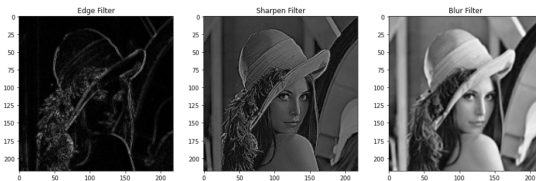


PROSTOROVÁ FILTRACE

Antonín Černoch

Společná laboratoř optiky UP a FZÚ AV ČR

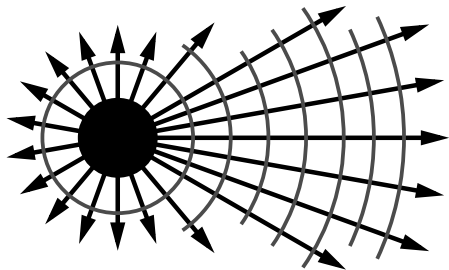
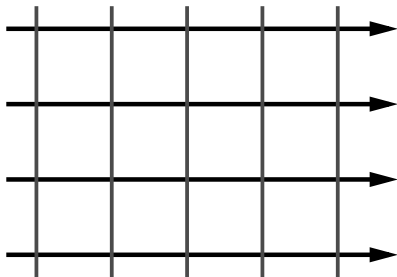


Obsah

- 1 Popis šíření světla
- 2 Hardwarová prostorová filtrace
- 3 Úprava digitálního obrazu
- 4 Optická vlákna
- 5 Navázání svazku do vlákna

Paprsková optika

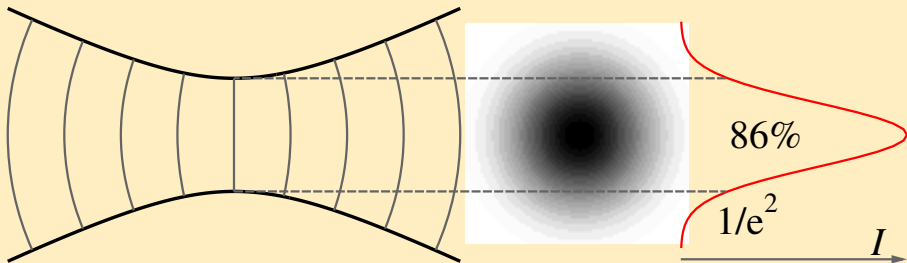
- $\lambda \ll$ rozměr překážek, geometrická pravidla
- **Fermatův princip** → zákon odrazu a lomu
- popisuje dostatečně šíření světla optickými prvky (zrcadla, čočky, vlákna, apod.)



Vlnová optika

- $\lambda \sim$ rozměr překážek, je schopna popsat difrakci
- princip superpozice $\rightarrow$ interference
- nedokáže popsat polarizaci

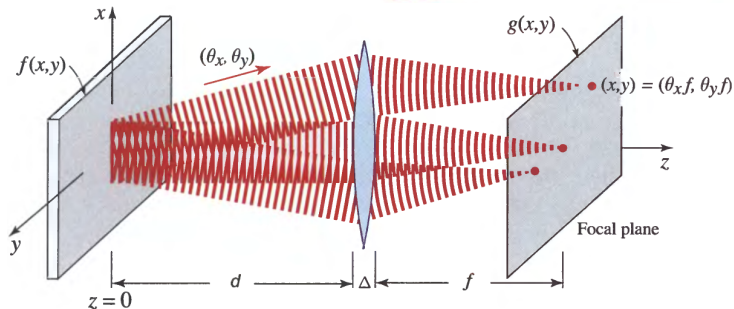
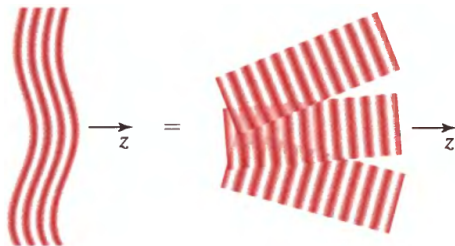
Gaussovský svazek – pro danou šířku minimální divergence



