

STROJOVÉ VIDENIE

Michal Smolinský

Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology

Institute of Automation and Computer Science

Technická 2896/2, Brno 616 69, Czech Republic

209123@vutbr.cz

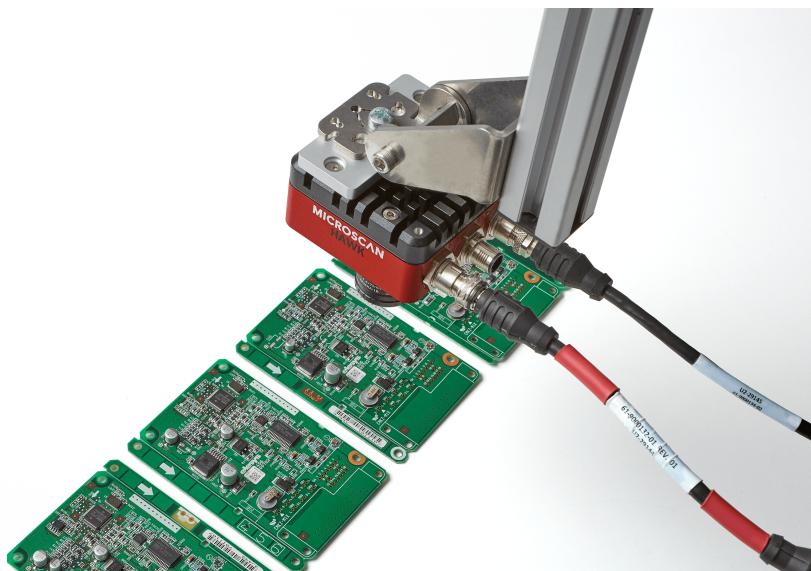
Abstract: Cieľom tejto semestrálnej práce je prezentovať základné princípy strojového videnia, ako jedného z hlavných pilierov konceptu Industry 4.0. V úvode práce sú predstavené výhody, vyplývajúce z použitia strojového videnia, a rovnako sú uvedené typické aplikácie týchto systémov. Po tejto časti je pozornosť upriamená na jednotlivé prvky systémov videnia, a to vrátane techniky osvetlenia, ktorej je venovaná následujúca, samostatná sekcia. Spoločnostiam, dodávajúcim systémy strojového videnia, je vyhradená posledná časť tejto práce, v ktorej sú mimo stručný popis vybraných výrobcov uvedené tiež niektoré ich konkrétné produkty, ponúkané na súčasnom trhu.

Keywords: strojové videnie, priemyselné videnie, Industry 4.0, optický systém, kamerové systémy, smart kamera

1 Úvod

Obraz, či už priamo zachytený naším zrakom alebo vo forme fotogafie, je jedným z najbohatších zdrojov informácií z okolitého sveta, ktoré má človek alebo zvierajú k dispozícii. Rovnako s výhodou túto skutočnosť využívajú aj systémy strojového videnia (ang. *machine vision systems*), ktoré sú vo svete automatizácie čoraz rozšírenejšie.[16]

Popri robotike, umelej inteligencii, strojovom učení a iných technológiách patrí strojové videnie medzi nepostrádateľné súčasti konceptu Industry 4.0. Tento pojem, označujúci štvrtú priemyselnú revolúciu, pomáha prispievať k celkovému zlepšeniu výrobného procesu, pričom dôraz je kladený na zvýšenie produktivity a zníženie prevádzkových nákladov. Jednou zo stratégii, ako tieto zámery dosiahnuť a zároveň vyhovieť neustálé sa zvyšujúcim požiadavkám zákazníkov je preto použitie práve strojového videnia, ktoré v priemysle dokáže zastávať radu všestranných úloh, ako kontrolu materiálu, rozpoznávanie objektov, počítanie zaznamenaných výrobkov alebo analýzu elektronických súčiastok (Obr. 1). Spoluexistencia tejto technológie s ostatnými prvками Industry 4.0 umožňuje tiež vznik tovární, označovaných ako *smart factories*, využívajúcich zozbierané a zhromaždené dátá k zníženiu množstva výrobného odpadu alebo k optimalizácii jednotlivých procesov. [8]



