

# Druhy kamerových senzorů a optika

Strojové vidění a zpracování obrazu (BI-SVZ)

# Obsah přednášky

- Kamerové senzory
- Dělení kamerových senzorů
  - Dle snímaného spektra
  - Dle způsobu snímání
  - Dle komunikačního rozhraní
- Objektivy
  - Uchycení ke kameře
  - Vlastnosti (pracovní vzdálenost, clona, ostření, ohnisková vzdálenost)
  - Filtry
- Vady optiky
  - Vinětace, Chromatická aberace, Difrakce, Distorze
- Kalibrace kamery

# Druhy kamerových senzorů



# Druhy kamerových senzorů



Běžná kamera (maticová)



UV kamera



Termokamera



LIDAR

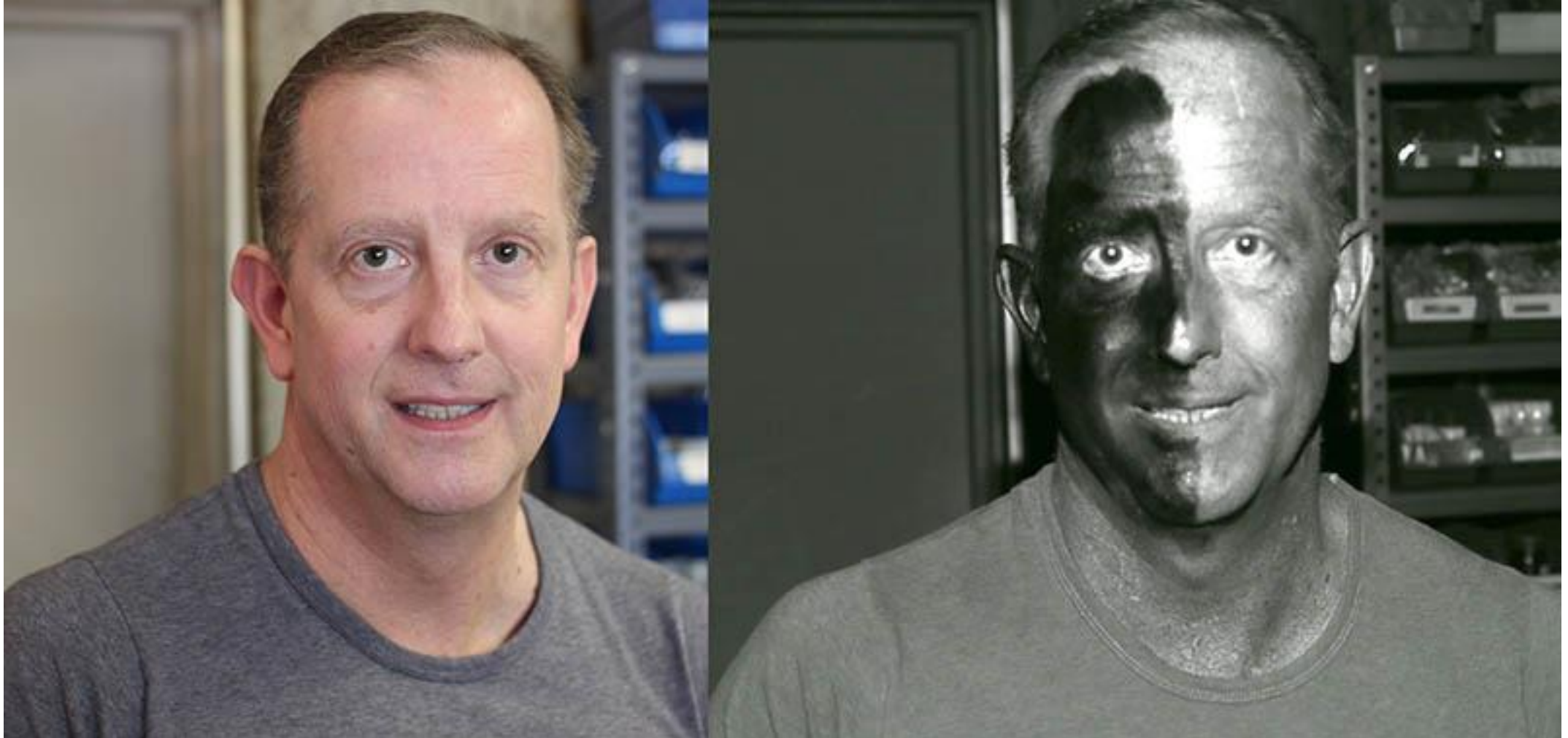
Mnoho dalších

- Řádkové kamery
- Vysokorychlostní kamery
- Hloubkové kamery
- Kamery s vysokým rozlišením
- Vícečipové
- Hyperspektrální