Fourierovská optika

každá vlna lze rozložit na součet rovinných vln

$$\hat{f}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i x \xi} dx$$

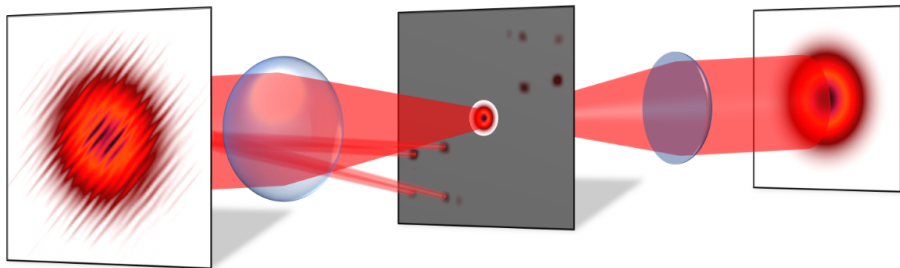


Obsah

- 1 Popis šíření světla
- 2 Hardwarová prostorová filtrace**
- 3 Úprava digitálního obrazu
- 4 Optická vlákna
- 5 Navázání svazku do vlákna

4f systém

- maska buď fixní nebo tekuté krystaly
- využití v mikroskopech pro zvýšení kontrastu

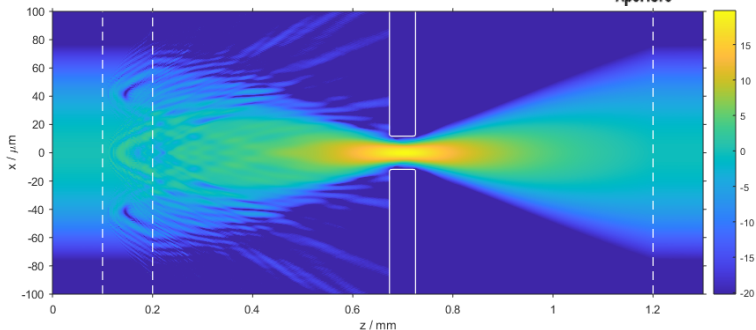
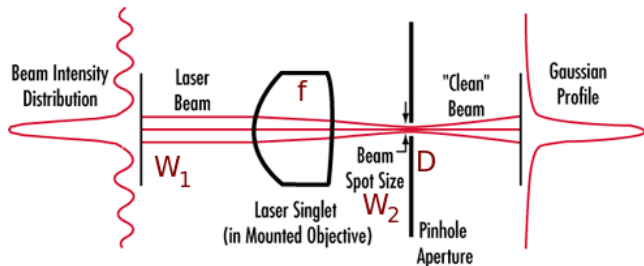


<https://arxiv.org/pdf/2005.06000.pdf>

Vyfiltrování gaussovského svazku

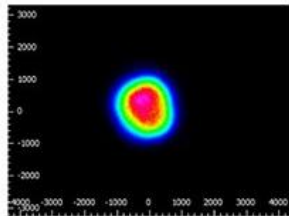
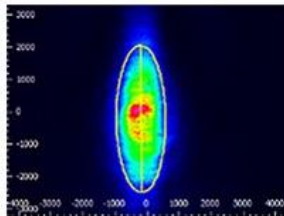
$$W_2 = 1.27 \frac{\lambda f}{W_1}$$

$$D = 1.5 \times W_2$$



Praktická ukázka

Co by jsme měli dosáhnout



objektivy k dispozici

$f = 25.4 \text{ mm}$

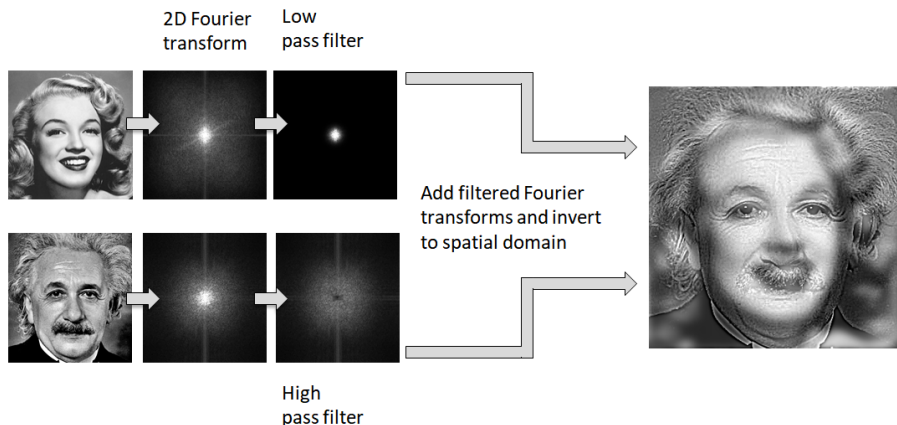
štěrbiny k dispozici

100, 30, 25, 20 μm

Obsah

- 1 Popis šíření světla
- 2 Hardwarová prostorová filtrace
- 3 Úprava digitálního obrazu**
- 4 Optická vlákna
- 5 Navázání svazku do vlákna

