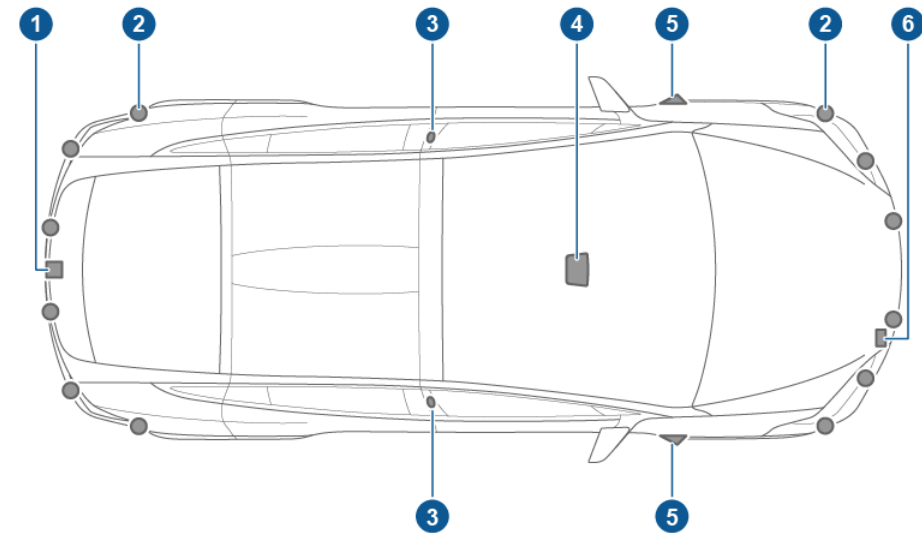


Druhy kamerových senzorů a optika

Strojové vidění a zpracování obrazu
BI-SVZ

Motivace

- Tesla Model X
 - Nejnovější model – 8 venkovních kamer, 1 vnitřní



1. A camera is mounted above the rear license plate.
2. Ultrasonic sensors (if equipped) are located in the front and rear bumpers.
3. A camera is mounted in each door pillar.
4. Three cameras are mounted to the windshield above the rear view mirror.
5. A camera is mounted to each front fender.
6. Radar (if equipped) is mounted behind the front bumper.

Model X is also equipped with high precision electronically-assisted braking and steering systems.

Motivace

- Tesla Model X
 - Nejnovější model – 8 venkovních kamer, 1 vnitřní
 - Auto v FSD – full self driving módu
- Co se stane?



Motivace

- Tesla Model X
 - Nejnovější model – 8 venkovních kamer, 1 vnitřní
 - Auto v FSD – full self driving módu
- Tesla do zdi nabourala!



Motivace

- Podobné auto jako Tesla
 - Před zdí zabrzdilo
- Proč zabrzdilo?
- Jaké jiné senzory jsou v autě použity?

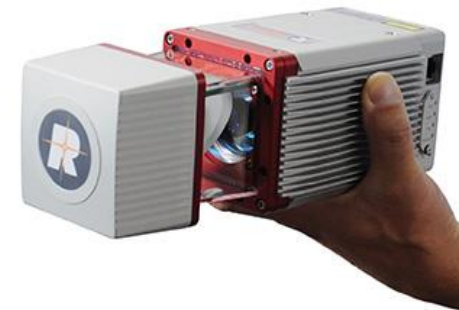


Credit: [Mark Rober](#)

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



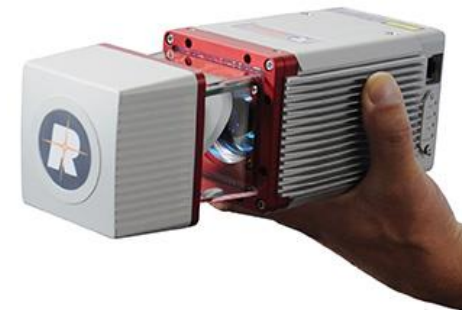
Běžná kamera (maticová)



