

# TAČR TREND

## Název projektu:

Flexibilní robotické pracoviště pro malosériovou výrobu  
(FW03010501)

Technická zpráva

## [O] Flexibilní instalace robotu ve výrobě

Martin Švejda (ZČU), Arnold Jáger (ZČU), Tomáš Čechura (ZČU),  
Jan Reitinger (ZČU)

datum: 22.12.2022



## Identifikátor účastníka projektu:

IMI: Integrated Micro-Electronics Czech Republic s.r.o.

ZČU: Západočeská univerzita v Plzni

# Obsah

<b>Popis z přihlášky projektu</b>	<b>1</b>
<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>Modifikace nadřazeného řídicího systému a operátorského rozhraní (HMI)</b>	<b>3</b>
Interface s nadřazeným řídicím systémem	4
Kalibrační proces laserového dálkoměru	5
Ustavování robotu/dílu ve výrobě	7
<b>Závěr</b>	<b>9</b>
<b>Reference</b>	<b>10</b>

## Popis z přihlášky projektu

ZČU: Výzkum a vývoj algoritmů pro ustavení robotu ve výrobě k jednoúčelové pracovní lince. Předpokládá se, že robot může operátor výroby mezi linkami se stejným výrobním procesem přesouvat a znovuuvedení do provozu je realizováno operátorem s minimem zásahů do programu robotu. Předpokládá se využití zejména vizuální zpětné vazby k lokalizaci robotu.

IMI: Realizuje technické prostředky možného přesunu robotů mezi linkami - zejména pak systémy propojení s linkou (pokud je požadováno).

# Úvod

Předložená zpráva doplňuje zprávu [1] zabývající se rozšířením řídicího systému robotu UR5 nadřazeným kontrolerem, který umožňuje intuitivní navádění robotu běžnými operátory výroby.

Předložená technická zpráva se zabývá možností re-instalace/znovuustavení robotického systému mezi více pracovišti či na jediném pracovišti, jehož část může být během provozu modifikována, viz statická a dynamická část pracoviště (pilotní aplikace) diskutovaná v [2].

Mezi klíčové cíle patří především:

- Možnost využít jeden robotický systém pro více pracovišť
- Možnost modifikovat dynamickou část aplikace během provozu a zvýšit tak modularitu aplikace
- Celý proces ustavení robotu bude moci realizovat operátor výroby
- Vzhledem k požadavku na ovládání robotu operátorem výroby bude využit systém intuitivního navádění robotu, viz technická zpráva [1]
- Zaměřování polohy robotu bude realizováno bezkontaktním způsobem prostřednictvím laserového dálkoměru, viz Kapitola [Ustavování robotu/dílu ve výrobě](#)

## Modifikace nadřazeného řídicího systému a operátorského rozhraní (HMI)

Nadřazený řídicí systém robotu, který realizoval (kromě standardních funkcí) intuitivní navádění robotu, viz technická zpráva [1], byl dále rozšířen o interface s laserovým dálkoměrem, viz Obrázek 1, s následujícími parametry:

- Výstupní rozhraní: Proudový výstup 4 - 20mA, napěťový výstup 0 - 10V
- Střed měřicího rozsahu: 400mm
- Měřicí rozsah: +- 200mm
- Opakovatelnost: 300/800  $\mu$ m



Obrázek 1: Panasonic HG-C1400-P - laserový dálkoměr s viditelným paprskem

Laserový dálkoměr byl umístěn na koncovém efektoru robotu (společně s 3D myší pro intuitivní ovládání), viz Obrázek 2. Využití laserového dálkoměru spočívalo v možnosti

bezkontaktně odměřovat zájmové body, což zahrnuje společně se systémem intuitivního navádění robotu následující vlastnosti:

- Eliminace kolizních stavů robotu (narozdíl od použití kontaktní sondy)
- Viditelný paprsek umožňuje snadné zacílení zájmového bodu
- Operátor může rychle a intuitivně odměřit celou řadu zájmových bodů díky systému intuitivního navádění robotu (režim Hand-Guidance, vzdálené ovládání, viz režimy provozu uvedené v [1])
- Vysoká spolehlivost laserového odměřování byla ověřena na celé řadě materiálů/povrchů