Obr. 1: Kontrola dosiek plošných spojov pomocou strojového videnia [6]

Mimo zníženia nárokov na personál, čo bolo prvou zrejmou výhodou po nasadení systémov videnia, sa medzi pozorované prínosy čoskoro zaradila zvýšená bezpečnosť alebo flexibilita. Zrýchlením výrobných liniek, s ktorými bolo doposiaľ nutné udržiavať ľudské tempo, sa rovnako dosahuje zvýšenie produktivity, pričom sa vďaka presnosti systému súčasne dosahuje vyššej kvality a spoľahlivosti. Tieto vlastnosti preto dovoľujú použitie strojového videnia v aplikáciách, ktoré vyžadujú schopnosti, človekom často nedosiahnutelné.[16]

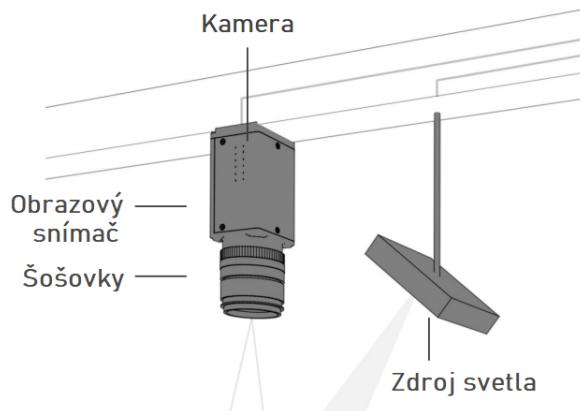


Obr. 2: Systém strojového videnia pre kontrolu rozmerov výrobku [7]

Počiatocnou oblasťou, v ktorej našli systémy strojového videnia uplatnenie, bola kontrola kvality na výrobných linkách. Hoci táto činnosť stále tvorí majoritu úloh pre systémy videnia, inou činnosťou, využívajúcou tento systém, je navádzanie robota, kedy systém videnia dokáže upozorniť na jevstvujúcu prekážku v ceste alebo poskytnúť informáciu o polohe súčiastky. Hoci existuje veľa iných možností využitia systému videnia, medzi ďalšie najbežnejšie patria činnosti ako triedenie súčiastok podľa zvolených prílastkov, čítanie a identifikácia čiarových kodov alebo spomínané overovanie kvality, a to prostredníctvom snímania nerovností, škrabancov na povrchu alebo kontroly rozmerov (Obr. 2).[16]