UV kamera



Termokamera



LIDAR

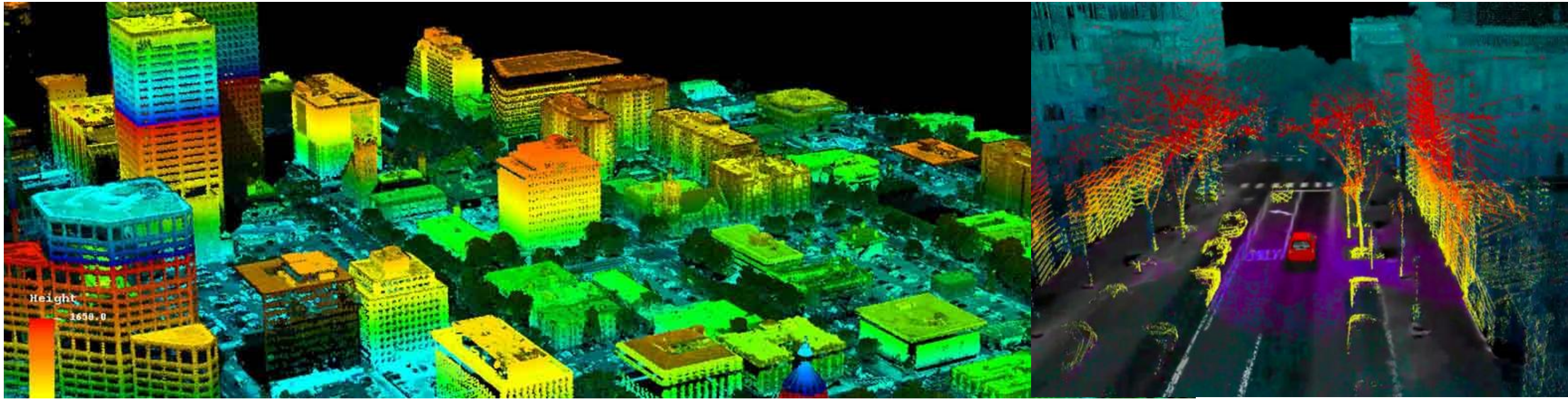
Mnoho dalších

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



Multispektrální

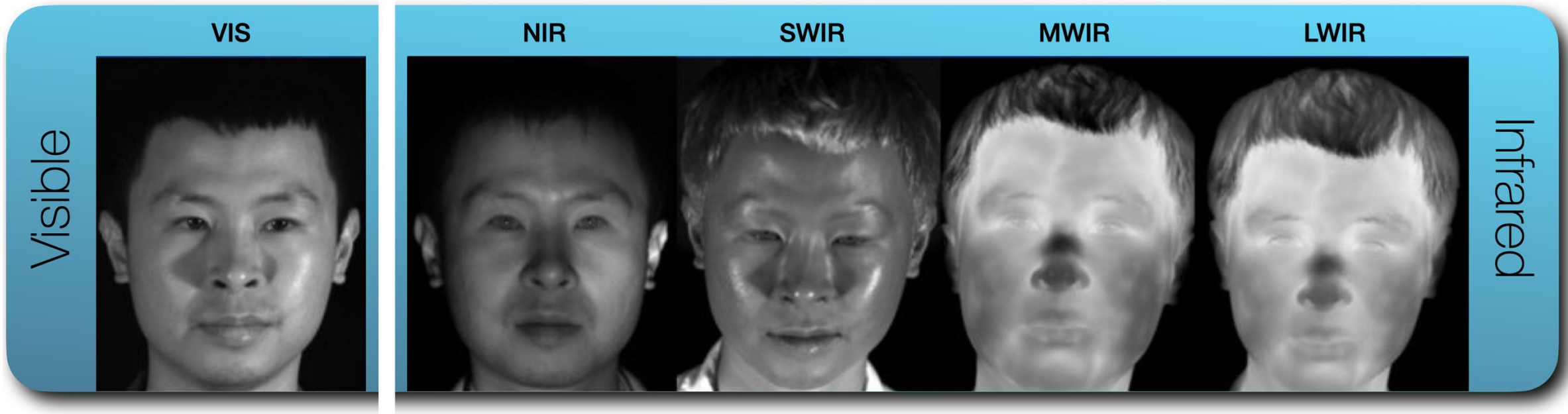
Druhy kamerových senzorů - LIDAR



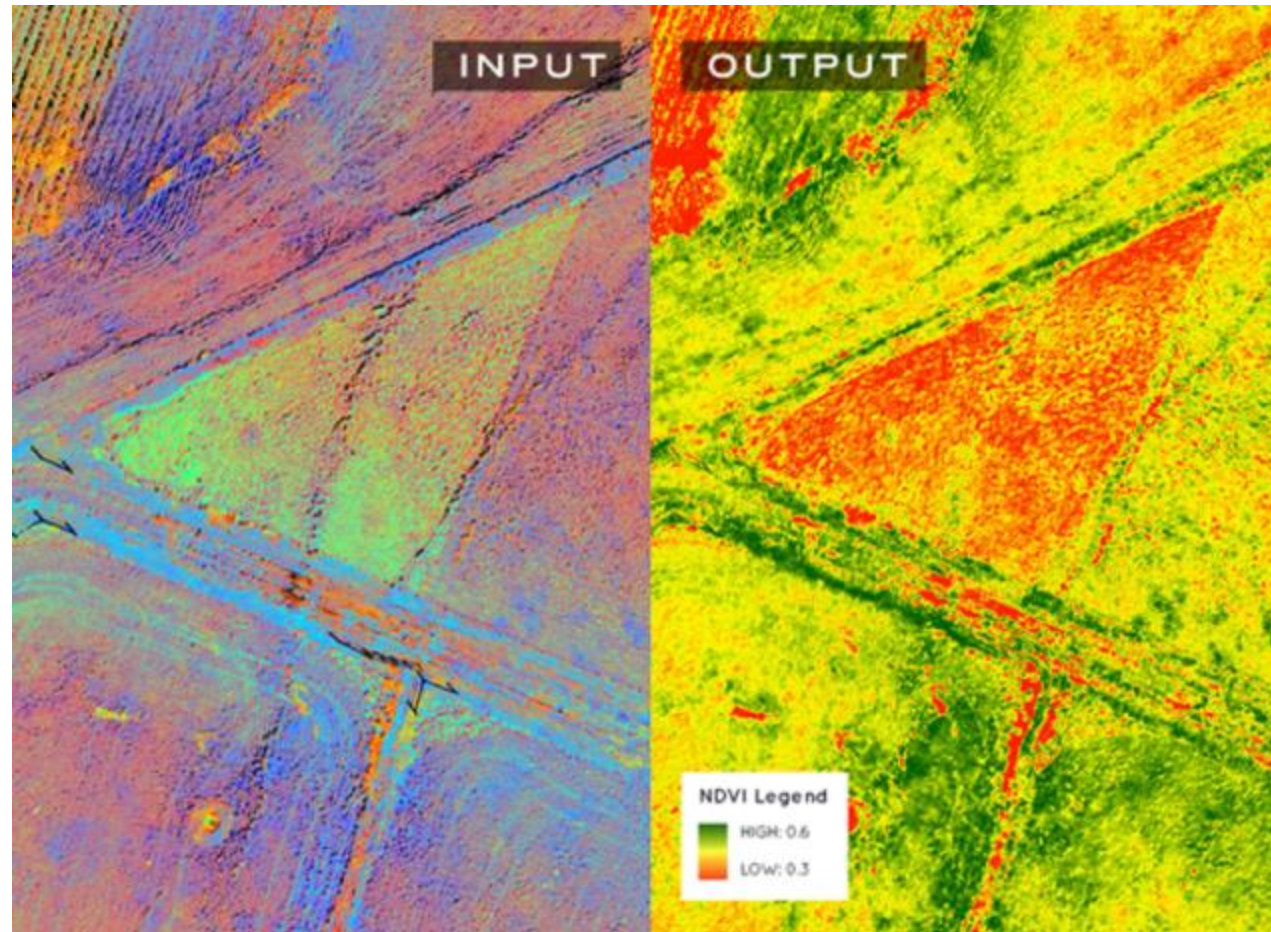
Druhy kamerových senzorů - UV