Multispektrální

# Druhy kamerových senzorů - UV

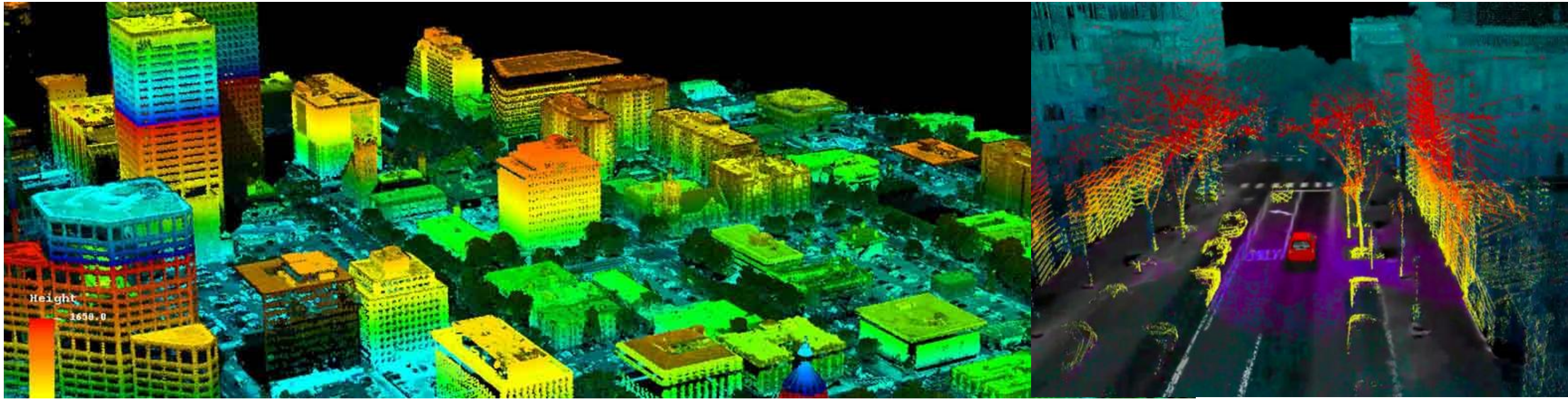


# Druhy kamerových senzorů –Termo

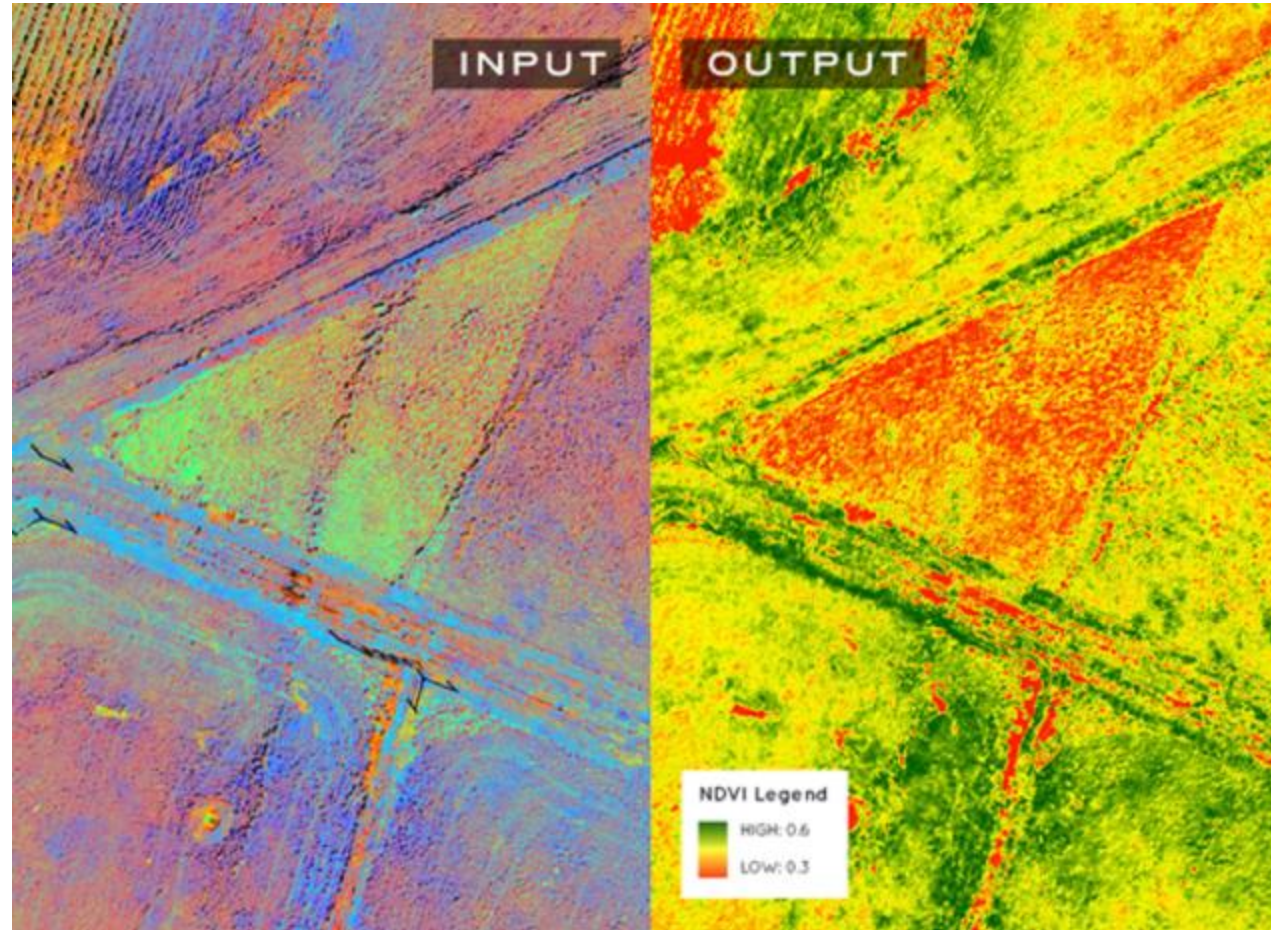




# Druhy kamerových senzorů - LIDAR

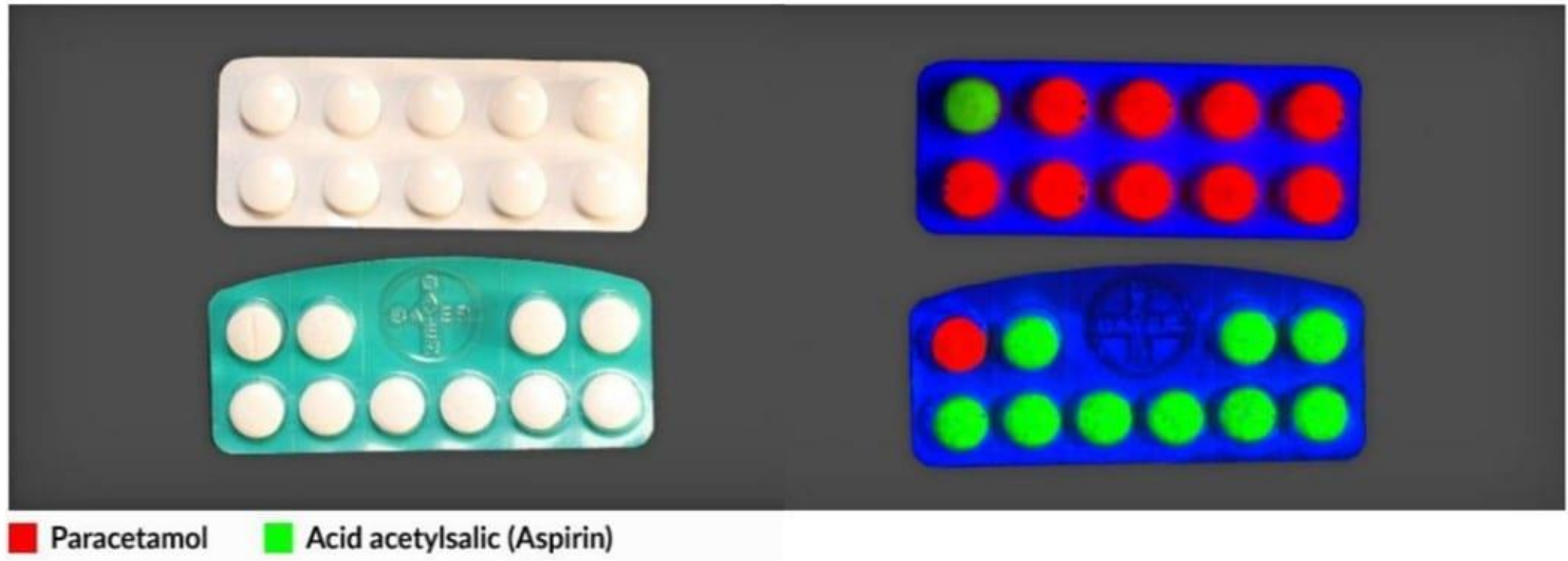


# Druhy kamerových senzorů - Multispektrální





# Druhy kamerových senzorů - Hyperspektrální



# Druhy kamerových senzorů

- Rozdělení dle snímaného spektra

- Viditelné spektrum: 380 – 650 nm

- Infračervené:

