{P}^{-1} \vec{c}$$

příklad:

vstupy (vzory)



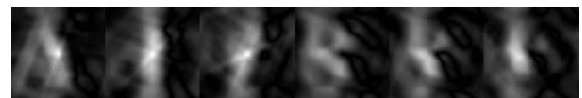
výstupy filtru přizpůsobeného 1. vstupu



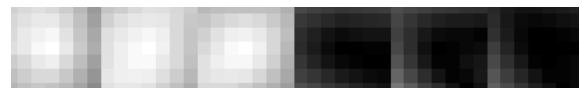
odezva, trénovaná tak, aby reagovala na vzory 1-3 a nereagovala na vzory 6-9



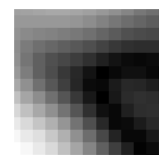
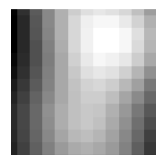
výstup neuronové sítě – vzory 1-6



totéž, ale zvětšeno v okolí osy

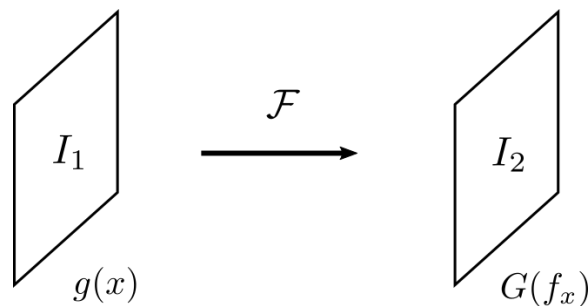


odezva neuronové sítě na vzory 7 a 8, na které nebyla síť trénována



detekce fáze (vlnoplochy) z intenzitních skenů

- FT transformuje mezi polohou a hybností (frekvencí)
- rekonstrukce komplexní amplitudy ze dvou intenzitních detekcí



signál $g(x) = \sqrt{I_1(x)} e^{i\phi_1(x)}$

spektrum $G(f_x) = \sqrt{I_2(f_x)} e^{i\phi_2(f_x)}$

rekonstrukce

$$I_1 = |\langle x | g \rangle|^2 \quad \longrightarrow \quad \langle x | g \rangle = g(x)$$

$$I_2 = |\langle f_x | g \rangle|^2$$

G-S algoritmus

$$\begin{array}{ccccc}
 I_1 & \rightarrow & \sqrt{I_1} e^{i\hat{\phi}_1} & \xrightarrow{\mathcal{F}} & \sqrt{\hat{I}_2} e^{i\hat{\phi}_2} \\
 & & \uparrow & & \downarrow \\
 \hat{\phi}_1 & \leftarrow & \sqrt{\hat{I}_1} e^{i\hat{\phi}_1} & \xleftarrow{\mathcal{F}^{-1}} & \sqrt{I_2} e^{i\hat{\phi}_2} \leftarrow I_2
 \end{array}$$

např. měření vlnových aberací zobrazovacího systému

I_1 ... intenzitní propustnost pupily

I_2 ... PSF