Softwarová úprava fotografií



<https://www.mapleprimes.com/maplesoftblog/209594-Hybrid-Images-Visual-Perception-And-Distance->

Maticové kernely

7	23	50	64	14
15	13	31	46	8
42	25	92	31	32
71	44	74	94	92
2	43	51	35	4

 $\times$

0	2	0
0	0	0
0	0	0

 $=$

-	-	-	-	-
-	46	100	128	-
-	26	62	92	-
-	50	184	62	-
-	-	-	-	-

Rozmazání

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Zvýraznění hran

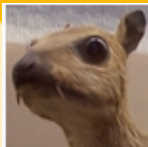
$$\begin{bmatrix} 0 & -0.5 & 0 \\ -0.5 & 3 & -0.5 \\ 0 & -0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

Detekce hran v ose x

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Strojové učení a neuronové sítě

Identita



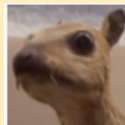
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Detekce hran

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



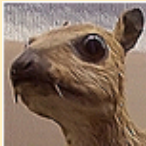
Čtvercové rozmazání



$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Zostření

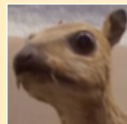
$$\begin{bmatrix} 0 & -10 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$



Gaussovské rozmazání



$$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

<https://perez-aids.medium.com/>

introduction-to-image-processing-part-3-spatial-filtering-and-morphological-operations-fae6c15238

Navigation icons: back, forward, search, etc.

Obsah

- 1 Popis šíření světla
- 2 Hardwarová prostorová filtrace
- 3 Úprava digitálního obrazu
- 4 Optická vlákna**
- 5 Navázání svazku do vlákna

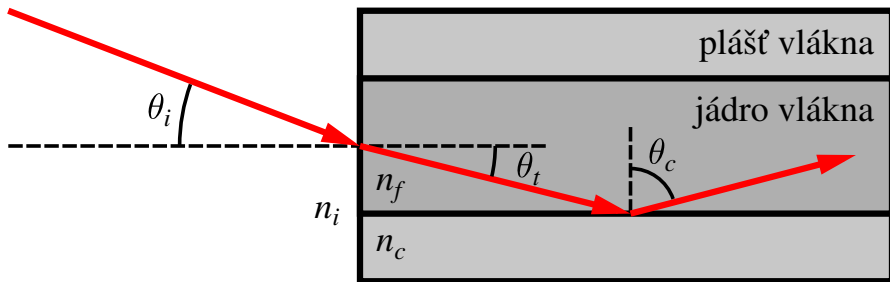
Optická vlákna

Světlo se ve vlákně šíří s minimem ztrát díky totálnímu odrazu

Totální odraz kritický úhel $\sin \theta_c = n_c / n_f$

Zákon lomu $n_i \sin \theta_i = n_f \sin \theta_t$, $\theta_t = 90^\circ - \theta_c$

Numerická apertura $NA = n_i \sin \theta_i = n_f \sin \theta_t = \sqrt{n_f^2 - n_c^2}$

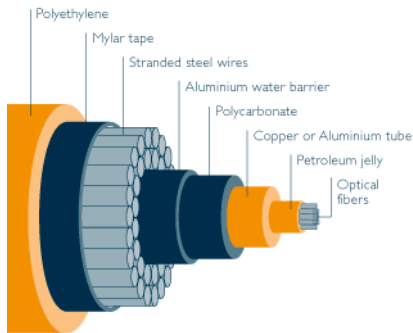
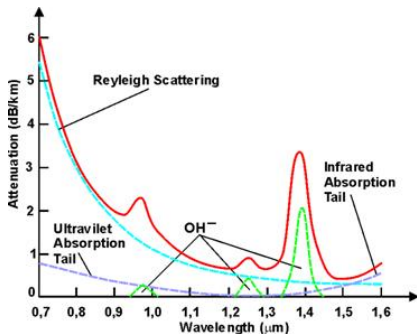


Ztráty

Jednotka dB

útlum (ztráty) = $-10 \log \frac{P}{P_0}$ [dB], např. $P/P_0 = 0.1 \rightarrow 10$ dB