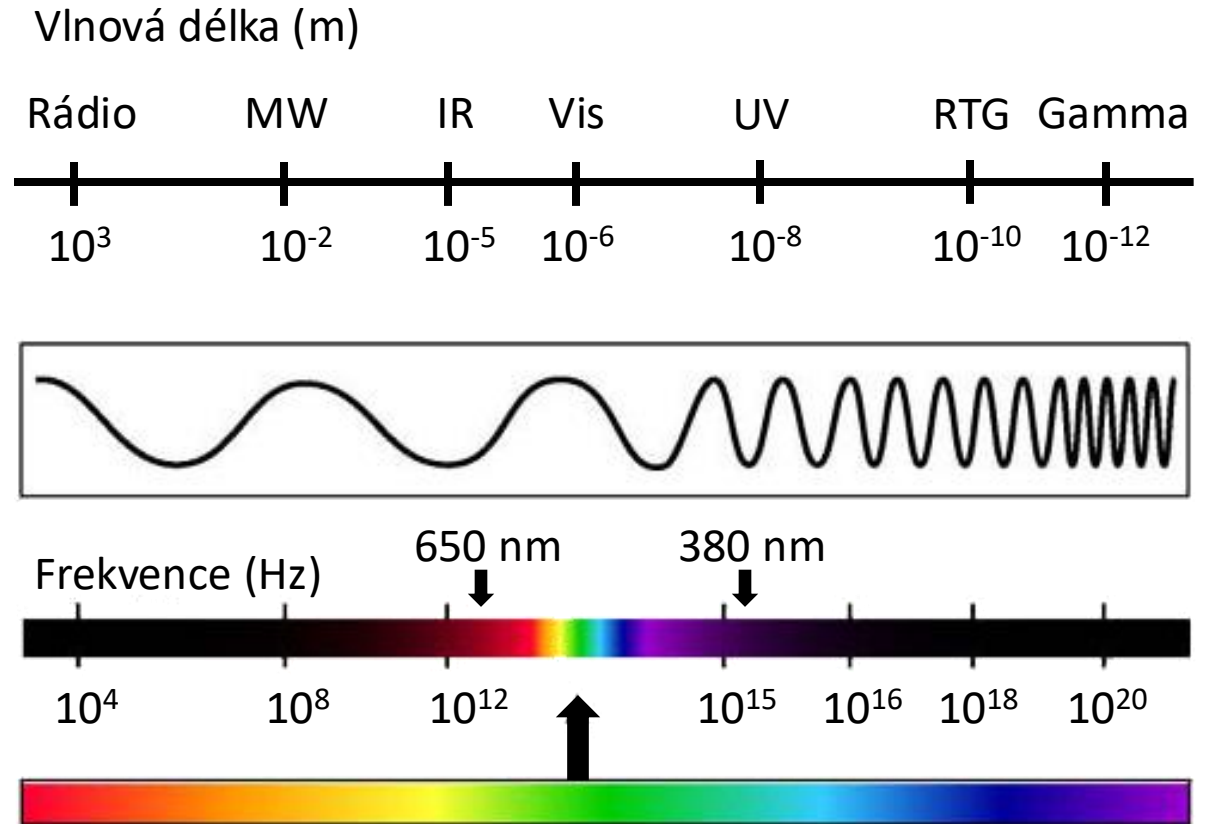
- Vlnová délka: 8 – 12  $\mu\text{m}$  (LWIR)

- Vlnová délka: 3 – 5  $\mu\text{m}$  (MWIR)

- Vlnová délka: 1 – 2  $\mu\text{m}$  (SWIR)

- UV

- LIDAR



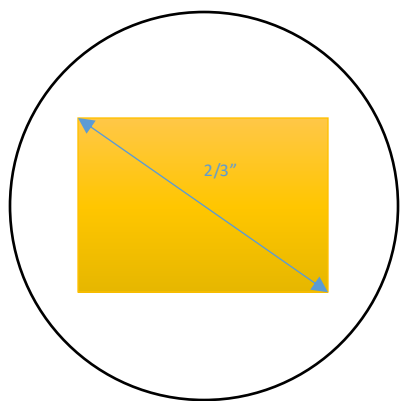
# Druhy kamerových senzorů

- Rozdělení dle způsobu snímání
  - Běžné kamery (maticové)
    - Obraz je snímáný najednou
  - Řádkové kamery
    - Snímají řádek po řádku vysokou frekvencí, stejně jako skener
- Maticovou kameru použijeme tam, kde potřebujeme najednou zaznamenat celé obrazové pole
- Řádkové kamery jsou využity pro snímání nekonečných pásů či rotujících předmětů

# Velikost a formát senzorů

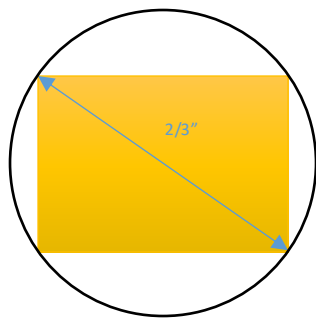
- Velikost senzoru je odvozena od velikosti pixelu
  - Větší pixely jsou lepší pro svoji citlivost
- Formát senzoru určuje vhodnost objektivu
- Historicky se používá 1" = 16 mm (*vidicon tube sensor*)

$$velikost_{senzoru} = velikost_{pixelu} \cdot počet_{pixelů}$$



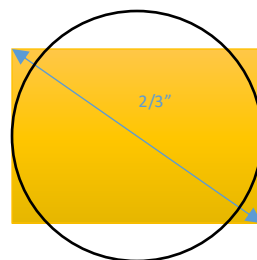
1 " objektiv  
Dobré

Objektiv je  
větší než  
senzor



2/3 " objektiv  
Akorát

Objektiv je  
vhodný pro  
senzor



1/2 " objektiv  
Špatně

Objektiv je  
menší než  
senzor  
(vínětace)

| Formát senzoru | Diagonála (mm) |
|----------------|----------------|
| 1/3 "          | 6              |
| 1/2 "          | 8              |
| 1/1.8 "        | 8,93           |
| 2/3 "          | 11             |
| 1 "            | 16             |
| 4/3 "          | 21,6           |

<https://www.digicamdb.com/sensor-sizes/>



# Druhy komunikačního rozhraní

## GigE Vision (5GigE, 10GigE)

- Přenos obrazu i na velké vzdálenosti
- Více kamer v jedné síti
- PTP časová synchronizace (precision time protocol)
- Levné kabely i kamery