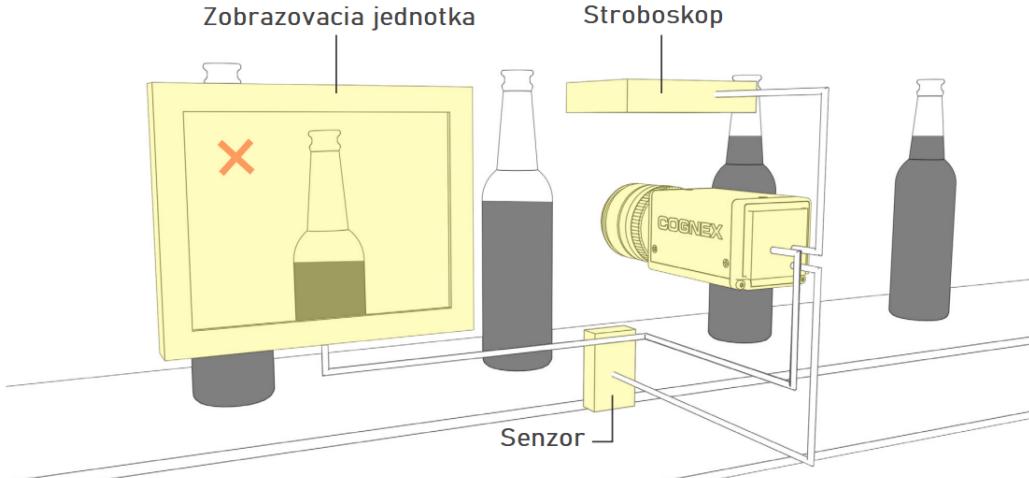
2 Systém strojového videnia

Strojové videnie predstavuje schopnosť získania obrazu a jeho následného analýzu, z ktorej sú výsledné dátá použité pre správne riadenie činností alebo procesov. Základnými hardware časťami (Obr. 3), nutnými pre používanie takéhoto systému, je optický systém, slúžiaci pre snímanie objektov z okolia, a zdroj svetla, pri ktorom možno použiť viacero techník osvetlenia. [16, 14]



Obr. 3: Základné prvky systému strojového videnia [9]

Samozrejmostou sú tiež komunikačné prepojenia, procesor, ktorý je v niektorých prípadoch súčasťou tzv. *smart kamery*, a softvér na zobrazovanie a detekciu. Prvkom užitočným najmä pri pohybe výrobkov, ako napr. na dopravníkovom páse, je synchronizačný senzor, poskytujúci informáciu o dosiahnutí stavu, v ktorom môže byť výrobok nasnímaný a skontrolovaný [16, 14]. Ukážka zariadenia, určená pre kontrolu úrovne naplnenia fliaš, využívajúca optický systém Cognex, je zachytená na Obr. 4.



Obr. 4: Príklad aplikácie systému strojového videnia [9]

2.1 Optický systém

Šošovky sú prvou časťou optického systému, ktorých úlohou je zachytávať obraz zo scény a poskytovať ho obrazovému snímaču, nachádzajúcemu sa v kamere. Šošovky, dostupné vo viacerých prevedeniach, priamo ovplyvňujú kvalitu a rozlíšenie obrazu, pričom rovnako určujú prípustnú pracovnú vzdialenosť. Určitým typom šošoviek, často v systémoch videnia využívaným, sú vymeniteľné šošovky, medzi ktoré podľa spôsobu upevnenia ku kamere patria varianty *C-Mounts* a *CS-Mounts*. Hoci *CS-Mounts* disponujú totožným závitom ako *C-Mounts*, rozdielnym parametrom je vzdialenosť príruby od obrazového ohniska (*Flange Focal Distance*), ktorá je o 5 mm menšia ako pri modeloch *C-Mounts*. Opačný typ reprezentujú fixné šošovky, často s funkciou *autofocus*, u ktorých úprava prebieha mechanickým nastavovaním šošoviek, prípadne tiež automaticky, a to prostredníctvom tekutých šošoviek, zaostrujúcich na skúmaný predmet. [16, 9]



Obr. 5: Vision systém Cognex In-Sight 8000 [4]

Kamera predstavuje druhú časť systému videnia (Obr. 5), ktorej jedným z hlavných prvkov, značne ovplyvňujúcim kvalitu snímky, je obrazový snímač, plniaci funkciu zachytávania prijímaného svetla a jeho premeny na digitálny obraz. Často používanými typmi obrazového snímača sú *CCD* (*Charge-Coupled Device*) a *CMOS* (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) senzory, odlišujúce sa v mnohých oblastiach. Hoci poskytujú *CCD* snímače v porovnaní s *CMOS* senzormi väčší dynamický rozsah a vyššie rozlíšenie, možno za-

ich nevýhodu považovať menšiu snímkovú frekvenciu a vyššie výrobné náklady. Nutnosť postupného spracovávania pixelov v jednotlivých radoch, používaná u technológie CCD, je pri CMOS snímačoch nahradená časovo výhodnejším spôsobom, pri ktorom je každý pixel vybavený vlastným čítacím obvodom, čo umožňuje pristupovať k pixelom v ľubovoľnom poradí. U CMOS senzorov je okrem nižšej ceny a vyššej rýchlosťi snímania nutné tiež vyzdvihnuť nižšiu spotrebu energie, doprevádzanú rýchlym pokrokom tohto typu snímačov, čím sa rozdiely medzi jednotlivými typmi snímačov postupne zmenšujú. I keď si teda CCD snímače nateraz dokážu zachovať časť svojich výhod a stále v kamerách nachádzajú svoje uplatnenie, sú práve CMOS senzory typom snímačov, ktorí si zrejme v buducnosti získa dominantné zastúpenie spomedzi kamerových snímačov obrazu. [14, 9, 13]