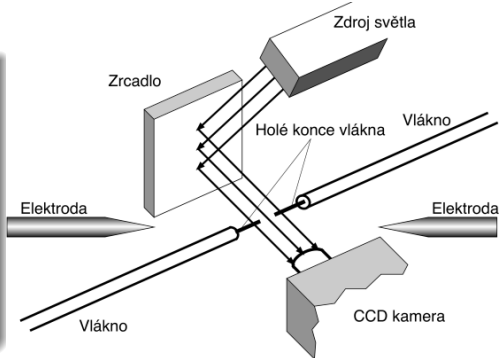
- ztráty měděného vedení 20 dB/km
- první transatlantický optický kabel v roce 1988
- v současnosti 0.2 dB/km



Svařování vláken

délka vlákna z výroby typicky 2 500 až 5 000 m, maximálně 8 000 m

- „pholení“ vlákna
- očištění alkoholem
- naříznutí a zlomení popř. roztržení
- kolmost hrany max 1°
- svár elektrickým obloukem
- ztráty max 0.2 dB



<https://www.youtube.com/watch?v=HEd8dzj7-wI>

Vláknové spojky

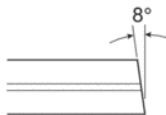
					
Označení	FC	ST	SC	SMA	E2000
Vložený útlum [dB]	0,2	0,4	0,2	0,25	0,2
Odrazivost (ORL) [dB]	65 (APC) 50 (UPC)	50	65 (APC) 50 (UPC)	30	
Leštění	SPC/UPC/APC	SPC/UPC	SPC/UPC/APC	FLAT	SPC/UPC/APC



Flat



PC, SPC and UPC



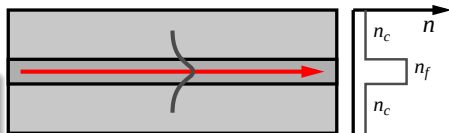
APC



Typy optických vláken

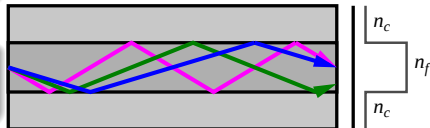
Jednomodová

jen gaussovský svazek



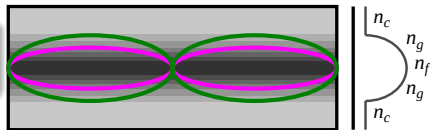
Mnohamodová

různé rychlosti šíření



Gradientní

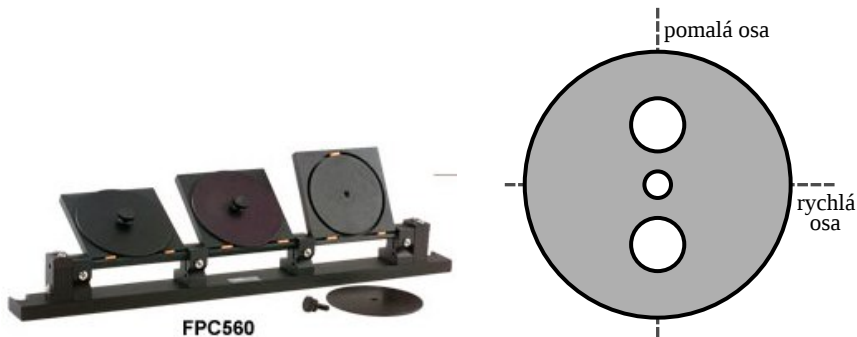
více módů ale stejná rychlost šíření



- jednomodový režim pokud $V < 2.405$, $V = 2\pi \frac{a}{\lambda} NA$
- počet módů $M \sim V^2$, ($V \gg 1$)

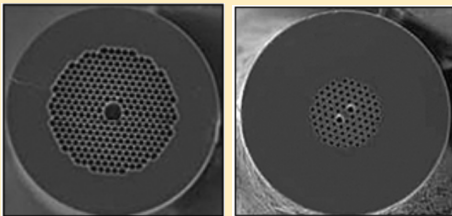
Polarizace v optickém vlákně

- změna polarizačního stavu v důsledku dvojlomu a geometricky
- dvojlom vzniká pnutím v místě ohybu vlákna
- vláknové rotátory (kontrolery, „uší“)
- speciální vlákna zachovávající polarizaci (panda)