## USB3 Vision

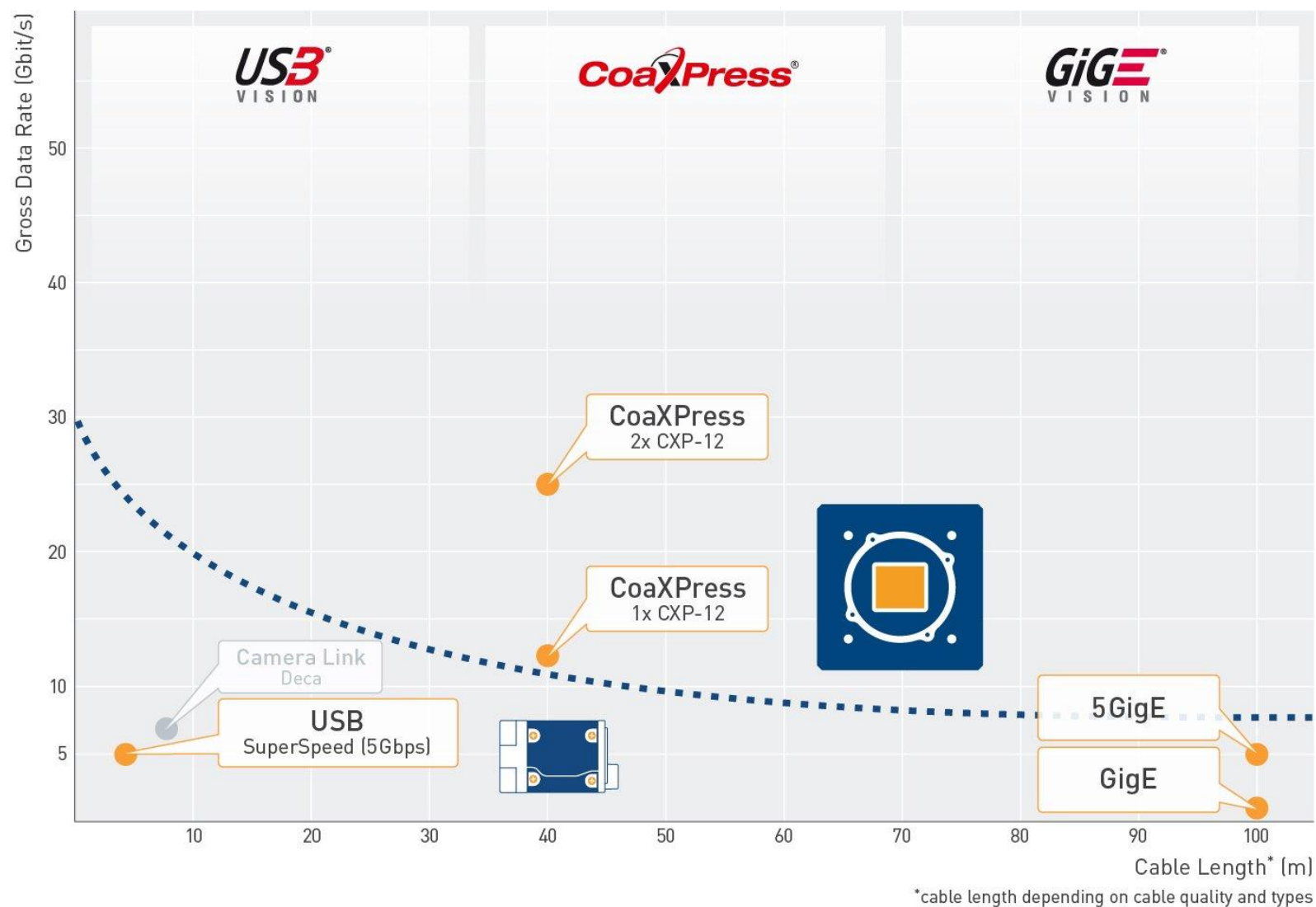
- Přenos na řádu metrů
- Snadné připojení
- Více kamer
- Dražší kabely, levné kamery

## CoaXPress

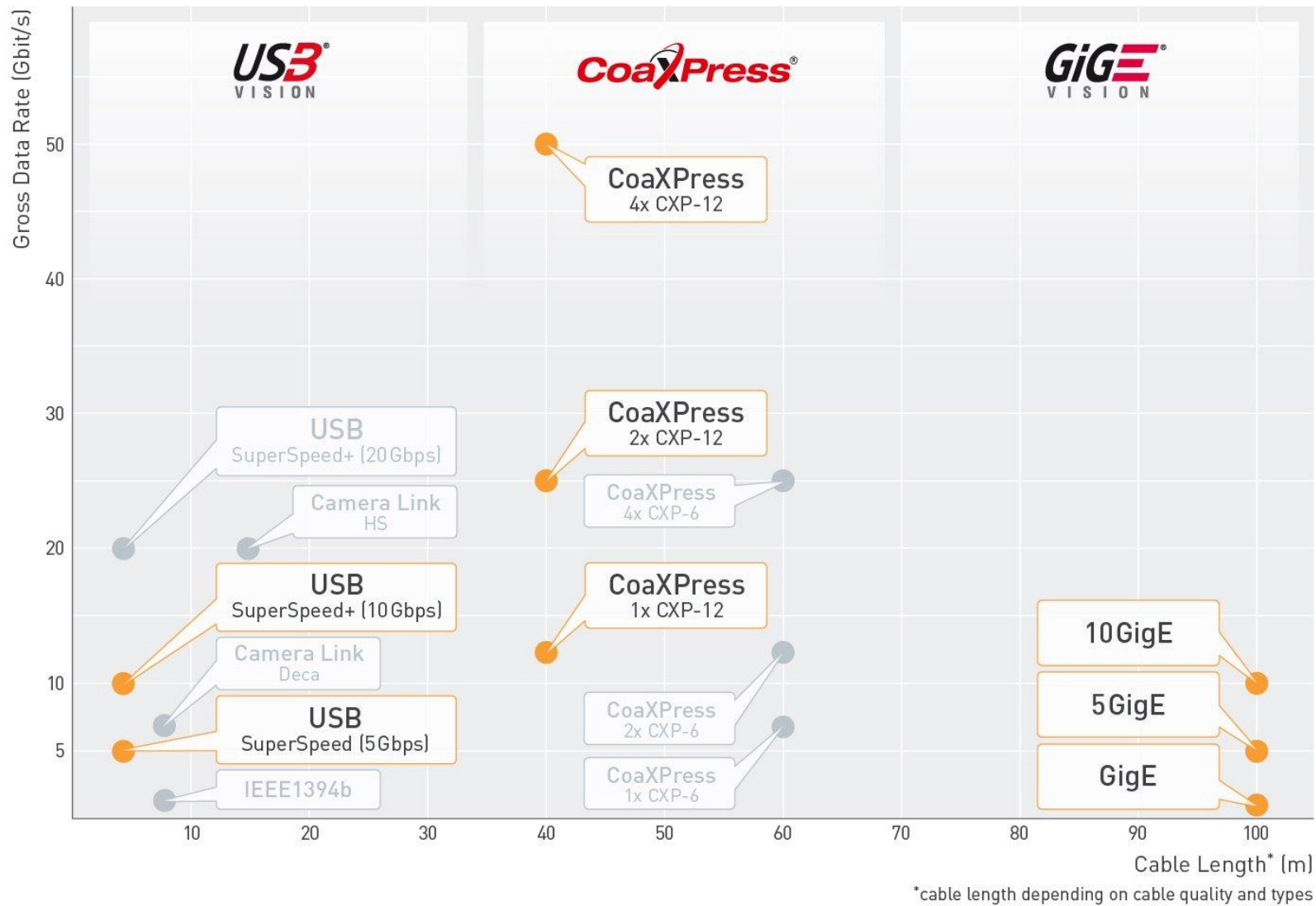
- Rychlost se řeší počtem kanálů
- Levné kabely, dražší kamery
- Zvláštní frame grabber