2.2 Zdroj svetla

Vďaka skutočnosti, že systém strojového videnia nevytvára obraz analýzou objektu samotného, ale na základe svetla, odrazeného od objektu, je osvetlenie jedným z kľúčových faktorov pre správne využitie systémom. Vhodným výberom osvetlenia, spolu so snahou minimalizovať vplyv okolitého svetla, je možné dosiahnuť vyniknutie dôležitých čít, ako napríklad hrán objektu, a zároveň potlačiť ostatné, nezaujímavé vlastnosti skúmaného predmetu. I keď sú pre tieto účely niektoré smart kamery vybavené zabudovaným, vlastným zdrojom svetla, ziaduce je mnohokrát použitie prídavného osvetlenia [16, 9]. Aj napriek tomu, že je spektrum zdrojov svetla vskutku široké, sú pre tieto aplikácie najčastejšie používané nasledujúce zdroje: [12]

- LED (*Light-emitting diodes*) – polovodičové súčiastky a v súčasnosti najpoužívanejší zdroj svetla pri priemyselnom spracovávaní obrazu, ktorý za svoju popularitu vdáčí najmä vlastnostiam ako je nízka spotreba, odolnosť voči vibráciám a nárazom, alebo dlhá doba života. Hoci sú LED diódy cenené tiež pre relatívne nízku produkciu tepla, pre zachovanie vysokej životnosti je dôležité správne odvádzanie vznikajúceho tepla, ktoré predstavuje najväčšiu hrozbu pre diódy. Zrejme najväčšou výhodou LED zdrojov je však ich spoľahlivosť, prejavujúca sa minimálnym opotrebením súčiastok pri prerušovanom osvetlení. S výhodou tiež možno zoskupovať jednotlivé LED diódy do rôznych geometrických útvarov, akými sú napr. pásky, polia alebo prstence (Obr. 6). Prítomnosť samostatných LED diód tak potom dovoľuje ich separátne, na sebe nezávislé ovládanie, čím je možno LED diódy spínať v ľubovoľnom poradí a zisťovať povrchové chyby zo snímok, osvetlených pod rôznym uhlom.



Obr. 6: Prstencové LED zdroje svetla [2, 1]

- Laser – pre svoju výbornú schopnosť zaostrovať je obzvlášť vhodný pri tzv. štruktúrovanom osvetlení, využívanom projekciu čiar, mriežok alebo kruhov na objekte. Aplikáciou, využívanou laserové osvetlenie, je napr. kontrola rozmerov pri nedostatočnej úrovni kontrastu.
- Žiarivka (*Fluorescent tube*) – zdroj svetla, nachádzajúci využitie najmä pri veľkoplošnom homogénnom osvetlení. Pri spracovávaní obrazu je nevýhodou meniaci sa jas, závislý na frekvencii dodávaného napájania. Odporečené je preto použitie vysokofrekvenčných štartérov.
- Halogénové a xenónové zdroje – niekedy označované ako nepríjemné, biele svetlo, zaraďuje halogénové žiarovky medzi tzv. studené zdroje svetla. Tieto žiarovky sú často využívané v spojení s vláknovými

optickými svetlovodmi, ktoré docielia vhodné nasmerovanie svetla na objekt. Výhodou je tu používané jednosmerné napájanie, pri ktorom nevzniká problém s meniacim sa jasom. Podobnú štruktúru s halogénovými žiarovkami zdieľajú xenónové zdroje, využívané pri prerušovanom osvetlení. Prednostou xenónových svetiel je vysoký stupeň jasu, presajujúci úroveň LED svetiel.