Obrázek 2: Laserový dálkoměr na a senzor 3D myši na koncovém efektoru robotu

## Interface s nadřazeným řídicím systémem

Interface s nadřazeným řídicím systémem byl realizován prostřednictvím podpory vzdálených vstupů/výstupů (v našem případě byl využit analogový vstup - proudová smyčka 4-20mA), které jsou nativně vyvedeny na konektor robotu UR5 (konektor na posledním rameni robotu, viz Obrázek 2). Z kontroleru robotu UR byl poté signál komunikován prostřednictvím implementovaného interfacu do nadřazeného řídicího systému (implementovaného jako konfigurace v řídicím systému reálného času REXYGEN).

## Kalibrační proces laserového dálkoměru

Abychom mohli laserový dálkoměr využít jako přesnou bezkontaktní odměřovací sondu zájmových bodů, je nutné znát přesnou polohu umístění dálkoměru na přírubě (koncovém efektoru robotu). Poté je možné z aktuální polohy příruby robotu a hodnoty odměřované vzdálenosti rekonstruovat XYZ polohu (translaci) zájmového bodu, který je laserovým paprskem osvětlen.

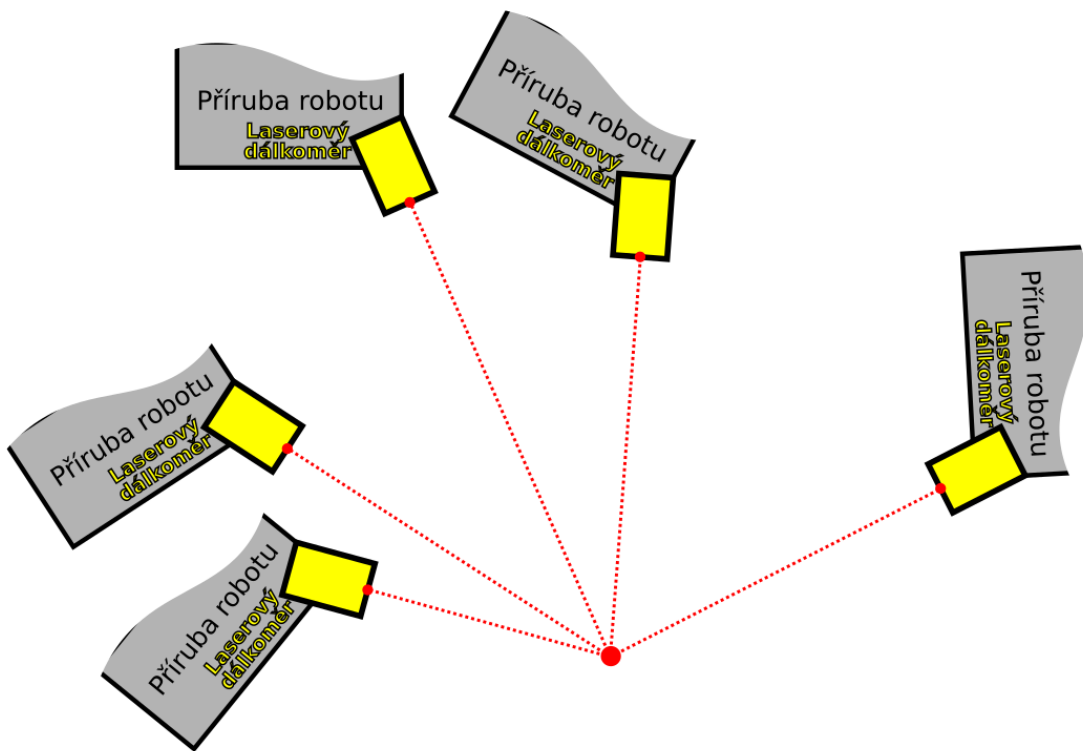
Za účelem odhadu přesného umístění laserového dálkoměru byla navržena kalibrační metoda, založená na následujícím postupu (s využitím implementovaného nadřazeného řízení robotu a aplikace implementované v prostředí Matlab pro vlastní kalibrační proceduru):

