

# Systemy strojového vidění

Jakub Müller, Tomáš Broum

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu  
Univerzitní 8, Plzeň, 306 14, Česká republika  
[mullerja@kp.v.zcu.cz](mailto:mullerja@kp.v.zcu.cz)  
[broum@kp.v.zcu.cz](mailto:broum@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** Strojové vidění využívá kameru nebo více kamer pro kontrolu a analýzu objektů automatickým způsobem. Data získána z kamery jsou zpracována v řídicím systému s možností automaticky adaptovat pohybovou úlohu. Tento článek se zaměřuje na jednotlivé systémy strojového vidění, kdy obsahuje určení správné definice, historie, typy kamer a trendy ve strojovém vidění.

## 1 Úvod

Roboti a kolaborativní roboti se postupně dostávají do všech odvětví výrobního průmyslu. Základní definicí kolaborativního robota: Robot, který může spolupracovat s člověkem bez bezpečnostního oplocení (klec). Tuto spolupráci umožňují čidla robota, která tak brání ve střetu s člověkem. Pro automatizaci kolaborativních robotů je zapotřebí „vidět“. Tuto technologie vidění poskytují systémy strojového vidění.

Strojové vidění využívá kameru nebo více kamer pro kontrolu a analýzu objektů automatickým způsobem. Data získána z kamery jsou zpracována v řídicím systému s možností automaticky adaptovat pohybovou úlohu. V budoucnosti mohou být tyto systémy v kombinaci s kolaborativními roboty plnou náhradou lidské pracovní síly.

Tento článek se zaměřuje na jednotlivé systémy strojového vidění, kdy obsahuje určení správné definice, historie, typy kamer a trendy ve strojovém vidění.

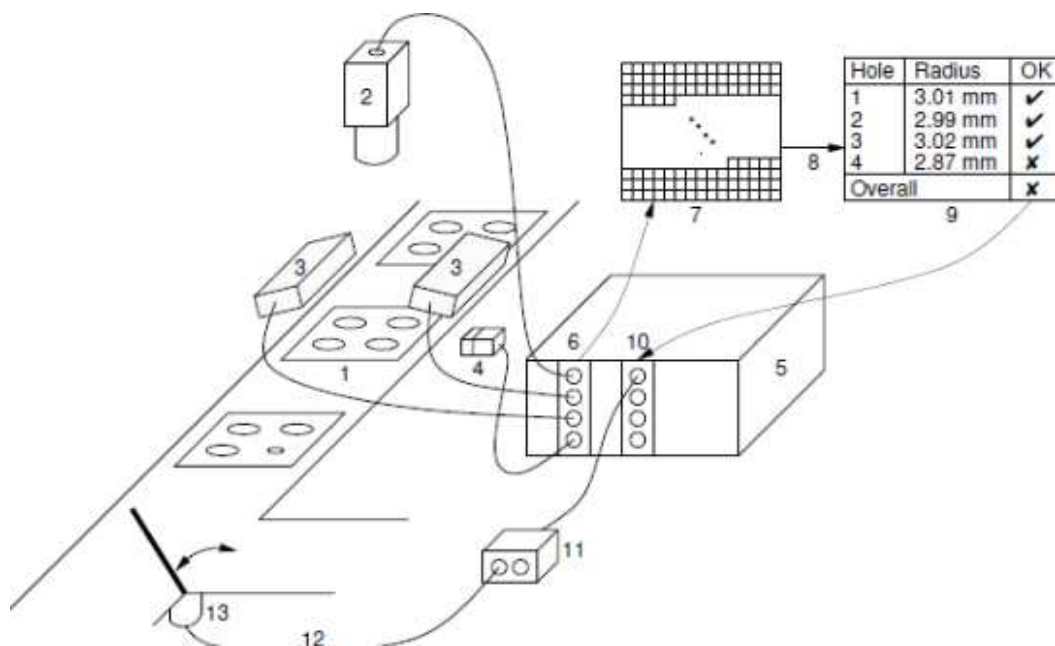
## 2 Definice systému strojového vidění

Tato kapitola se týká základního popisu a úvodu do strojového vidění. Strojové vidění pomáhá spolehlivě a důsledně řešit složité průmyslové úkoly.