3 Výrobcovia systémov strojového videnia

3.1 Cognex

Firma Cognex patrí medzi popredných svetových dodávateľov systémov strojového videnia. Vo svojom odvetví, zameranom na technológiu priemyselného strojového videnia a čítanie čiarových kódov, pôsobí firma na trhu už viac ako 40 rokov. [10]



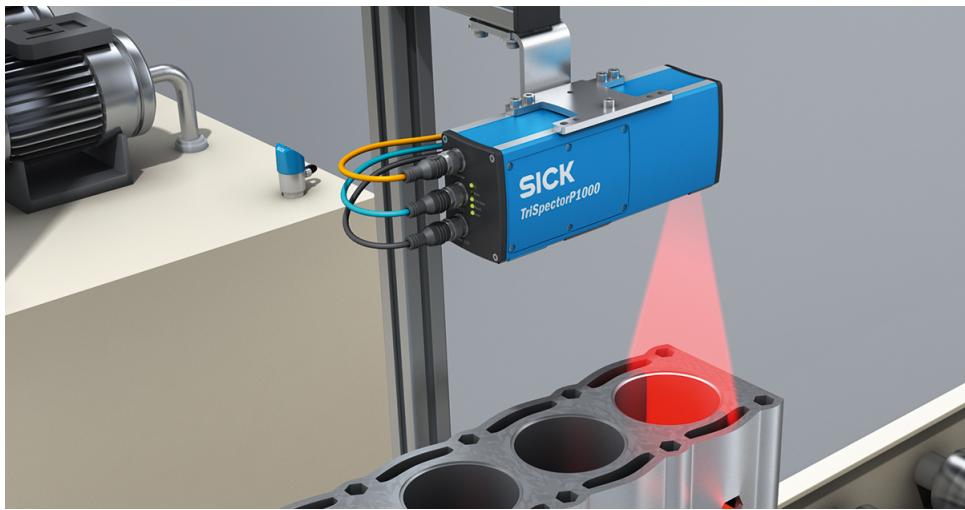
Obr. 7: Cognex In-Sight 7000 [3]

Medzi základné produkty, poskytované spoločnosťou, patria tzv. *Vision sensors*, ktorých schopnosti ako je detekcia povrchových chýba, meranie, alebo kontrola zhlovenia po montáži sú často využité v aplikáciách typu "pass/fail", kde je výsledkom buď výrobok splňajúci kvalitatívne požiadavky alebo výrobok chybný, a teda nevyhovujúci. Sériou, spadajúcou do tejto skupiny, je napr. In-Sight 2000 s max. 1.2 MPixel, prípadne séria In-Sight 2000 Mini. V porovnaní vyššou kategóriou sú *2D Vision Systems*, ktoré okrem rovnakých funkcií ako In-Sight 2000 disponujú schopnosťami pre navádzanie alebo čítanie čiarových kódov. Ich zástupcami je napr. séria s rozlíšením do 5 MegaPixel In-Sight 7000 (Obr. 7), obsahujúca mimo optický systém tiež integrované osvetlenie, kompaktná séria In-Sight 8000, alebo séria s vysokým rozlíšením až do 32 MegaPixel In-Sight 9000. Pre 3D skenovanie celých povrchov ponúka výrobca kategóriu *3D Vision Systems*, ktorej zástupcami sú série In-Sight 3D-L4000, 3D-A5000 alebo DSMax. Konfigurácia systémov od tohto výrobcu, ako aj možnosť spojenia sa okolitými zariadeniami, napr. s PLC, robotom alebo HMI panelmi prebieha v softvéri od Cognex, nazvanom *In-Sight Explorer*.[10]

3.2 SICK

Spoločnosť SICK, so svojimi viac ako 7400 zamestnancami, poskytuje pre svojich zákazníkov produkty z oblasti inteligentných senzorov a ostatných senzorových riešení, vhodných do podmienok Industry 4.0. Jednotlivé modely sú výrobcom označované buď ako konfigurovatelné senzory videnia, dovoľujúce nastavenie parametrov, alebo ako programovateľné kamery, schopné pracovať bez prítomnosti PC, prípadne ako streamovacie kamery, z ktorých výstup je nutno spracovať pomocou PC. Takto klasifikované modely následne výrobca rozdeľuje systémy videnia do troch základných kategórií. [15]