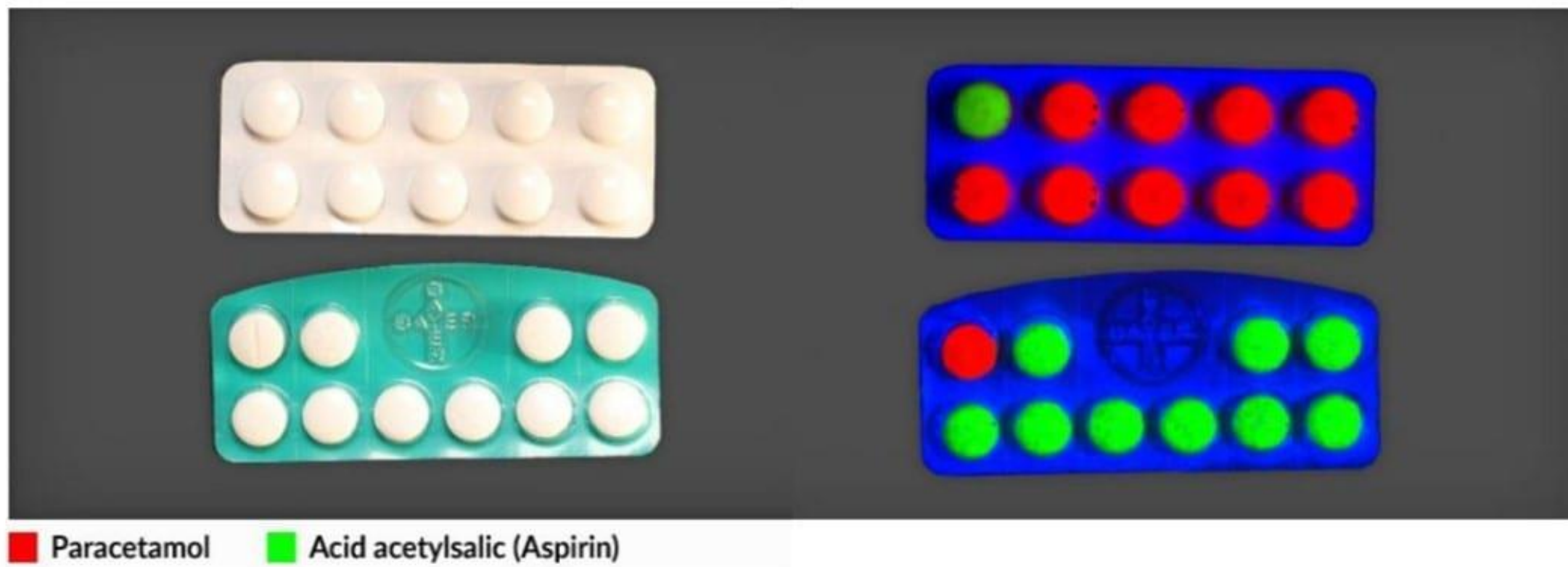
Druhy kamerových senzorů –Termo



Druhy kamerových senzorů - Multispektrální



Druhy kamerových senzorů - Hyperspektrální



Druhy kamerových senzorů

- Rozdělení dle snímaného spektra

- Viditelné spektrum: 380 – 650 nm

- Infračervené:

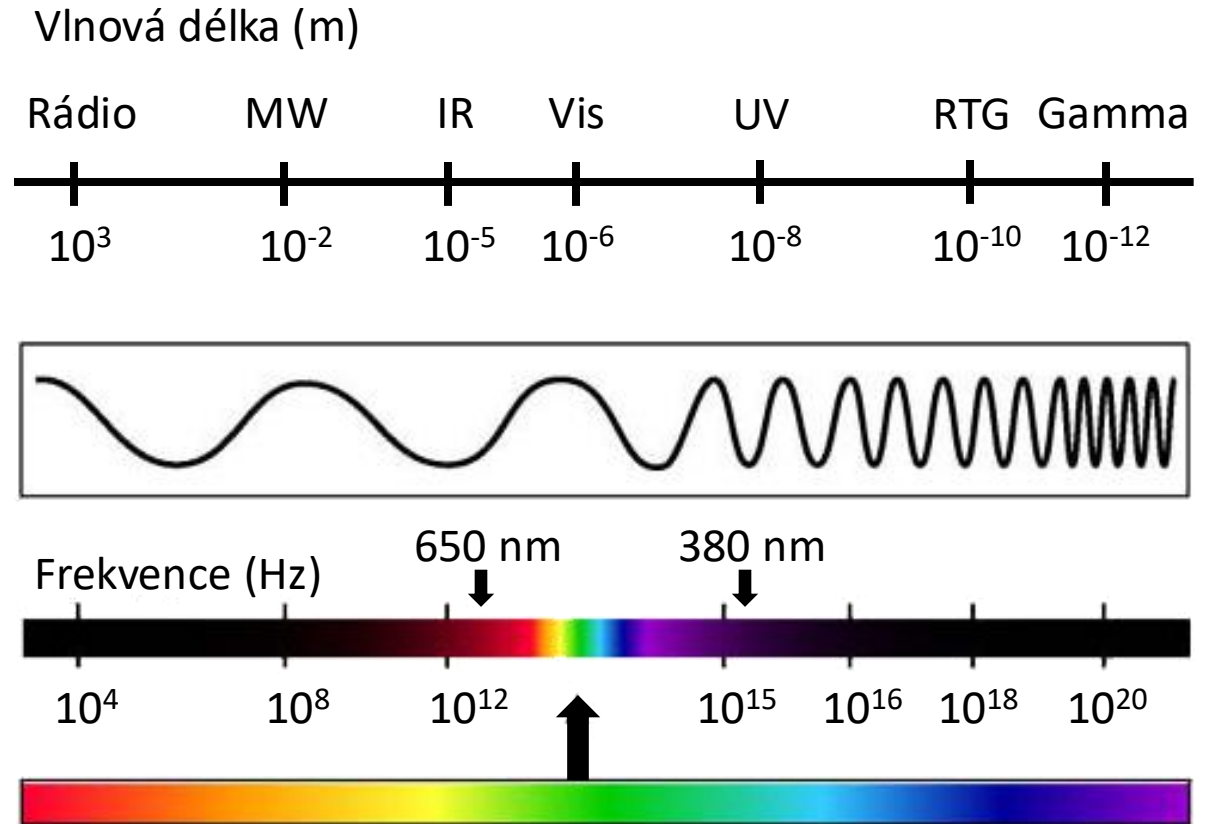
- Vlnová délka: 8 – 12 μm (LWIR)