# Druhy komunikačního rozhraní – aktuální



# Druhy komunikačního rozhraní – výhled

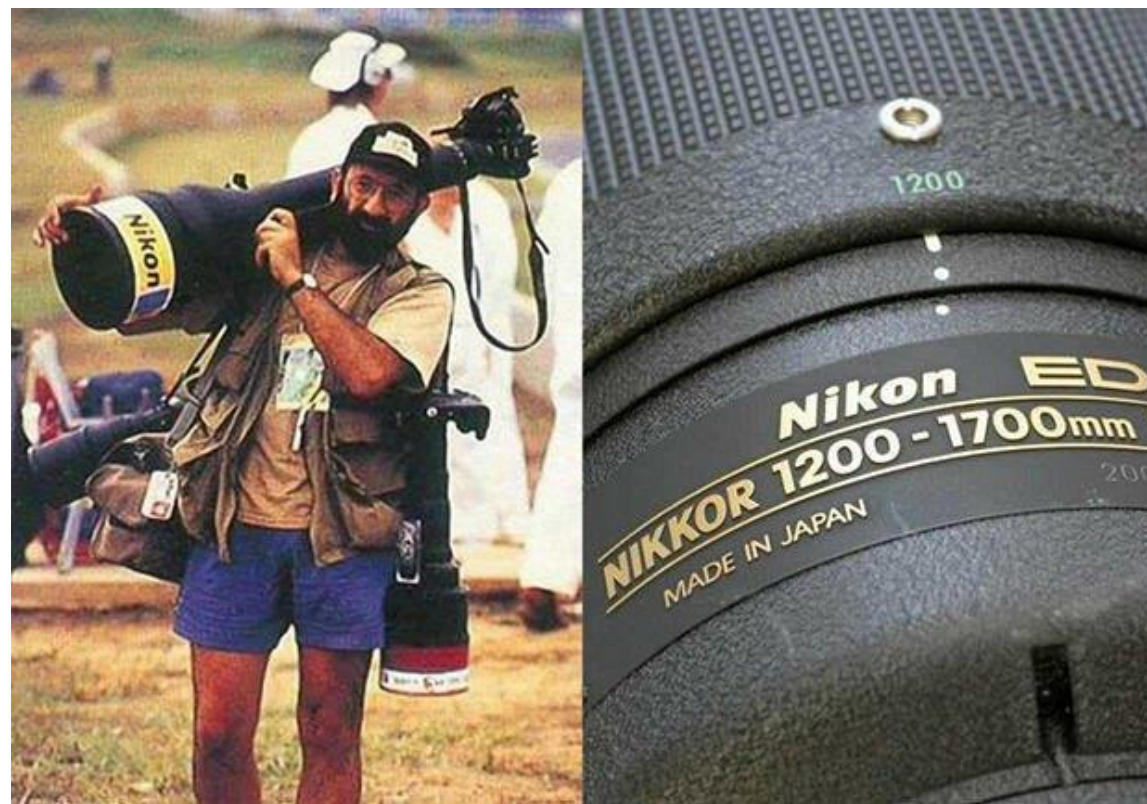


# Rozdíl mezi IP a průmyslovou kamerou

- IP kamera
  - Komprimovaný video záznam → nízký datový tok
  - Většinou bez důmyslného nastavení
  - Přístup přes webové rozhraní
- Průmyslová kamera
  - Nekomprimovaný video záznam → cílem je nasnímat co nejvyšší kvalitu data pro pozdější zpracování
  - Nutnost promyslet snímané prostředí a nastavit několik parametrů kamery k získání požadovaných dat
- Oba typy uzpůsobeny k nepřetržitému provozu