Prvou je trieda *2D vision*, v závislosti od modelu ponúkajúca nástroje pre polohovanie, kontrolu, meranie alebo čítanie. Všetkými týmito schopnosťami disponuje programovateľný model *InspectorP64x* s rozlíšením 1.7 MPixel, alebo kompaktná, streamovacia a farby rozlišujúca kamera *picoCam*, s maximálnym rozlíšením 4.19 MPixel. Z druhej skupiny, *3D vision*, výrobca ponúka pre základné úlohy polohovania a kontroly napr.



Obr. 8: 3D systém videnia od SICK – TriSpector1000 [8]

konfigurovateľný model *TriSpector1000* (Obr. 8), alebo *ScanningRuler*, určený pre streamovanie, ktorého široké zorné pole možno využiť pre rad úloh, akou je napr. skenovanie paliet. Poslednou, výrocom uvádzanou skupinou je *Sensor Integration Machine*, ktorej jediný produkt *SIM4000* slúži pre zhromažďovanie, vyhodnocovanie alebo archiváciu dát, získaných zo SICK senzorov a kamier. Programovanie jednotiek, u ktorých je tento úkon možný, ako napr. u 2D kamery InspectorP64x, prebieha prostredníctvom nástroja *SICK AppSpace*.[15]

3.3 Datalogic

Produkty strojového videnia spoločnosti Datalogic sú založené na skúsenostiach firmy PPT Vision, ktorej pôsobila v tejto oblasti viac ako 30 rokov. Spojením týchto firiem v roku 2011 tak Datalogic rozšírila svoje pôsobisko na trhu a v súčasnosti patrí medzi popredných dodávateľov systémov videnia. Medzi ponúkané smart kamery patrí *P-séria*, ktorá je pre svoje kompaktné rozmery vhodná do potravinárskeho, farmaceutického alebo automobilového priemyslu, pričom je mimo čiernobiele snímanie ponúkaná tiež vo verzii s farebným obrazovým snímačom. S rozlíšením na úrovni 1.3 MPixelov nachádza uplatnenie pri aplikáciách ako je polohovanie, navádzanie robotických ramien, kontrola po montáži alebo balení, prípadne overovanie dátumu spotreby. Podobnou skupinou sú smart kamery *A-séria*, resp. *T-séria* (Obr. 9), dosahujúce maximálne rozlíšenie 5 MegaPixelov, ktoré sú pre svoje možné programovanie obzvlášť flexibilné. Viacúčelová A-séria a vysokovýkonná T-séria zastávajú v priemysle, rovnako ako predošlá P-séria, množstvo úloh, pri ktorých s výhodou využiť Ethernetové rozhranie kamier alebo zabudované diskrétné vstupy a výstupy. [11]



Obr. 9: Smart kamery Datalogic série A/T [5]

Spojenie viacerých kamier je možno realizovať prostredníctvom zariadení zo skupiny *Vision Processors*, konkrétnie *MX-E* alebo *MX-U* série, ktoré nahradzajú PC a umožňujú uchovávať získané snímky a dátá. Pre

vytváranie užívateľských prostredí a programov je k dispozícii *IMPACT Software Suite*, využívajúci ikonové grafické prostredie na vytvorenie zrozumiteľnej, stromovej logiky, čím odbremeneňuje používateľa od bežného programovania. [11]