1. Nominální odhad umístění laserového dálkoměru byl dán z výkresové dokumentace koncového efektoru robotu<sup>1</sup> a samotného laserového dálkoměru - takové parametry slouží jako výchozí bod odhadu.
2. Robot je prostřednictvím režimu intuitivního navádění naveden do různých poloh koncového efektoru takovým způsobem, aby laserový paprsek co možná nejpřesněji mířil do jednoho libovolně vybraného bodu, viz Obrázek 3. Je doporučeno vybírat polohy koncového efektoru dostatečně odlišně (posun, rotace, vzdálenost od osvětlovaného bodu), neboť tak obecně zvyšujeme úspěšnost navazujícího kalibračního procesu. Kompenzace polohy základny a koncového efektoru musí zůstat na defaultních (nekompenzovaných) hodnotách (World - základna bez kompenzací, Flange - příruba robotu), viz Obrázek 4
3. V uživatelském prostředí robotu jsou uloženy všechny datové body (polohy koncového efektoru), viz Obrázek 4
4. Je spuštěn algoritmus kalibrace<sup>2</sup>, viz Obrázek 5.
5. Po úspěšném ukončení kalibračního algoritmu je v aplikaci Matlabu zobrazen grafický a textový výstup s informacemi o kalibraci (např. dosažená přesnost a ověření kalibrace na uloženém setu datových bodů) a vypočtené kalibrované parametry (přesné umístění laserového dálkoměru na přírubě robotu) je nastaveno do nadřazeného řídicího systému.
6. Nyní je možné začít používat laserový dálkoměr jako bezkontaktní odměřovací sondu pro ustavování polohy robotu/dílu ve výrobě.

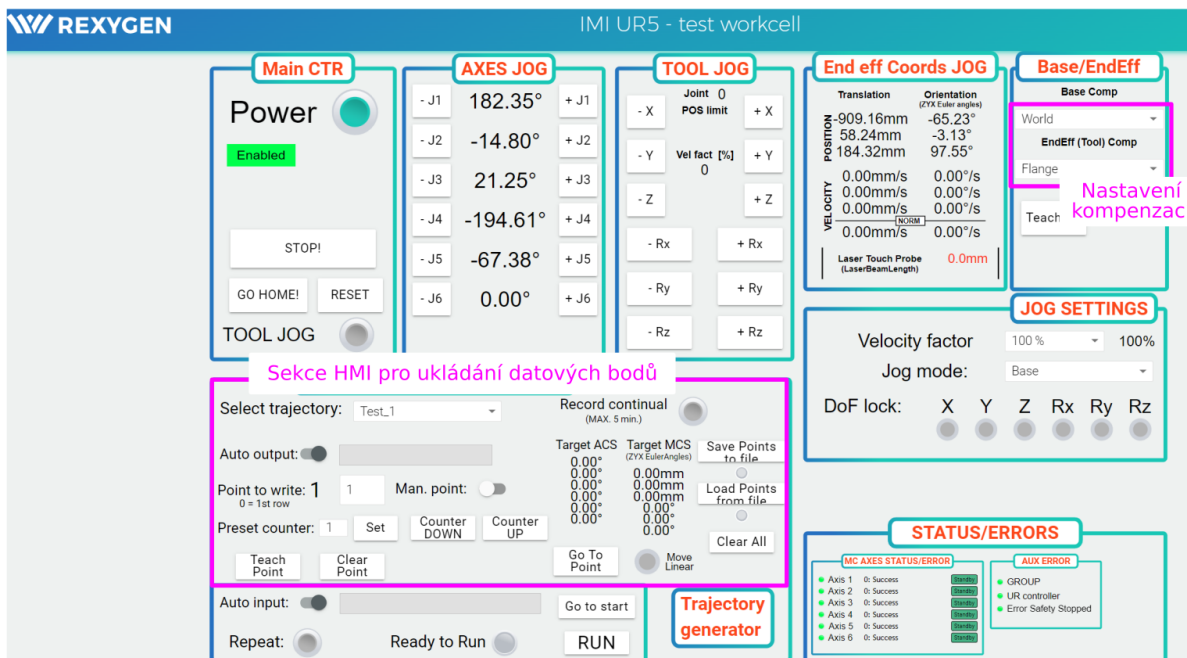
---

<sup>1</sup> Koncový efektor, který na sobě nese jak senzor 3D myši pro intuitivní polohování, tak samotný laserový dálkoměr, byl navržen v rámci řešení projektu a jako prototypový kus vytištěn metodou 3D tisku.