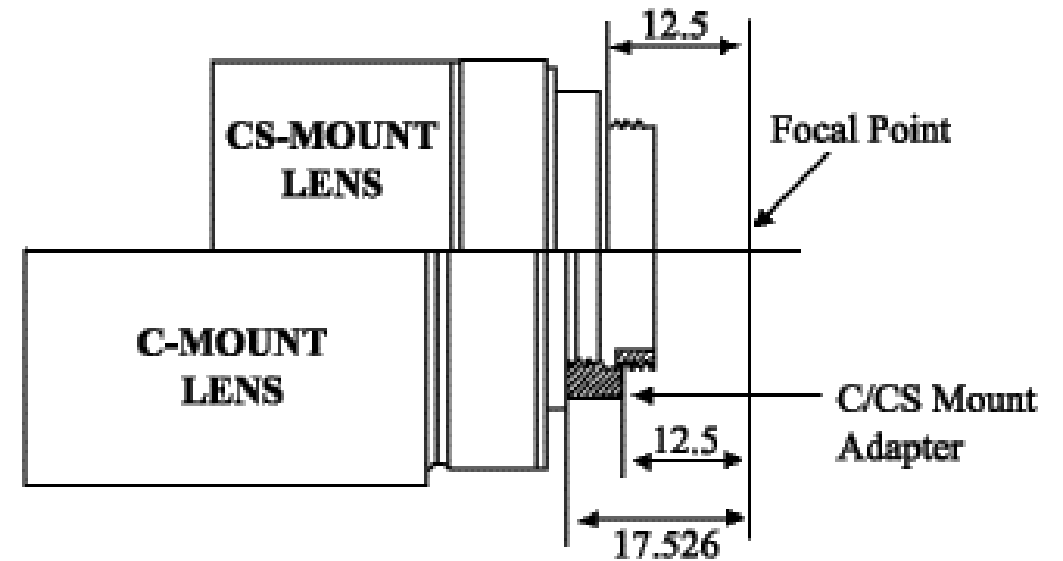


# Objektivy



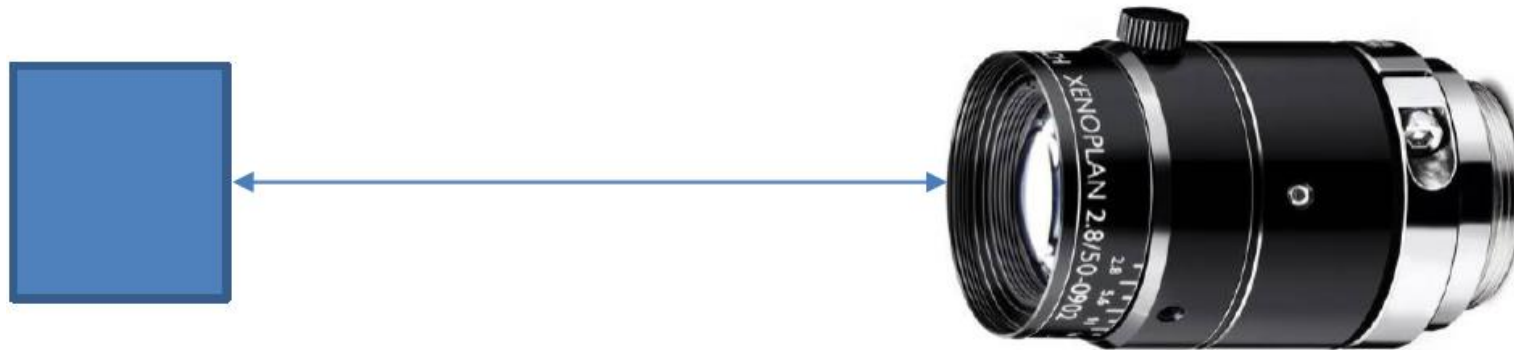
# Objektivy – typ závitu na kameře

- C-mount
  - Hloubka 17,5 mm
- CS-mount
  - Hloubka 12,5 mm
- F-mount (Nikon)
  - Hloubka 46,5 mm
- Další závity: M42, V-mount, S-mount



# Objektivy – minimální pracovní vzdálenost

- Pracovní vzdálenost se určuje od okraje objektivu
- Objektivy pro průmyslové kamery jsou optimalizovány pro krátké pracovní vzdálenosti



# Objektivy – ostření

- Objektivy pro průmyslové kamery mají upravenou stupnici pro přesnější zaostření na krátkou vzdálenost
- Nastavovací prvky jsou obvykle jištěny šroubky proti posunutí
- Objektivy odolné proti otřesům a vibracím mají robustnější zamykací systém





# Objektivy – filtry

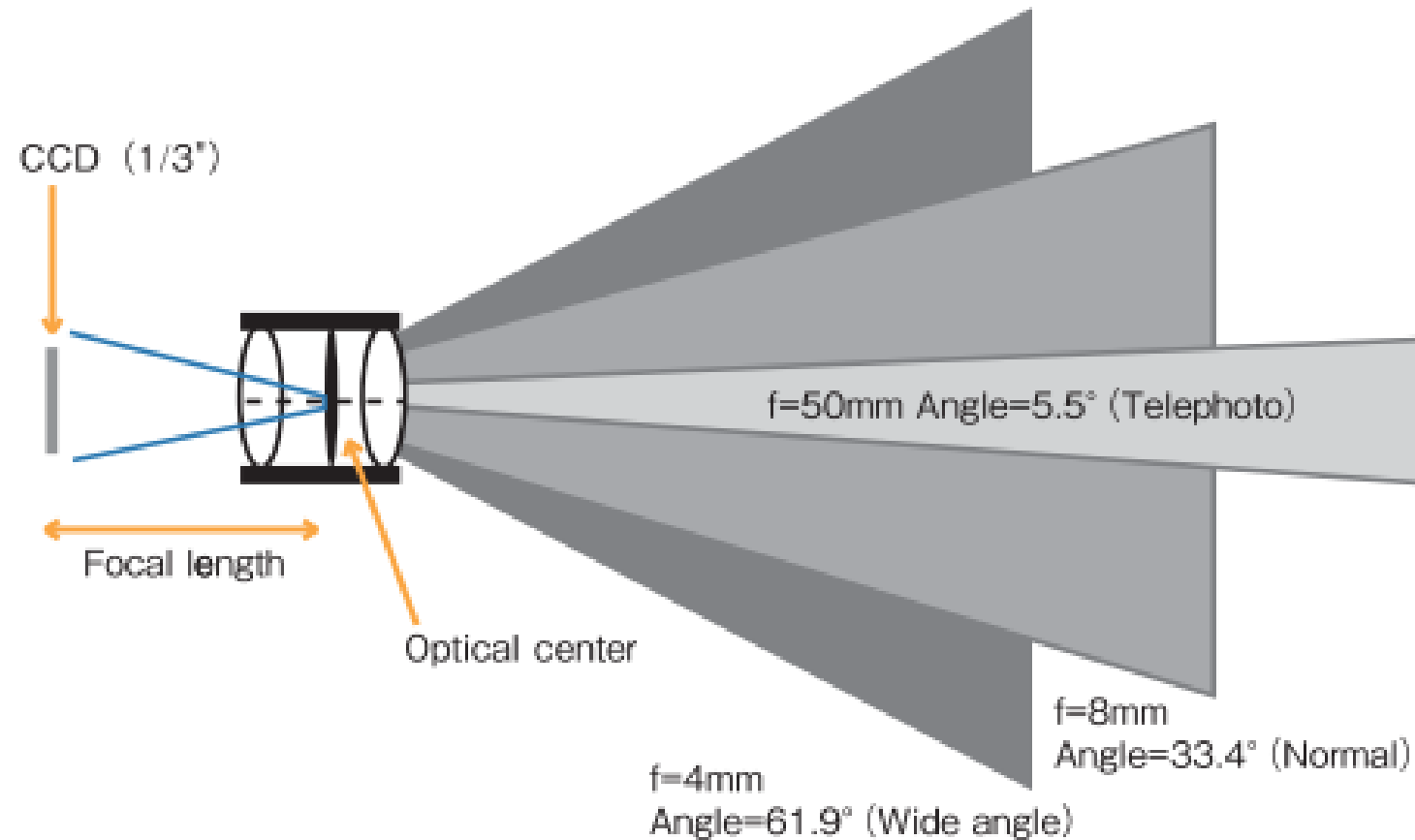
- Objektivy mívají závit pro připojení optického filtru
- Filtry se dají šroubovat na sebe
- Některé širokoúhlé objektivy s vypouklou čočkou nemají filtrový závit (řešeno adaptérem)
- Polarizační, pásmové, ...