Definice strojového vidění podle Automated Imaging Association zahrnuje všechny průmyslové i neprůmyslové aplikace, u kterých kombinace hardwaru a softwaru poskytuje zařízením provozní pokyny při provádění činností na základě snímání a zpracování obrazu. [1]

Definice podle Robotics Tomorrow: Strojové vidění je schopnost počítače vnímat prostředí. Používá se jedna nebo více kamer s analogově-digitálním převodem a digitálním zpracováním signálu. Obrazová data jsou odesílána do počítače nebo řídicí jednotky robota. [2]

Definice podle Techopedia: Systém strojového vidění je typ technologie, která umožňuje počítačovému zařízení kontrolovat, vyhodnocovat a identifikovat statické nebo pohyblivé obrazy. Jedná se o obor počítačového vidění a je dosti podobný sledovacím kamerám, ale poskytuje automatické snímání, vyhodnocování a schopnosti obrazu. Systém strojového vidění především umožňuje počítači rozpoznávat a vyhodnocovat obrazy. Je podobný technologii rozpoznávání hlasu, ale místo toho používá obrázky. Systém strojového vidění se obvykle skládá z digitálních kamer a hardwaru a softwaru pro zpracování obrazu. Kamera na předním konci snímá obrazy z prostředí nebo ze zaměřeného objektu a poté je odesílá do systému zpracování. V závislosti na konstrukci nebo potřebě systému strojového vidění se zachycené obrazy buď ukládají, nebo zpracovávají odpovídajícím způsobem. [3]

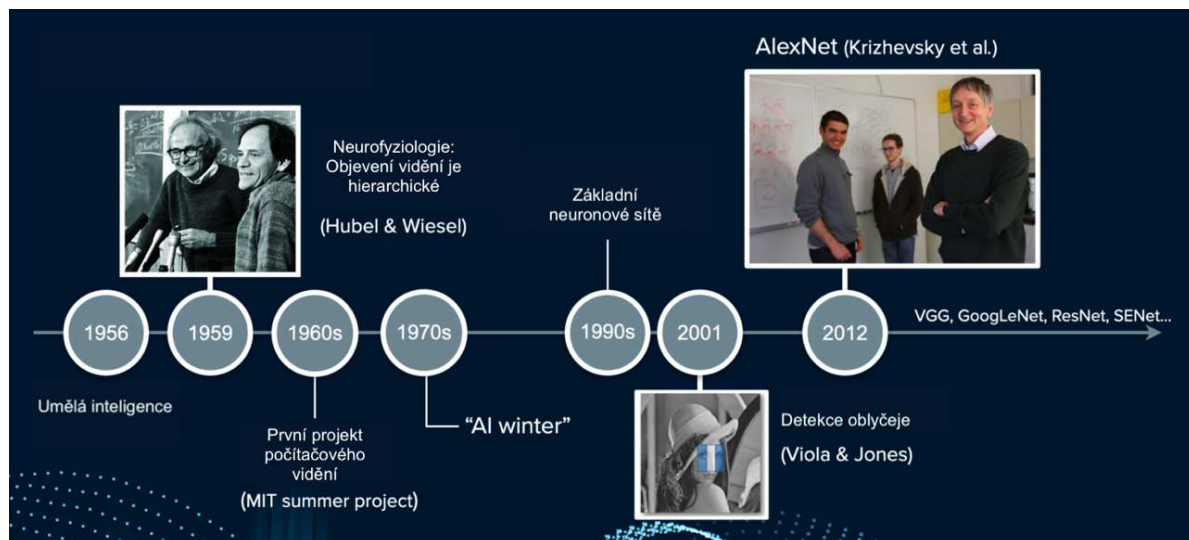


Obrázek 1 - Systém strojového vidění [4]

Na obrázku 1 lze vidět základní schéma systému strojového vidění. Obraz objektu (1) je pořízen kamerou (2). Objekt je osvětlen osvětlovačem (3) a pořízení obrazu spouští fotoelektrický spínač (4). Počítač (5) pořizuje obraz prostřednictvím rozhraní kamera-počítač (6). Fotoelektrický spínač je připojen ke snímacímu zařízení. Snímací zařízení spouští osvětlení. Ovladač zařízení sestaví obraz (7) v paměti počítače. Software strojového vidění (8) kontroluje objekty a vrací vyhodnocení objektů (9). Výsledek vyhodnocení je prostřednictvím digitálního rozhraní (10) sdělen PLC (11). PLC řídí pohon (13) prostřednictvím sběrnice rozhraní (12). [4]

### 3 Historie systémů strojového vidění

Počátky strojového vidění začaly v sedmdesátých letech dvacátého století. Výpočetní technika umožňovala práci s takovými objemy dat, které dokázaly nést obrazovou informaci. Obor dostal název „computer vision“. V dnešní době je tento název využíván obecně pro systémy, které pracují automaticky na základě informací získaných ze zpracování obrazu z kamery. V průmyslové výrobě se využívá termín „machine vision“ tedy strojové vidění. [1]



Obrázek 2 – Historie počítačového vidění [5]