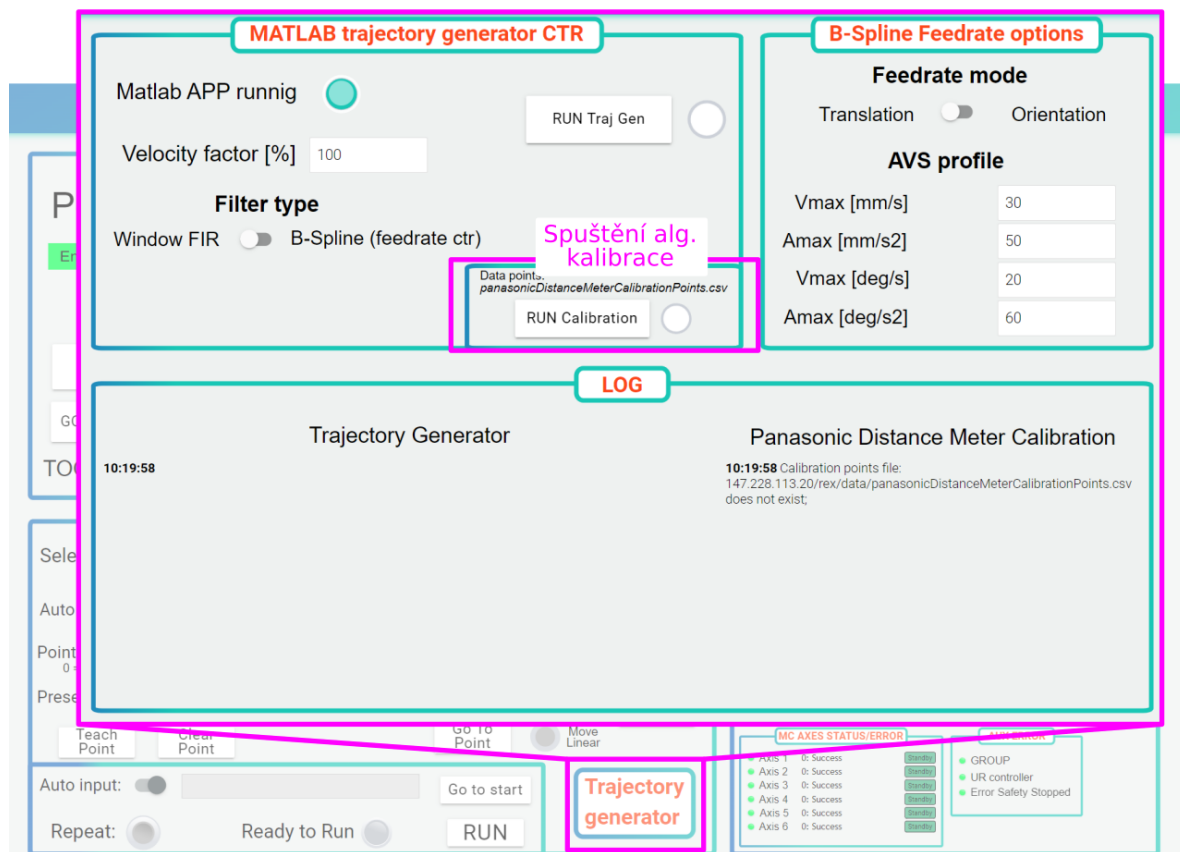
<sup>2</sup> Kalibrační algoritmus lze spustit až v případě, že je spuštěna aplikace datového postprocesoru implementovaná v prostředí Matlab - samostatně běžící skript v Matlabu na hostovském počítači, který komunikuje s nadřazeným řídicím systémem robotu přes rozhraní REST API a FTP.