- Vlnová délka: 3 – 5 μm (MWIR)

- Vlnová délka: 1 – 2 μm (SWIR)

- UV

- LIDAR



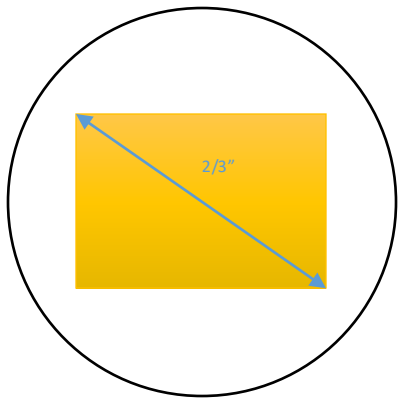
Druhy kamerových senzorů

- 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

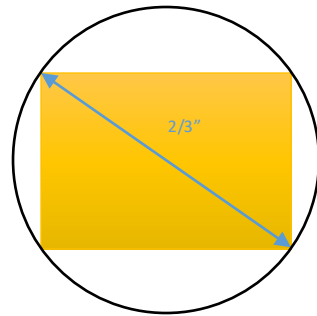
- Velikost senzoru je odvozena od velikosti pixelu
 - Větší pixely jsou lepší pro svoji citlivost
- Formát senzoru určuje vhodnost objektivu
- Historicky se používá 1" = 16 mm (*vidicon tube sensor*)

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



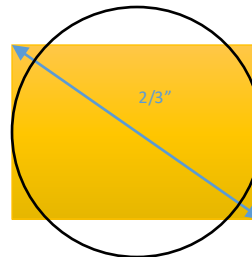
1 " objektiv
Dobré

Objektiv je
větší než
senzor



2/3 " objektiv
Akorát

Objektiv je
vhodný pro
senzor



1/2 " objektiv
Špatně

Objektiv je
menší než
senzor
(vinětače)

| 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

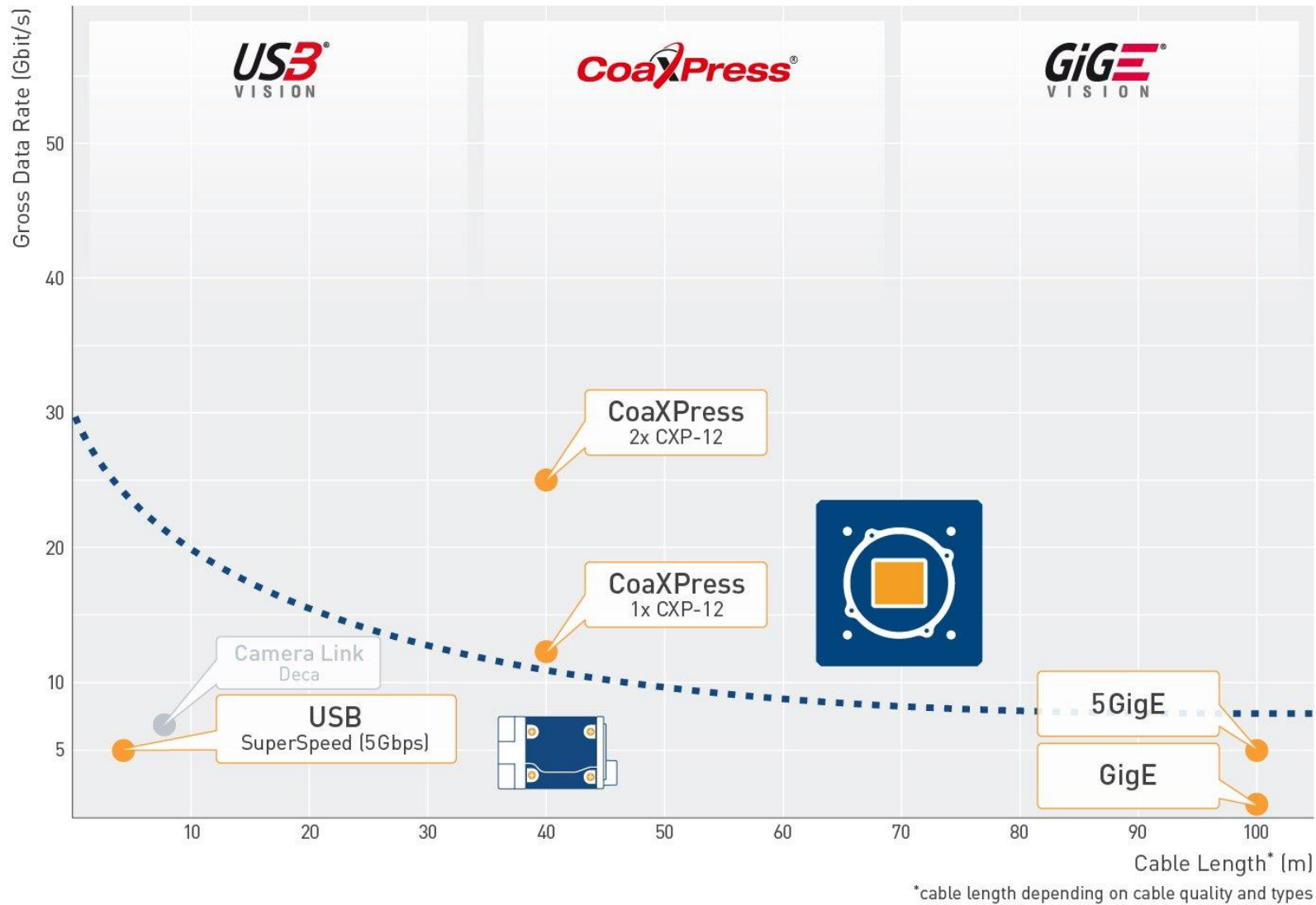
- Přenos na řádu metrů
- Snadné připojení
- Více kamer
- Dražší kabely, levné kamery