Na obrázku 2 jsou uvedeny milníky historie strojového vidění. Termín umělá inteligence (artificial intelligence) byl prvně použitý na konferenci roku 1956. Velkým objevem bylo roku 1959 v neurofyziologii, že vidění je hierarchické. To znamená, že když vidíte nějaký objekt, vaše jednoduché buňky, které mají na starosti nízkou úroveň vizuálního zpracování, nejprve identifikují hrany nebo určí orientaci hran, a pak složitější buňky přijmou barvy a základní 2D tvary. Nakonec ještě složitější buňky budou provádět vizuální zpracování na vysoké úrovni, jako je rozpoznávání složitých rysů nebo integrace informací. Na základě těchto poznatků o hierarchii vidění plánovali vědci, kteří toužili realizovat umělou inteligenci, vytvořit tento mechanismus v digitální podobě, aby mohli robotům poskytnout "vidění" (ve skutečnosti velmi náročný úkol). [5]

„Letní projekt“ byl první projekt počítačového vidění pro studenty prvního ročníku na MIT v roce 1966. Cílem bylo připojit kameru k počítači a nechat počítač popsat, co „vidí“, ale tento projekt byl bez úspěchu. „Zlatý věk“, probíhající v 50. – 70. letech přinesl plno konceptů umělé inteligence a vytvořil ve veřejnosti velká očekávání, avšak očekávání se nenaplnila. V 70. letech přišel útlum umělé inteligence zapříčiněný nedostatkem finančních i technických prostředků. Navzdory pomalému postupu výzkumu byly na přelomu 80. a 90. let vyvinuty základní neuronové sítě. V roce 2001 navrhli Viola & Jones detekci obličejů. [5]

## 4 Základní kategorie systémů strojového vidění

Rozdělujeme čtyři kategorie systémů strojového vidění. Většinou je možné použít různou výpočetní techniku a jednotlivé části různě kombinovat. Každá ze čtyř skupin rozdělení systémů strojového vidění se zaměřuje na určitou skupinu úloh.

### 4.1 Kamerový senzor

Využívá se jako nejjednodušší prostředek strojového vidění, jelikož snímá pomocí kamery (Obrázek 3). Systém bývá integrován do jednoho pouzdra. Tento typ má omezený digitální počet vstupů a výstupů. Standardní tranzistorové výstupy PNP nebo NPN, které obsahují ochranu proti přepólování. Tento systém strojového vidění slouží k vytvoření velmi snadného systému pro použití, což znamená i některá omezení systému (softwarová, komunikační, použití a I/O). [6]



Obrázek 3 - Kamerový senzor [7]

### 4.2 Inteligentní kamera

Inteligentní kamera je kompletní systém strojového vidění. Inteligentní kamera obsahuje jak vlastní kameru, tak i jednočipový mikropočítač, který slouží jako vyhodnocovací jednotka (Obrázek 4). Program se ukládá do paměti typu flash (rychlejší ukládání). Trendem u inteligentních kamer je jejich miniaturizace, která nutí výrobce ustupovat od standardů. Pro digitální vstupy a výstupy se využívají PNP, NPN nebo TTL (Transistor-Transistor logic), které pro připojení k výrobnímu procesu potřebují ještě galvanicky oddělený převodník úrovní.

Jako komunikační zařízení se využívá klasický počítač (MMI - Man machine interface), který umožňuje kameru programovat. Pokud MMI tedy počítač zobrazuje obraz snímaný kamerou v reálném čase vede to k lepšímu vývoji dané úlohy. Inteligentní kamery patří k jednomu z nejpoužívanějších způsobů a jejich nabídka stále roste. [6]



Obrázek 4 - Inteligentní kamera [8]

### 4.3 PC systémy

PC systémy využívají místo vyhodnocovací jednotky operační systém (Obrázek 5). Tento systém umožňuje připojení více kamer. Výkon zařízení se určuje pořízeným počítačem. Zásuvné karty slouží pro přidání vstupů a výstupů. Pro využití PC systému jako systému strojového vidění je zapotřebí speciální aplikace. Aplikace poté musí být kompatibilní se zásuvnými kartami, většinou se prodává celé v jednom balíčku. Systém PC stál na počátku systémového vidění, avšak v posledních letech začíná ustupovat inteligentním kamerám je tomu kvůli tomu, že inteligentní kamery mají podobný výkon jako počítač. [6]





Obrázek 5 - PC systém [9]

#### 4.4 Zákaznické systémy

Jak už lze vidět z názvu do této kategorie patří systémy dělané na míru. Většinou jsou tyto systémy vyžadovány na místech, kde je zapotřebí vysoké rychlosti, speciálních algoritmů nebo speciálních kamer. Tento systém nelze porovnávat s předešlými systémy, jelikož zde si přistupuje k úplné podřízenosti požadavků zákazníka. [6]

#### 4.5 Výhody a nevýhody jednotlivých systémů

Krátké shrnutí jednotlivých systémů s uvedenými výhodami a nevýhodami (Obrázek 6). Nejjednodušší a nejlevnější systém je kamerový senzor. Nejvíce univerzální systém je z hlediska výkonnosti, ceny, dostupnosti a funkčnosti inteligentní kamera.