Obrázek 3: Umístění paprsku laserového dálkoměru do libovolného bodu z různých poloh koncového efektoru robotu



Obrázek 4: Vyznačené sekce HMI nadřazeného řídicího systému pro ukládání datových bodů



Obrázek 5: Spuštění algoritmu kalibrace v Matlabu

## Ustavování robotu/dílu ve výrobě

Prostřednictvím bezkontaktní odměřovací sondy lze nyní řešit úlohu re-instalace / znovuustavení robotického systému, stejně tak i identifikaci polohy libovolného dílu ve výrobě. Tyto dvě úlohy jsou do značné míry analogické (záleží na úhlu pohledu, zda-li je dynamickou částí úlohy robot nebo díl) a je možné je demonstrovat následujícím příkladem:

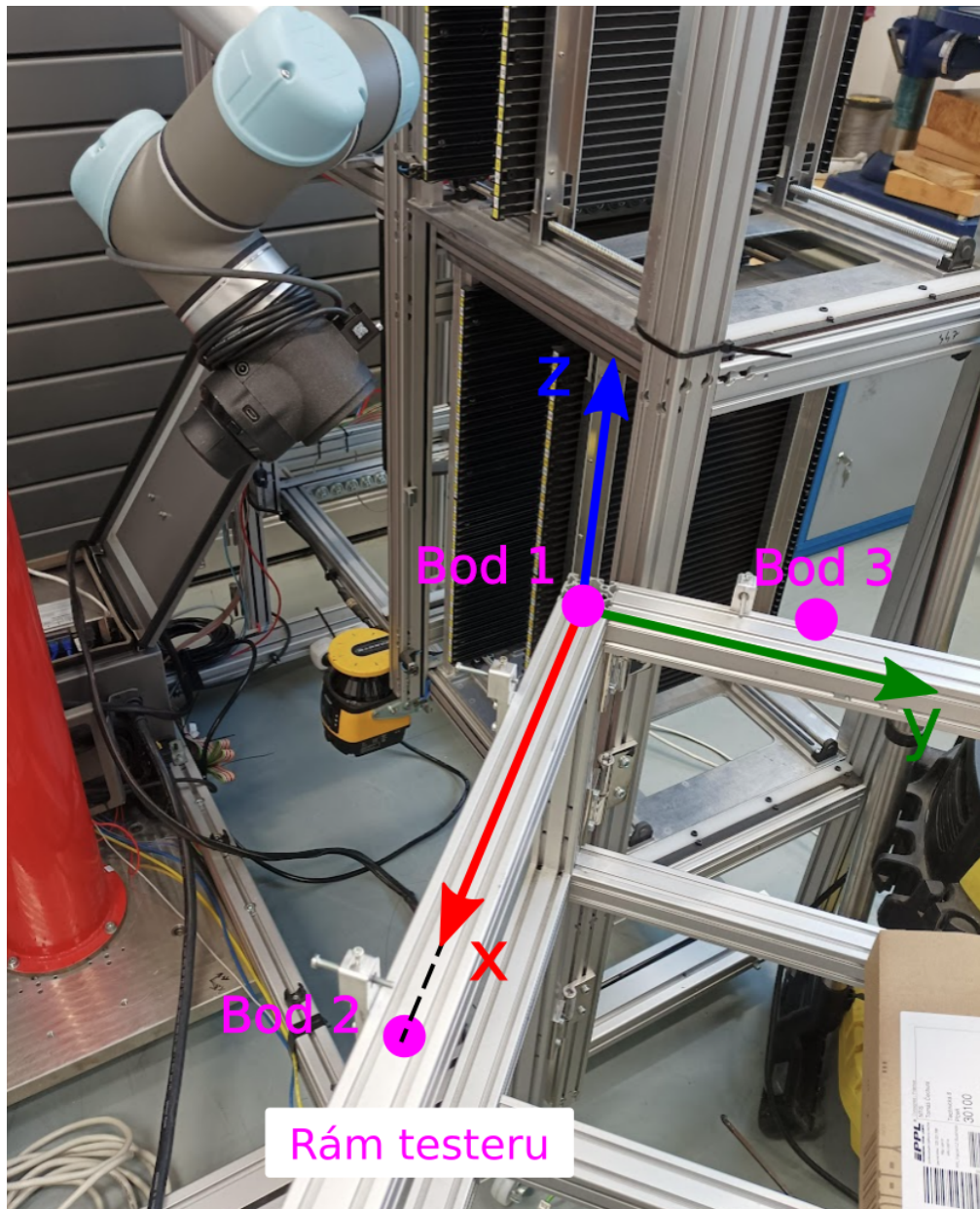
**Cíl:** Bezkontaktně zaměřit neznámou polohu dílu (v našem případě rámu testeru) tak, aby bylo možné robotem pohybovat vzhledem k vybranému souřadnému systému, viz Obrázek 6.