CoaXPress

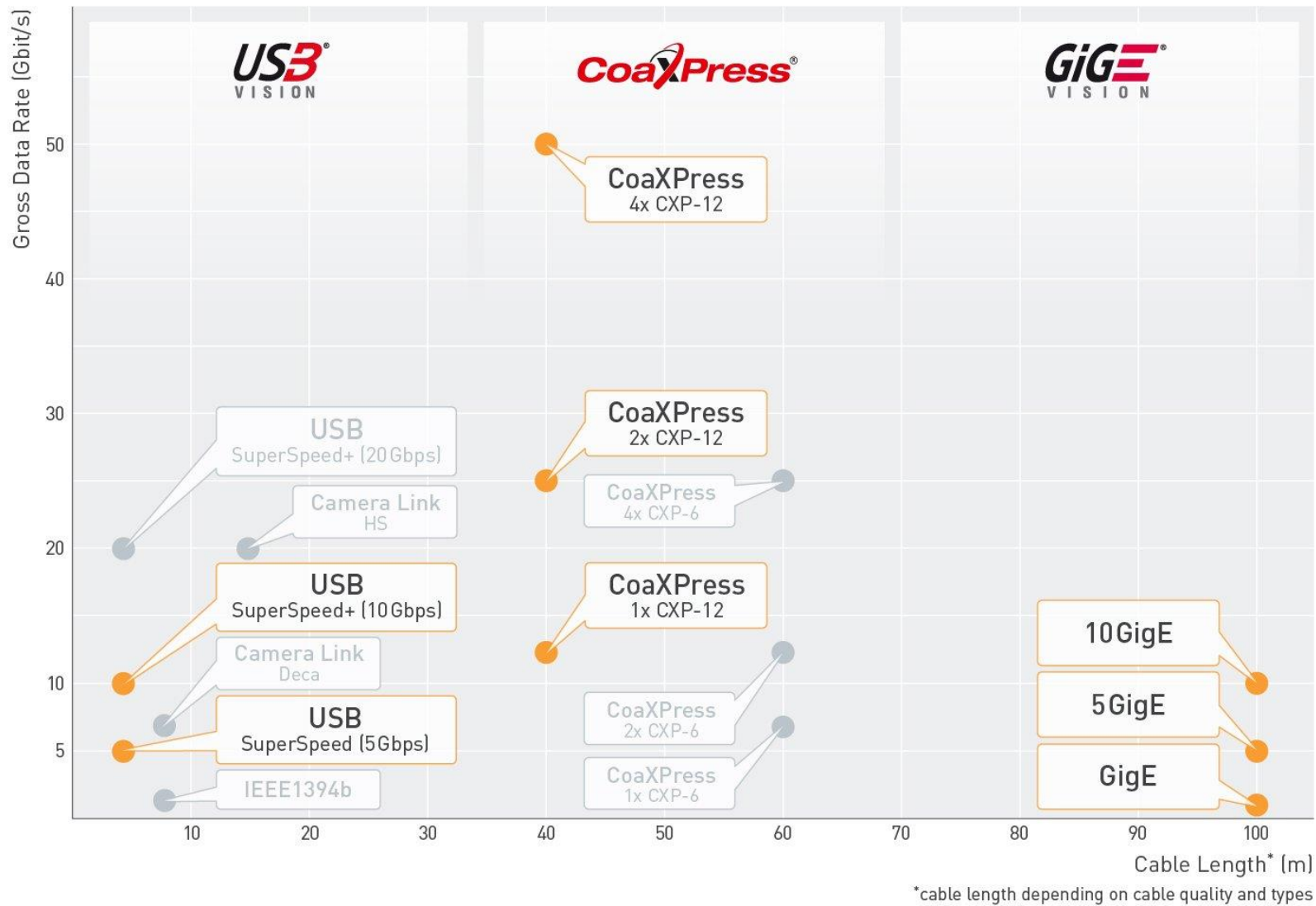
- Rychlost se řeší počtem kanálů
- Levné kabely, dražší kamery
- Zvláštní frame grabber