<b>Kamerový senzor</b>	kompaktnost, zjednodušený hardware, omezené softwarové nástroje, omezené I/O, omezené komunikační možnosti, omezená třída použití, nižší cena
<b>Inteligentní kamera</b>	kompaktnost, výkonný mikroprocesor, univerzální softwarové nástroje, více I/O, vyšší komunikační možnosti, široké možnosti použití, vyšší cena
<b>PC systém</b>	modularita, možnost více kamer, výkonný hardware PC, možnosti rozšíření, univerzální softwarové nástroje, široké komunikační možnosti, široké možnosti využití, vyšší cena
<b>Zákaznický systém</b>	nepatří do žádné z předchozích tříd, úplná podřízenost požadavkům zákazníka, speciální použití, vysoká cena

Obrázek 6 - Porovnání hardware [6]

## 5 Kamerové systémy – senzory a parametry

Tato kapitola se soustředí na uvedení základních parametrů kamerových systémů a jednotlivých typů kamerových senzorů.

### 5.1 Parametry kamerových systémů

Dvěma důležitými parametry každého systému strojového vidění jsou citlivost a rozlišení. Citlivost je schopnost přístroje vidět při slabém světle nebo detekovat slabé impulsy na neviditelných vlnových délkách. Rozlišení je míra, do jaké je stroj schopen rozlišit jednotlivé objekty. Čím lepší je rozlišení, tím užší je zorné pole. Citlivost a rozlišovací schopnost jsou vzájemně závislé. Při zachování všech ostatních faktorů platí, že zvýšení citlivosti snižuje rozlišovací schopnost a zlepšení rozlišovací schopnosti snižuje citlivost. [10]

#### Světelná citlivost

Světelná citlivost se udává v Luxech (Lx). Každá kamera má svoje limity, za kterých je schopna snímat obraz. Příklady intenzity světla v Lx: obývací pokoj (50), kancelář (150), nákupní centrum (1000) a odpolední slunce (100000).

#### Rozlišení

Rozlišení u analogových kamer je omezení možnostmi obrazového formátu PAL (Phase alternate line), což je rozlišení 704 x 576 obrazových bodů. IP (Síťová kamera) kamery jsou plně digitální a jejich rozlišení je omezeno v podstatě jen možnostmi použité technologie. Nejpoužívanější rozlišení u IP kamer je Full HD (High Definiton). Jedná se o kamery s rozlišením 1920 x 1080 pixelů. Toto rozlišení již umožňuje sledování detailů při využívání digitálního zoomu (přiblížení). Dalším rozlišením je HD, které má 1280 x 720 pixelů. [11]

Dalšími parametry kamerových systémů jsou: [11]

- Senzory
- IR přísvit – infračervené světlo pro noční přisvícení snímaných prostor
- Den/Noc – funkce barevných kamer, které dokážou přepnout do černobílého módu (noční mód)
- Defog – nástroj pro digitální potlačení nepříznivých vlivů počasí
- Napájení kamer
- Automatické vyrovnání bílé – správné vyobrazení (změna barevné teploty osvětlení)
- Automatická elektronická uzávěrka – rychlost senzoru v závislosti na osvětlení scény
- Automatické nastavení zesílení – elektronický obvod, který udržuje konstantní úroveň výstupního signálu

- Redukce šumu – redukční filtr, který odstraňuje šum z obrazu
- Kompenzace vlivu protisvětla – eliminuje silné zdroje protisvětla (např. světlomety automobilů)
- Detekce pohybu – umístění detekčních okének v obrazu
- Maskování privátních zón – neprůhledná pole v obrazu
- Rybí oko – širokoúhlý objektiv
- Objektiv – parametry objektivů:
  - Fixní, Ohnisková vzdálenost, Clona, Hloubka ostrosti a Optický a digitální zoom