4 Záver

Jedným zo zámerov tejto seminárne práce bolo poukázať na mnohé prínosy, ktoré so sebou systémy strojového videnia do praxe prinášajú. Pri spätnom pohľade na použitie prvých systémov videnia až po ich súčasné uplatnenie možno jednoznačne pozorovať značné rozšírenie palety aplikácií, ktoré dokážu úspešne vykonávať. Mimo úsporu personálu pri nahradení ľudskej činnosti je navyše častým vedľajším efektom tiež zvýšenie kvality produkcie a celkové zlepšenie prosperity podniku. Ako možno zistiť z poslednej časti práce, výrobcovia systémov pre strojové videnie poskytujú riešenia pre čoraz komplexnejšie úlohy, čoho dôkazom je aj technológia 3D snímania. Tá predstavuje schopnosť získať väčšie množstvo informácií, nachádzajúcich sa v okolí, čím opäť posúva hranice bežných systémov videnia a umožňuje vyššiu mieru automatizácie, vedúcu k znižovaniu množstva opakujúcich sa a pre človeka nezaujímavých úloh. Hoci je vzostup používania strojového videnia viditeľný predovšetkým v oblasti priemyselnej automatizácie, zvýšený záujem o túto technológiu možno ale očakávať aj v iných oblastiach, akými sú napríklad úlohy riadenia autonómnych vozidiel, dronov, alebo použitie systémov videnia v obrane.

Literatúra

- [1] *24V/0.3W 1 Channel Led Lighting For Machine Vision Good Heating Dissipation*. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.opt-machinevision.com/sale-13575207-24v-0-3w-1-channel-led-lighting-for-machine-vision-good-heating-dissipation.html>.
- [2] *Bright 1 Channel OPT 24V Machine Vision Ring Light For PCB Inspection*. [online]. [cit. 2022-03-06]. Dostupné z: <https://www.opt-machinevision.com/sale-13671530-bright-1-channel-opt-24v-machine-vision-ring-light-for-pcb-inspection.html>.
- [3] *Cognex In-Sight 7000*. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://acrovision.co.uk/wp-content/uploads/IS7000_PR_large.jpg.
- [4] *Cognex In-Sight 8000*. [online]. © 2021 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://eola.cz/images/opticka-kontrola-kvality/img-head_in-sign_8000.png.
- [5] *Datalogic A30 Series Smart Camera Vision*. [online]. © 2021 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.dciscanning.co.za/product/datalogic-a30-series-smart-camera-vision/>.
- [6] *Microscan-Hawk*. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://usautocorp.com/wp-content/uploads/2019/05/Hawk-application.png>.
- [7] *Microscan-Hawk*. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://usautocorp.com/wp-content/uploads/2019/05/gear-application.png>.
- [8] *TriSpectorP1000*. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://sickusablog.com/wp-content/uploads/2018/08/3D-Machine-Vision-SICK.jpg>.
- [9] COGNEX. *Introduction to machine vision*. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://www.assemblymag.com/ext/resources/White_Papers/Sep16/Introduction-to-Machine-Vision.pdf.
- [10] COGNEX. *MACHINE VISION*. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://akhnaton.biz/uploads/products/files/60b5103ac475a_Machine%20Vision%20Product%20Guide.pdf.
- [11] DATALOGIC. *VISION SYSTEMS*. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.saddlebrookcontrols.com/wp-content/uploads/Datalogic-Vision-System-Product-Guide.pdf>.
- [12] DEMANT, C., STREICHER-ABEL, B., AND GARNICA, C. *Industrial Image Processing*. © 2013. ISBN: 978-3-642-33905-9. Dostupné z: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-33905-9>.
- [13] GRETCHEN, A. *CCD VS. CMOS IMAGE SENSORS IN MACHINE VISION CAMERAS*. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.adimec.com/ccd-vs-cmos-image-sensors-in-machine-vision-cameras/>.
- [14] LABUDZKI, R., LEGUTKO, S., AND RAOS, P. *The essence and applications of machine vision*. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/286283684_The_essence_and_applications_of_machine_vision.
- [15] SICK. *Vision*. Waldkirch. [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/docs/3/83/883/product_segment_overview_vision_en_im0069883.pdf.
- [16] WEST, P. *Fundamentals of Machine Vision*. [online]. Automated Vision Systems, Inc., © 2021 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.autovis.com/images/pdf/resources/fundamentals-of-machine-vision.pdf>.