Druhy komunikačního rozhraní – aktuální



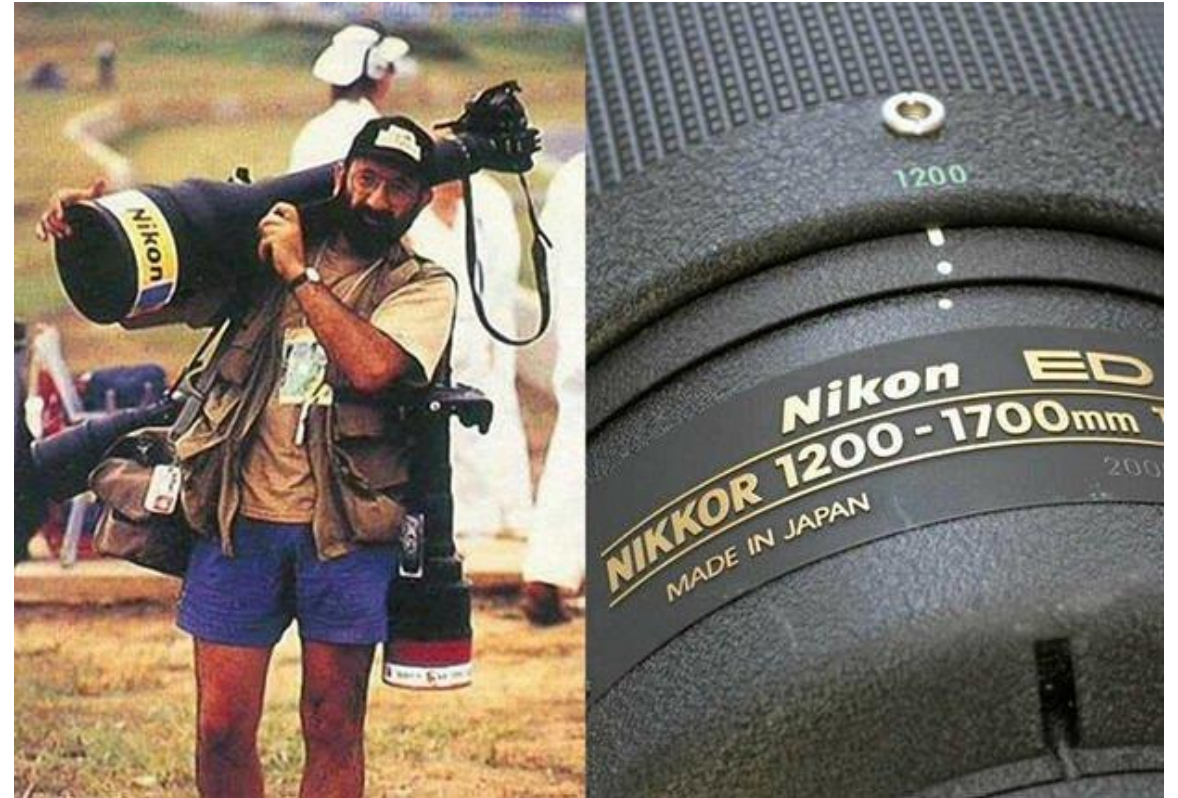
Druhy komunikačního rozhraní – výhled



Rozdíl mezi IP a průmyslovou kamerou

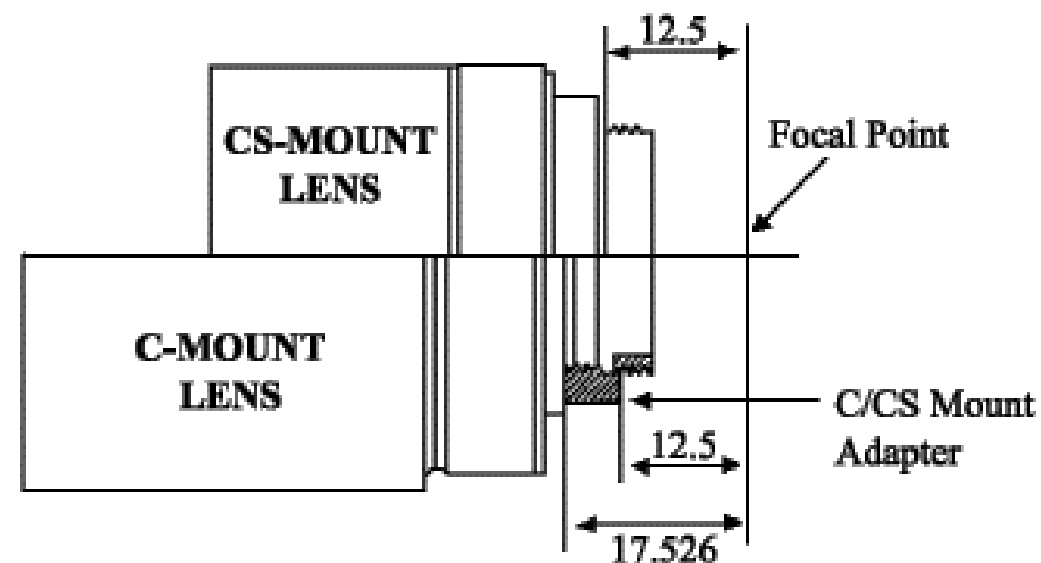
- IP kamera
 - Komprimovaný video záznam → nízký datový tok
 - Většinou bez důmyslného nastavení
 - Přístup přes webové rozhraní
- Průmyslová kamera
 - Nekomprimovaný video záznam → cílem je nasnímat co nejvyšší data pro pozdější zpracování
 - Nutnost promyslet snímané prostředí a nastavit několik parametrů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

Objektivy



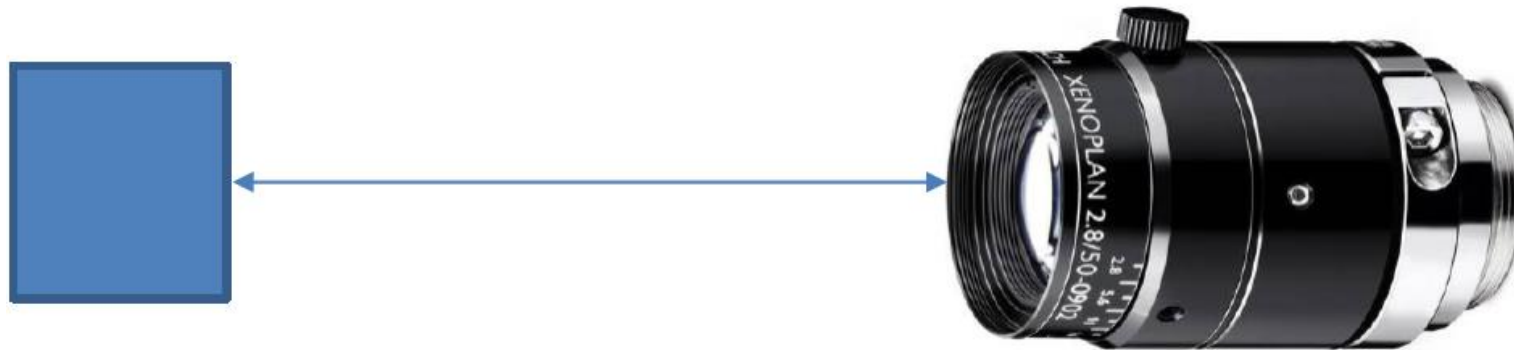
Objektivy – typ závitů na kameře

- C-mount
 - Hloubka 17,5 mm
- CS-mount
 - Hloubka 12,5 mm
- F-mount (Nikon)
 - Hloubka 46,5 mm
- Další závit: 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