## 5.2 Kamerové senzory

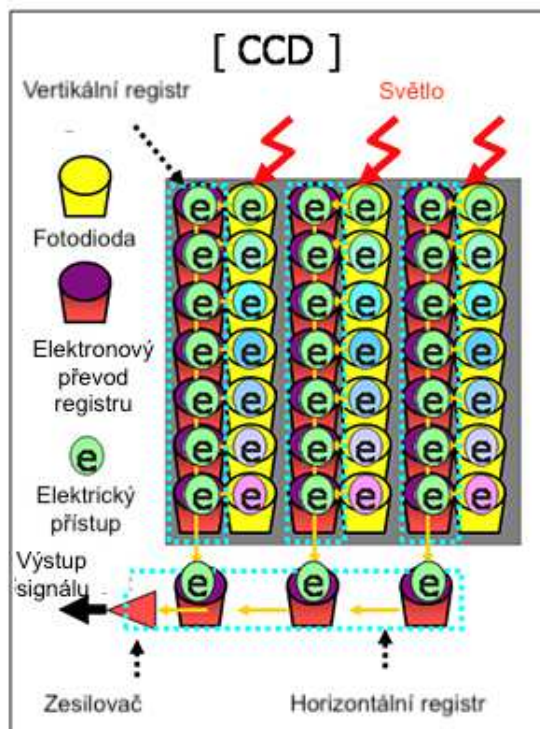
Účelem kamery je vytvořit obraz ze světla, které objektiv soustředí do obrazové roviny. Nejdůležitější částí je digitální snímač. Máme dvě hlavní technologie snímačů: CCD (Charge coupled device) a CMOS (Complementary metal oxide semiconductor). CMOS a CCD jsou polovodičová zařízení, která slouží jako „elektronické oči“. Liší se způsobem čtení signálu. [4]

### CCD senzor

CCD snímače jsou složité elektronické součástky, které se skládají z několika polí polovodičových prvků citlivých na světlo. V jednoduchosti CCD senzory fungují jako soustava kondenzátorů, z nichž každý nese elektrický náboj odpovídající intenzitě světla pixelu. Řídící obvod způsobí, že každý kondenzátor přeneseme svůj obsah na sousední kondenzátor. Poslední kondenzátor v poli odevzdá svůj náboj do nábojového zesilovače. Tento systém se nazývá „kbelíkový způsob přenosu dat“ (Obrázek 7). [4]

CCD senzory mají čtyři základní technologie čtení: Line sensor, Full frame array sensor, Frame transfer sensor a Interline transfer sensor. Mezi nejpoužívanější technologie z těchto čtyř patří Frame transfer a Interline transfer sensor.





Obrázek 7 - CCD senzor [12]

Výhody:

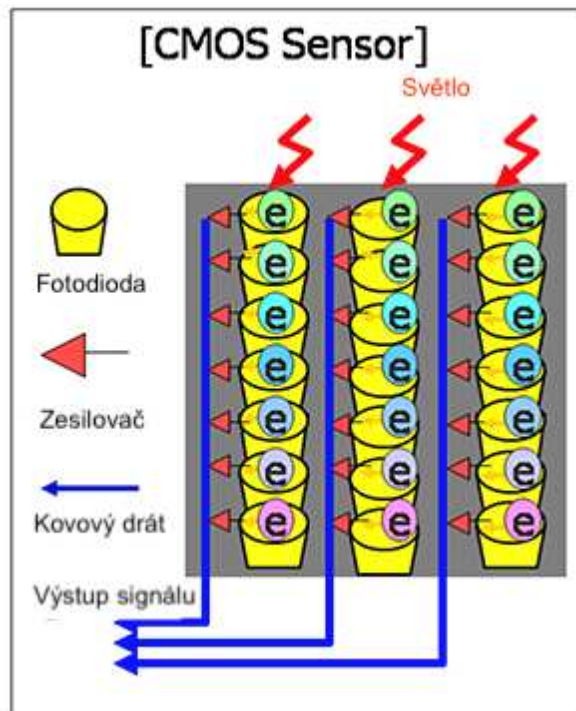
- Vyšší citlivost a nižší šum díky lepšímu využití povrchu
- Jednodušší struktura → méně vadných pixelů
- Lepší homogenita obrazu díky centrálnímu A/D (analogový → digitální) převodníku

Nevýhody:

- Pomalejší čtení, digitalizuje pouze jeden centrální A/D převodník
- Není možný přímý přístup k pixelům, protože musí být načítán sériově
- Složitější uspořádání kamery → dražší kamery
- Vyšší spotřeba energie celé kamery
- Větší rozmazání a blooming efekt (kolem světlých zdrojů vznikají flíčky) při přeexponování ve srovnání s CMOS [13]

### CMOS senzor

CMOS má pro každý pixel fotodiodu a tranzistorový spínač, což umožňuje zesilovat signály pixelů samostatně. Ovládáním matice přepínačů lze k signálům pixelů přistupovat přímo nebo postupně, a to mnohem vyšší rychlostí než snímače CCD. Zesilovač pro každý pixel snižuje šum, který vzniká při čtení elektrických signálů převedených ze zachyceného světla (Obrázek 8). [4]