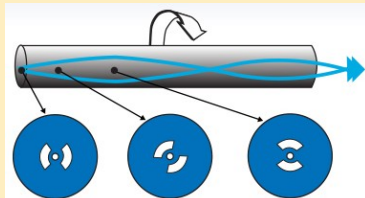


Speciální vlákna

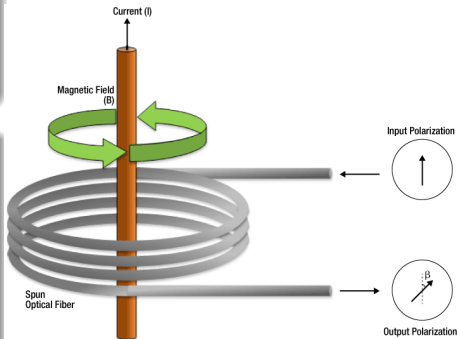
Hollow core fiber



Spun fiber



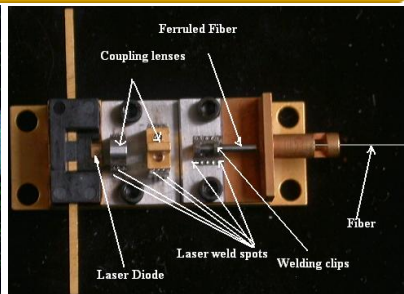
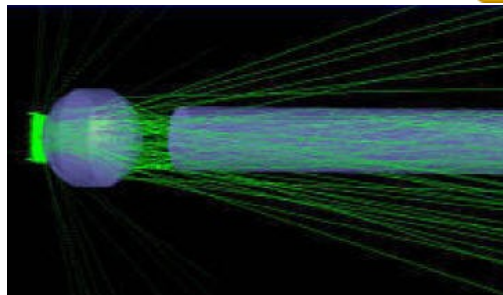
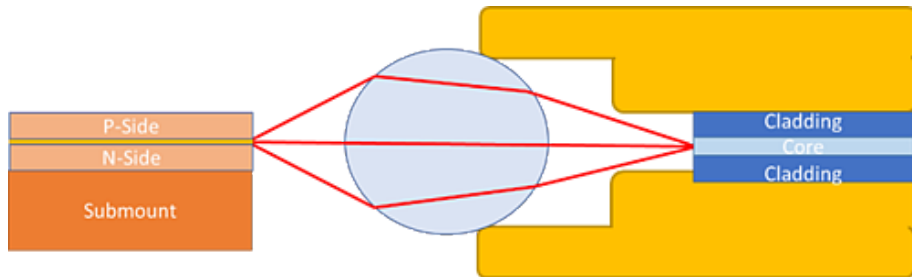
- nelineární vlákna pro generaci superkontinua
- dopovaná vlákna pro lasery



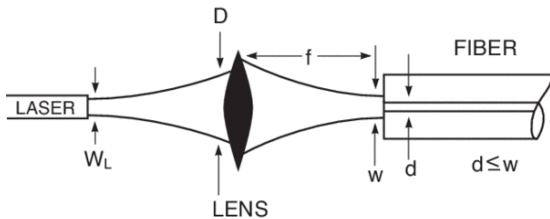
Obsah

- 1 Popis šíření světla
- 2 Hardwarová prostorová filtrace
- 3 Úprava digitálního obrazu
- 4 Optická vlákna
- 5 Navázání svazku do vlákna**

Pigtail LD

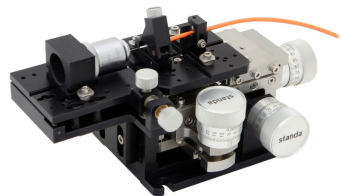


Navázání volného svazku



- transformace čočkou $D = \frac{4\lambda f}{\pi w}$
- šířka svazku MFD nebo $w \approx 1.28d = 2.56a$
- podmínka jednomodovosti $V < 2.405$

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda} NA, NA = \sqrt{n_f^2 - n_c^2}$$



Praktická ukázka

Vlákno SM600

- použitelné v rozmezí 633-780 nm
- cut-off 500-600 nm
- MFD 3.6-5.3 μm
- útlum max 15 dB/km
- $n_f = 1.45872$, $n_c = 1.45530$ pro 700 nm

Čočky k dispozici

- C330TM – $f = 3.10$ mm, NA = 0.68
- C230TM – $f = 4.51$ mm, NA = 0.55
- C110TM – $f = 6.24$ mm, NA = 0.4
- C220TM – $f = 11.00$ mm, NA = 0.25
- C260TM – $f = 15.29$ mm, NA = 0.16