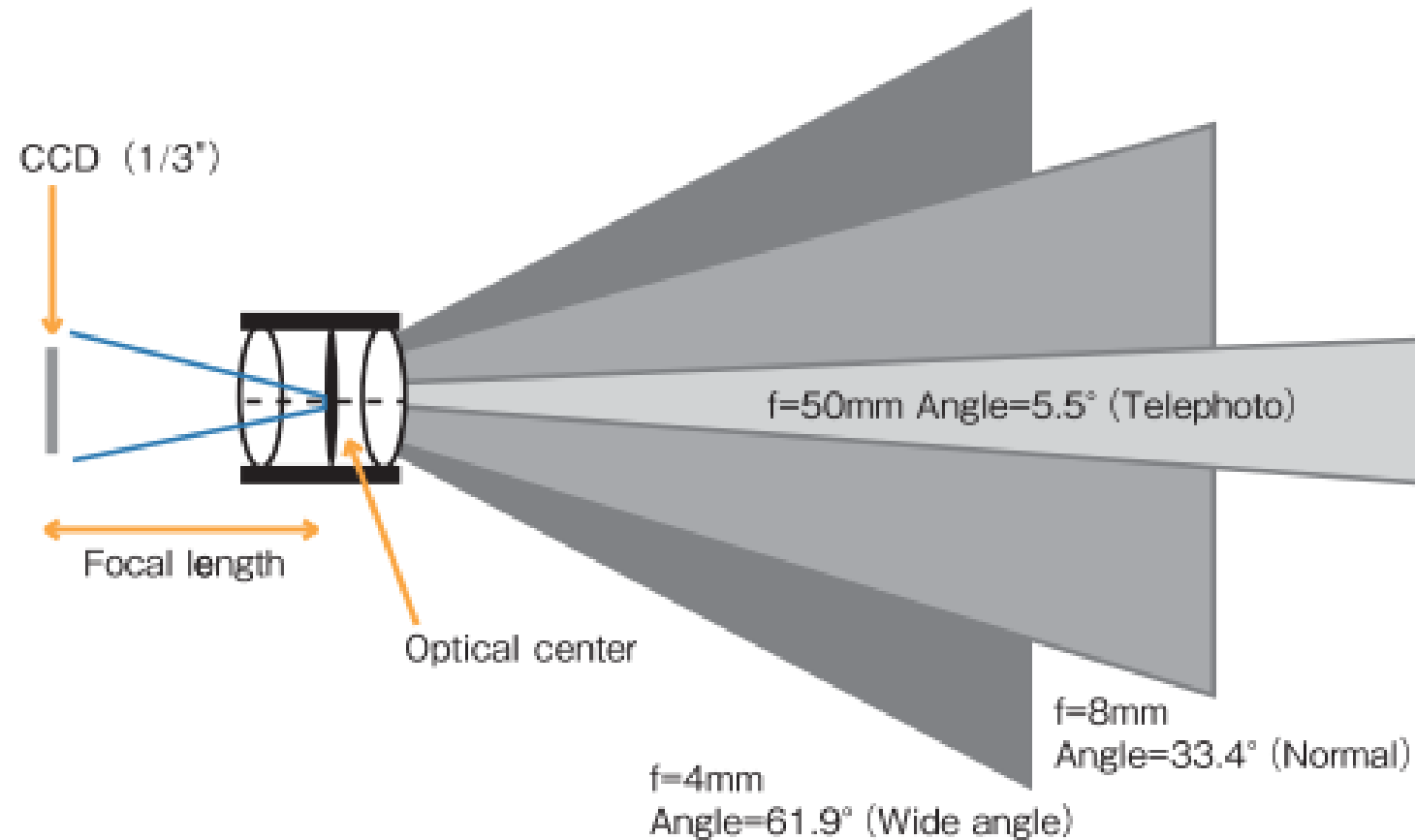
- Objektivy mívají závit pro připojení optického filtru
- Filtry se dají šroubovat na sebe
- Některé širokoúhlé objektivy s vypouklou čočkou nemají filtrový závit (řešeno adaptérem)
- Polarizační, pásmové, ...



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

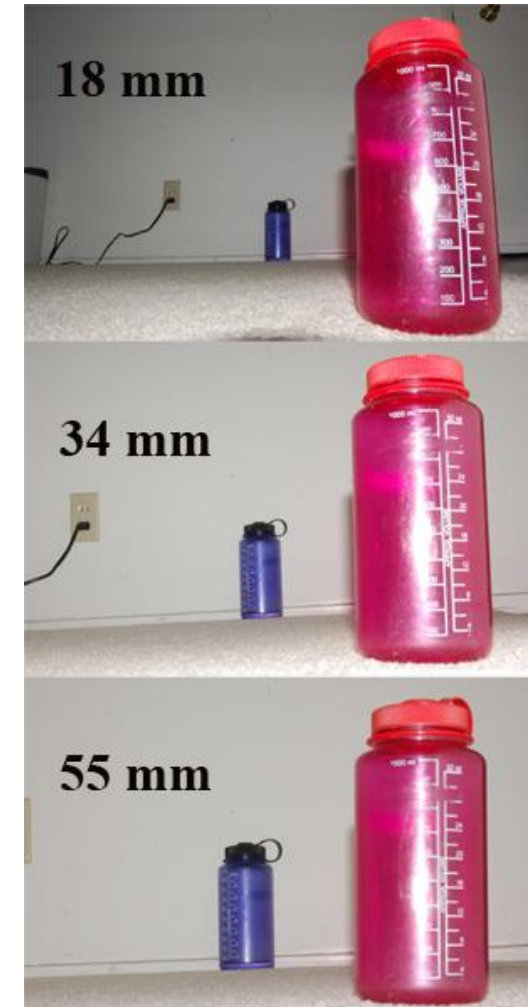


Objektivy – ohnisková vzdálenost

■ COMPARISON OF MONITORING IMAGES

※ Images on 1/3" camera

| Object distance 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)