Obrázek 8 - CMOS senzor [12]

Výhody:

- Výrazně nižší spotřeba energie
- Menší velikost fotoaparátu
- Velmi vysoká snímková frekvence ve srovnání s CCD ve stejné velikosti
- Flexibilní čtení díky přímému adresování jednotlivých pixelů
- Výrazně omezený blooming
- Vyšší citlivost v oblasti NIR (blízké infračervené záření)

Nevýhody:

- Větší rozdíly v citlivosti jednotlivých pixel v závislosti na výrobní toleranci
- Výrazně nižší fill factor (poměr světlocitlivé plochy k celé ploše pixelů) [14]

## 6 Moderní trendy v oblasti strojového vidění

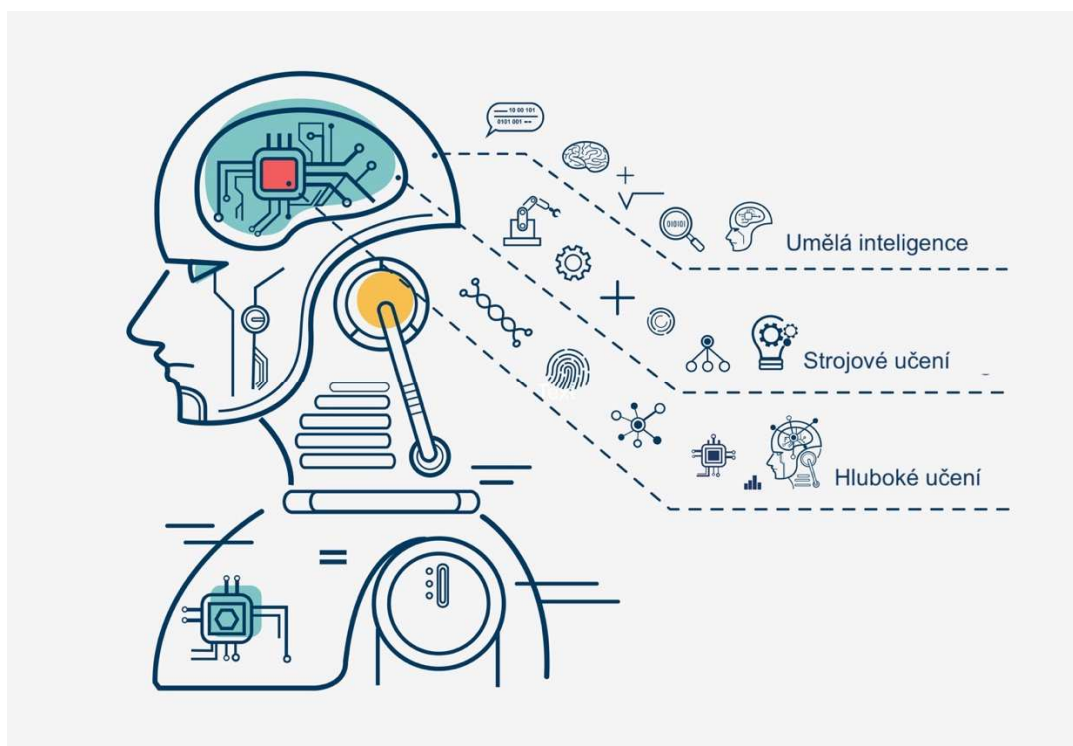
Technologický pokrok v oblasti strojového vidění pokračuje velmi rychle a otevírá stále více možností. Jako každá průmyslová inovace začalo být strojové vidění rozvíjeno, teprve až když došlo k souběhu poptávky s možnostmi technické realizace.

## 6.1 Neviditelné zobrazování

Neviditelné zobrazování zahrnuje termální vidění a dlouhovlnné infračervené vidění. Tento typ strojového vidění se stává dostupnější a levnější pro zákazníky díky mnohostrannému využití. [15]

## 6.2 Hluboké učení

Hluboké učení ve spojení s umělou inteligencí a strojovým učením umožňuje strojovému vidění strojů se automaticky přizpůsobit různým typům výrobních situací (Obrázek 9). Hluboké učení se využívá především u kontrolních systémů. Dalším využitím hlubokého učení jsou překladače jazyků a virtuální asistenti (Siri, Alexa, ...). [15], [16]



Obrázek 9 - Umělá inteligence, Strojové učení a Hluboké učení [18]

## 6.3 3D zobrazování

3D zobrazování se využívá v několika průmyslových odvětvích např. navádění robotů a detekce povrchů. Také nabízí výrobním odvětvím inovativní způsob, jak zlepšit logistiku a snížit náklady v rámci dodavatelského řetězce. [15], [17]