# Objektivy – ohnisková vzdálenost

- Určuje zorné pole a zvětšení
- Může být pevná nebo proměnlivá
  
- Objektivy s pevnou ohniskovou vzdáleností mají
  - Jednoduchý design
  - Vysoké rozlišení a lepší optickou kvalitu
  - Možnost kalibrace měření => vysoká přesnost měření

# Objektivy – ohnisková vzdálenost

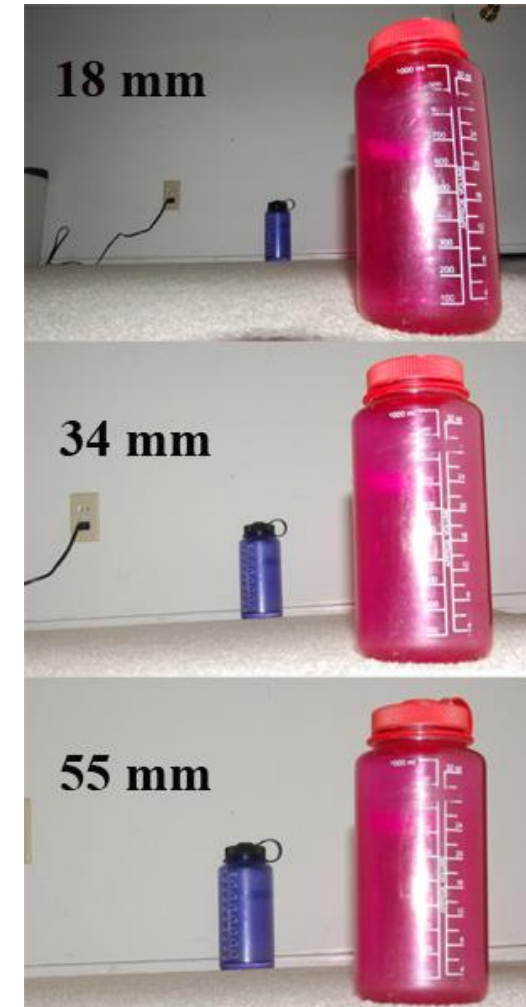


# Objektivy – ohnisková vzdálenost

■ COMPARISON OF MONITORING IMAGES

※ Images on 1/3" camera

| Object distance<br>Focal length | 2m | 5m | 10m | 20m |
|---------------------------------|----|----|-----|-----|
| f=2.8mm                         |    |    |     |     |
| f=3.5mm                         |    |    |     |     |
| f=8mm                           |    |    |     |     |
| f=30mm                          |    |    |     |     |
| f=50mm                          |    |    |     |     |





# Objektivy – ohnisková vzdálenost



50 mm



1700 mm

# Objektivy – strojové vidění

- [Telecentrický](#)
  - Eliminuje perspektivní zkreslení
  - Zachovává konstantní zvětšení
  - Ideální pro přesné měření
- [Boroskopická sonda](#)
  - umožňují inspekci těžko přístupných míst
- [Pericentrický](#)
  - Díky speciálně vybroušeným čočkám umožňuje sledovat objekt i ze strany
- [Liquid lens](#)
  - Rychlé a dynamické zaostřování pomocí změny tvaru kapaliny uvnitř čočky
  - Ideální pro proměnlivé pracovní vzdálenosti
- [Ultra širokoúhly s minimální distorzí](#)
  - Patentovaná technologie výrobcem [Theia](#)
- Mnoho dalších

# Objektivy – strojové vidění



# Objektivy – strojové vidění



Telecentrický



Boroskopická sonda



Ultra široký bez distorze

# Vady optiky

- Vinětace
- Aberace
- Difrakce
- Zkreslení (distorze)



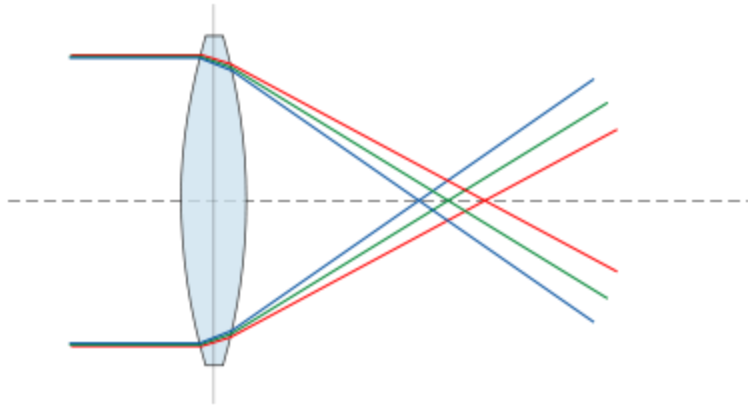
# Vady optiky – vinětace

- Efekt způsobený tím, že do středu snímku dopadá více světla než do krajů
- Způsobeno konstrukčními vlastnostmi objektivů
- Vinětaci lze nalézt na libovolně kvalitním objektivu
- Vinětace se zmírňuje zacslněním objektivu
- Jak moc nám efekt vinětace vadí?



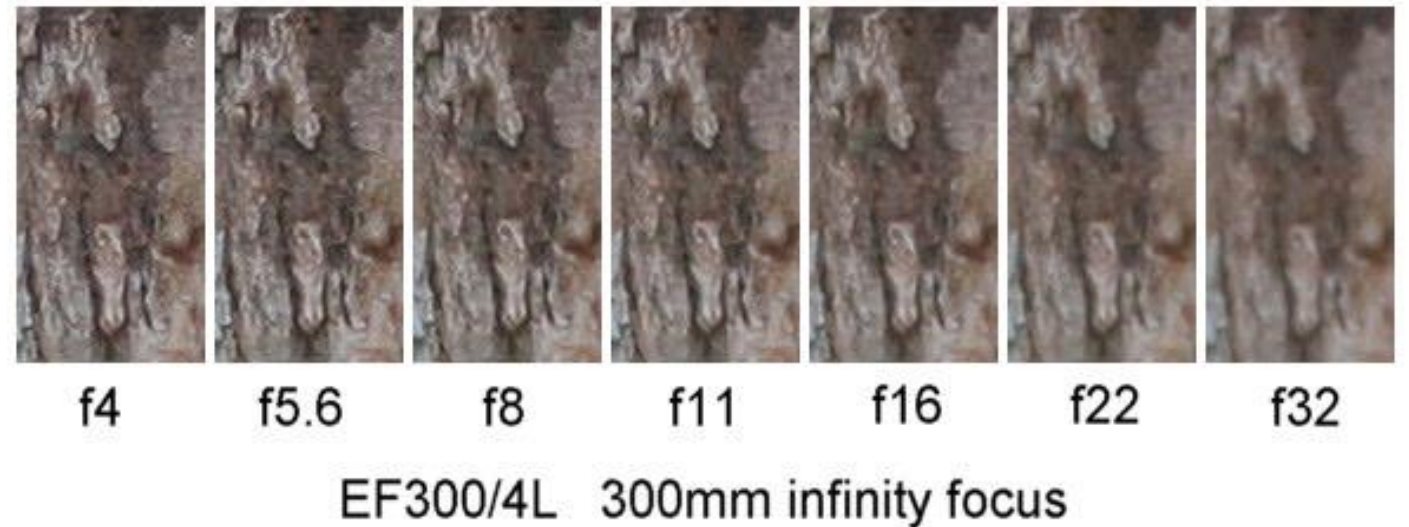
# Vady optiky – chromatická aberace (barevná vada)

- Projevuje se jako barevné lemování ostrých přechodů mezi světlem a stínem
- Každá barva má jinou vlnovou délku a index lomu je tedy pro každou barvu jiný
- Efekt je zmírněn zacloněním objektivu



# Vady optiky – difrakce

- Projevuje se snížením ostrosti obrazu
- Vzniká přílišným zacloněním objektivu (vysoké clonové číslo)
- Každý objektiv má:
  - „sweet spot“ při kterém poskytuje maximální míru hloubky ostrosti a zároveň zanedbatelné množství difrakce
  - Jiné chování průběhu difrakce



# Vady optiky – distorze

- Zjednodušeně – objektiv zobrazuje zakřivené čáry, kde by měly být rovné čáry (porušení geometrické podobnosti)
- Lze pozorovat zejména u širokoúhlých objektivů
- Nastavení kamery nemá na distorzi vliv
- Proč je to problém?