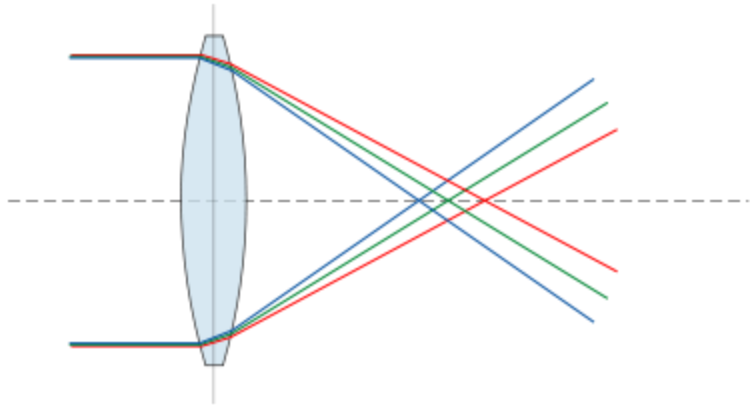
Vady optiky – vinětace

- 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 zacsuněním 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



f4

f5.6

f8

f11

f16

f22

f32

EF300/4L 300mm infinity focus

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?

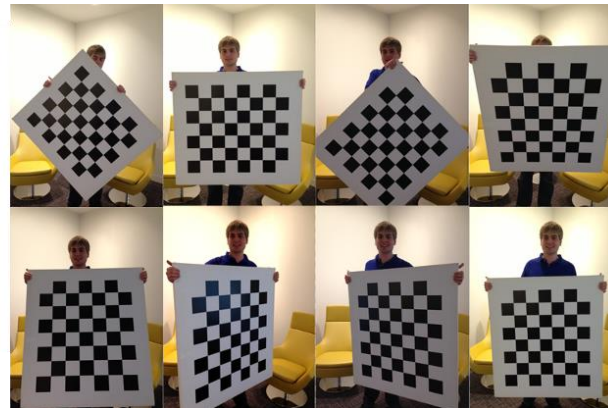
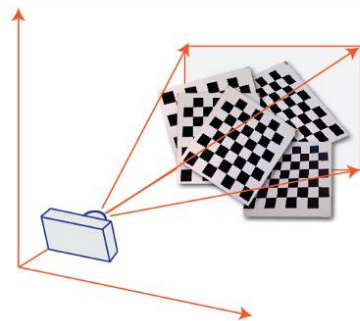


Original Photo

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, $r^2: x^2 + y^2$

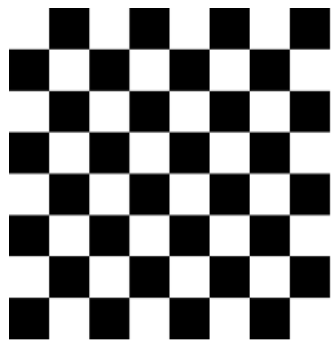
- Tangenciální

- Způsobeno nepřesnou centrací jednotlivých čoček vůči kamerovému snímači

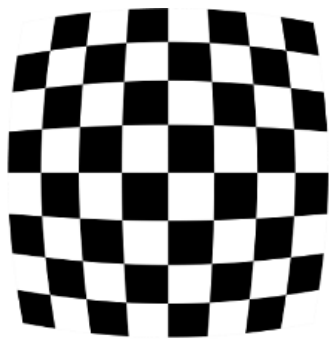
- $x_{\text{distorted}} = x + [2 * p_1 * x * y + p_2 * (r^2 + 2 * x^2)]$

- $y_{\text{distorted}} = y + [p_1 * (r^2 + 2 * y^2) + 2 * p_2 * x * y]$

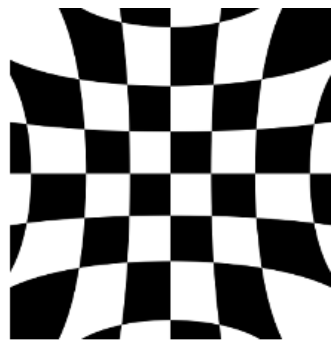
- x, y — souřadnice nezkreslených bodů, p_1, p_2 — koeficienty distorze, $r^2: x^2 + y^2$



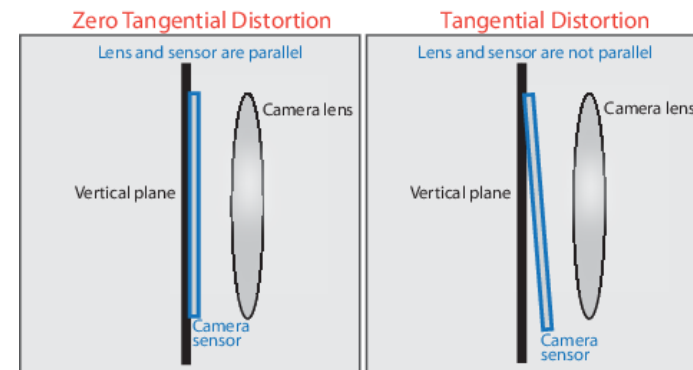
No distortion



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/3.1.0/dc/dbb/tutorial_py_calibration.html