Základní metody:

- Laserová triangulace
- Geometrický proces stereovidění
- Projekce světelných pruhů
- Stínování pomocí tvaru

- Interferometrie bílým světlem

Laserová triangulace sonduje objekt čárovým laserem, čímž vytváří přesnou světelnou čáru, kterou objekt prochází. Kamera je umístěna pod přesným úhlem k laserovému zářiči a zaznamenává odchylky laserové linie podle geometrie objektu. To umožňuje měřit odchylky laserových linií v libovolném okamžiku. Během měření odchylek se vytváří řada profilů, z nichž se vytvoří trojrozměrný obraz. Odchylku od nedeformovaného laserového paprsku použijeme pro určení výšky objektu.

Geometrický proces stereoidění je založen na použití dvou kamer. Dvě kamery se používají podobně jako je funkce očí u člověka. Pomocí techniky triangulace je pak možné ze dvou 2D snímků vypočítat trojrozměrný obraz. [19]

Na triangulační metodě je také založena projekce světelných pruhů. U této metody se na rozdíl od laserové triangulace nebo stereoidění vyžaduje 3D zpracování objektu pouze pro statické objekty.

Stínování pomocí tvaru je další metodou 3D zobrazování. Kamera pořídí tři nebo čtyři snímky povrchu v odstínech šedi při osvětlení z různých prostorových směrů. V závislosti na rozdílech mezi hodnotami šedi (stínování) lze vypočítat obrazy povrchu odrážející prostorovou strukturu i texturu. Tato technika se používá především pro kontrolu povrchu, jelikož nedokáže určit přesné hodnoty výšky. Informace o sklonu je první prostorová derivace výšky a zakřivení je druhá prostorová derivace výšky.

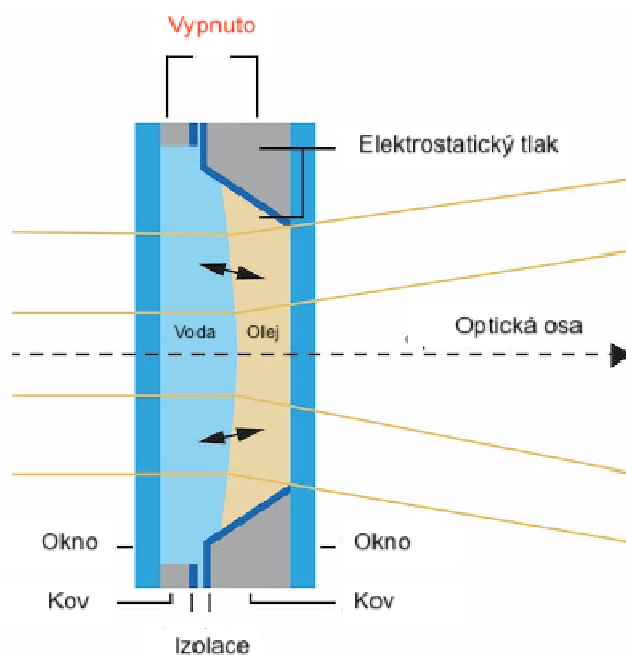
Při interferometrii bílým světlem je objekt osvětlen bílým světlem. Rozdělovač paprsků rozdělí paprsek na referenční (odražený od referenčního zrcadla) a na objektový paprsek (dopadá na objekt). Oba světelné paprsky se poté odrazí a opět kolimují v monochromatické kameře. Vertikální snímání objektu poskytuje 2D interferogram, který je základem pro výpočet 3D obrazu. [19]

Dalšími metodami jsou:

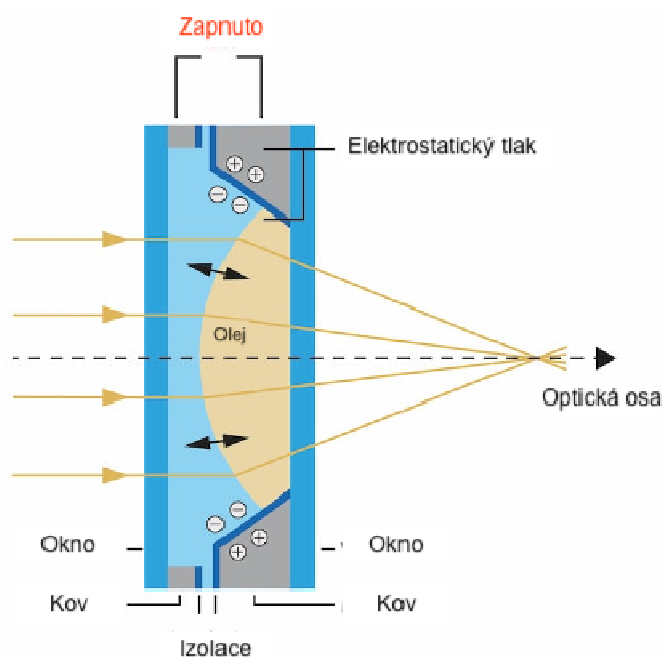
- Kamery s časem letu
- Formáty obrázků [19]