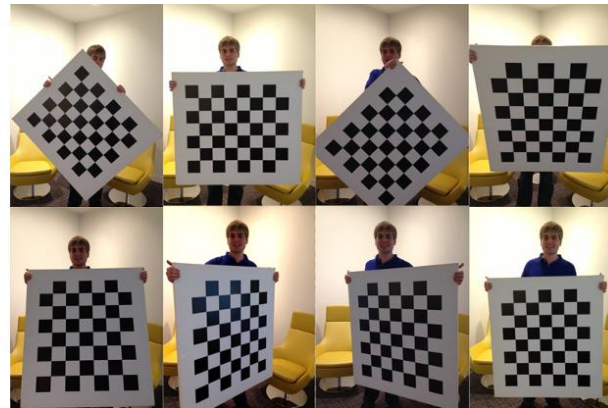
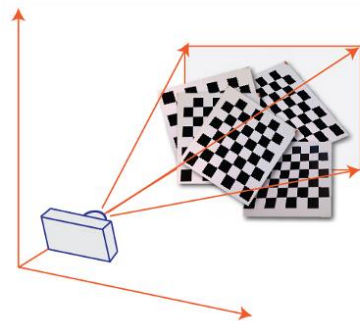


Original Photo

Corrected photo

# Kalibrace kamery

- Obecně slouží k získání **vnitřních, vnějších parametrů kamery** (camera intrinsics, extrinsics) a **parametrů zkreslení objektivu**
- Následně se tyto parametry využívají k **odstranění zkreslení** nebo k **částečné 3D rekonstrukci** snímané scény
- Nejčastěji se používá šachovnicový vzor
- Kalibrace se provádí pro **konkrétní pár kamery a objektivu**
- Přesnost je zvýšená správným zaostřením objektivu





# Kalibrace kamery - algoritmus

- Základem kalibrace je správné vyhledání zkreslených přímek nebo jejich úseků v obraze
- Poté nalezení koeficientů **degradační funkce**, pomocí které dojde k vyrovnání zkreslených přímek a tedy i celého obrazu
- Přímký se budeme pokoušet vyrovnat pomocí **inverzní funkce k funkci, která obraz zkreslila**
- K běhu algoritmu je nutné zaznamenat **10 – 30** snímků při různém naklonění šachovnice

# Kalibrace kamery - OpenCV

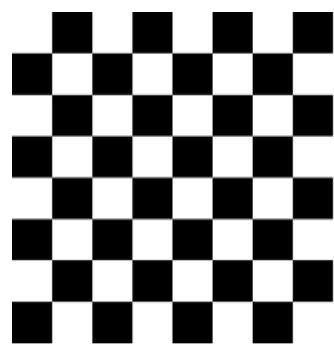
OpenCV odstraňuje 2 druhy distorze:

- Radiální

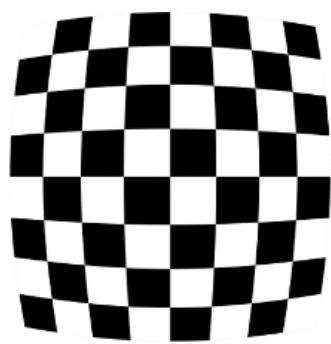
- $x_{\text{distorted}} = x(1 + k_1 * r^2 + k_2 * r^4 + k_3 * r^6)$
- $y_{\text{distorted}} = y(1 + k_1 * r^2 + k_2 * r^4 + k_3 * r^6)$ 
  - $x, y$  — souřadnice nezkreslených bodů,  $k_1, k_2, k_3$  — koeficienty distorze,  $r^2: x^2 + y^2$

- Tangenciální

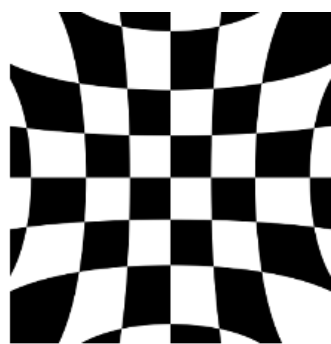
- Způsobeno nepřesnou centrací jednotlivých čoček vůči kamerovému snímači
- $x_{\text{distorted}} = x + [2 * p_1 * x * y + p_2 * (r^2 + 2 * x^2)]$
- $y_{\text{distorted}} = y + [p_1 * (r^2 + 2 * y^2) + 2 * p_2 * x * y]$ 
  - $x, y$  — souřadnice nezkreslených bodů,  $p_1, p_2$  — koeficienty distorze,  $r^2: x^2 + y^2$



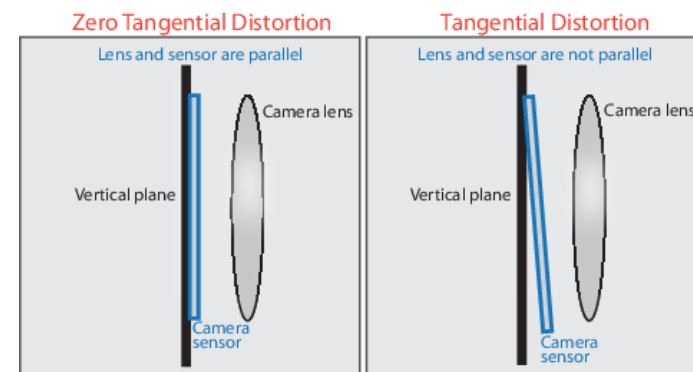
No distortion



Positive radial distortion  
(Barrel distortion)



Negative radial distortion  
(Pincushion distortion)



# Zdroje

- <https://www.the-digital-picture.com/Canon-Lenses/Canon-Lens-Vignetting.aspx>
- <http://www.bobatkins.com/photography/technical/diffraction.html>
- <https://de.mathworks.com/help/vision/ug/camera-calibration.html>
- [https://docs.opencv.org/2.4/modules/calib3d/doc/camera\\_calibration\\_and\\_3d\\_reconstruction.html](https://docs.opencv.org/2.4/modules/calib3d/doc/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html)
- [https://docs.opencv.org/3.1.0/dc/dbb/tutorial\\_py\\_calibration.html](https://docs.opencv.org/3.1.0/dc/dbb/tutorial_py_calibration.html)