## 6.4 Tekuté čočky

Technologie tekutých čoček se rychle zavádí do technologie strojového vidění, aby se zlepšila jasnost vidění a rychlost zobrazování. Tekuté čočky umožňují okamžité změny zaostření vyvolané změnou napětí nebo výkonu (Obrázek 10 a Obrázek 11). [15]



Obrázek 10 - Tekuté čočky – Vypnuto [20]



Obrázek 11 - Tekuté čočky – Zapnuto [20]

## 7 Závěr

V článku byly popsány systémy strojového vidění. Na začátku byly zvoleny různé definice strojového vidění, krátký úvod do historie, základní systémy a jejich výhody/nevýhody. Nutností bylo i popsání základních parametrů systémů strojového vidění a senzorů kamer (CMOS a CCD). Závěrem kapitoly bylo uvedení trendů ve strojovém vidění jako je například hluboké učení.

## Poděkování

Příspěvek byl vytvořen za podpory projektu SGS-2021-028 s názvem "Vývojové a tréninkové prostředky pro interakci člověka a kyber-fyzického výrobního systému" řešeného v rámci Interní grantové agentury Západočeské univerzity v Plzni.

## Použitá literatura

- [1] COGNEX. COGNEX [online]. [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/what-is-machine-vision>
- [2] CALDERONE, Len. *Robotics Tomorrow* [online]. 2019 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.roboticstomorrow.com/article/2019/12/what-is-machine-vision/14548>
- [3] *Techopedia* [online]. [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/30414/machine-vision-system-mvs>
- [4] STEGER, Carsten, Markus ULRICH a Christian WIEDEMANN. *Machine Vision Algorithms and Applications*. 2nd. 2018. ISBN 978-3-527-41365-2.
- [5] HUANG, Katie. *Katie Huang* [online]. [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://katiehuang1221.medium.com/an-introduction-to-computer-vision-131826e2b512>
- [6] HAVLE, Otto. *Strojové vidění I: Principy a charakteristiky*. AUTOMATA. 2008.
- [7] *Kamerové senzory*. Keyence [online]. [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/vision-sensor/>
- [8] *Strojové vidění*. BR-Automation [online]. [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/strojove-videni/>
- [9] *C&T Solution* [online]. [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: [http://www.candtsolution.com/en/Promo/2018/VCO\\_6000/](http://www.candtsolution.com/en/Promo/2018/VCO_6000/)
- [10] HOTAŘ, Vlastimil. *Úvod do problematiky strojového vidění*. Liberec: Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [11] *Elektronické systémy* [online]. [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <http://www.elektronicke-systemy.cz/technicke-parametry-kamerovych-systemu>
- [12] HÁJEK, Martin. *Foto Fokus* [online]. 2018 [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://fotofokus.cz/2018/02/digitalni-snimace-typy/>
- [13] *Vision Doctor* [online]. [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.vision-doctor.com/en/camera-technology-basics/ccd-sensors.html>
- [14] *Vision Doctor* [online]. [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.vision-doctor.com/en/camera-technology-basics/cmos-sensors.html>
- [15] INTEGRO. *Integro Technologies* [online]. [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://www.integro-tech.com/5-machine-vision-innovations-to-expect-in-2021/>



- [16] MALEGA, P., GAZDA, V., RUDY, V. Optimization of production system in Plant Simulation. *SIMULATION-TRANSACTIONS OF THE SOCIETY FOR MODELING AND SIMULATION INTERNATIONAL*. 2021, AUG 2021, doi:10.1177/00375497211038908, ISSN: 0037-5497.
- [17] KOCISKO, M., POLLÁK, M. and KUNDRÍK, J., Use of a 3D Model for Automatic Generation of Template Matching Algorithms. *TEM Journal*. 2021, pp. 1363–1369, doi: 10.18421/TEM103-45, ISSN 2217-8309.
- [18] ATRIA. *Atria Innovation* [online]. [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://www.atriainnovation.com/en/machine-learning-in-industry/>
- [19] 3D machine vision – technical basics and challenges. STEMMER [online]. [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://www.stemmer-imaging.com/en/knowledge-base/3d-machine-vision/>
- [20] SPARKS, Robert. *OpticsMag* [online]. 2021 [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://opticsmag.com/what-is-liquid-lens-technology/>