**Postup experimentu byl následující:**

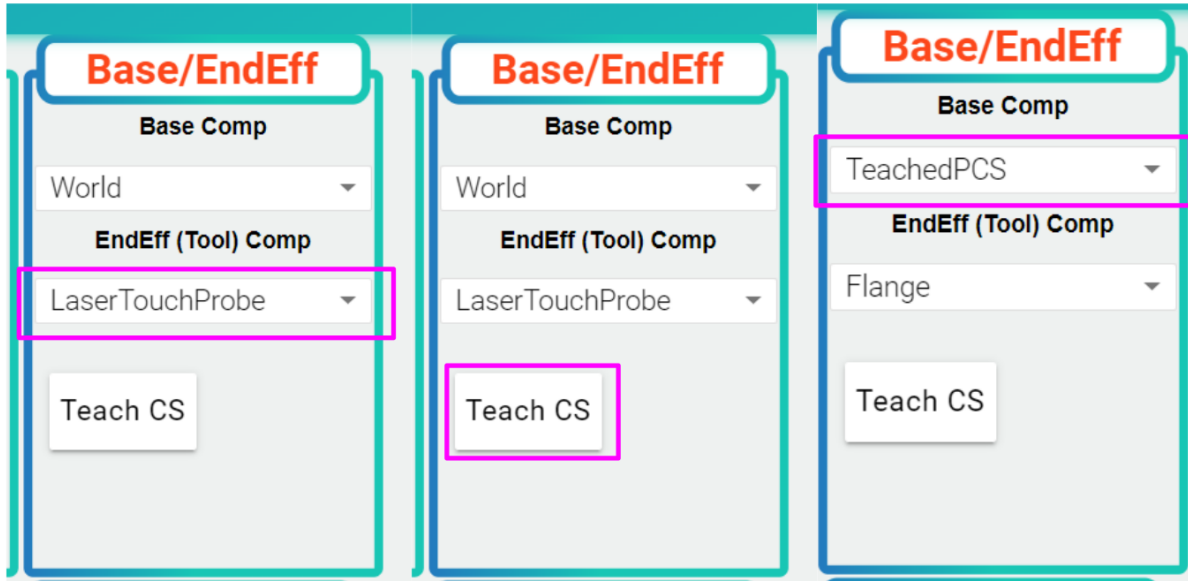
1. Operátor pomocí laserové bezkontaktní sondy změří a uloží (analogicky jako v Kapitole [Kalibrační proces laserového dálkoměru](#)) trojici bodů, které definují hledaný souřadný systém dílu. Kompenzace koncového efektoru musí být nastavena na režim *LaserTouchProbe* (ukládání bodů odpovídá poloze osvětlených bodů laserovou sondou:
  - a. **Bod 1:** Bod ležící v počátku souřadného systému
  - b. **Bod 2:** Bod ležící (kdekoliv) na ose *X* souřadného systému
  - c. **Bod 3:** Bod ležící (kdekoliv) v rovině *XY* Souřadného systému
2. Výpočet nového souřadného systému - umístění dílu (realizuje přímo nadřazený řídicí systém robotu).



3. Pohyb robotu vzhledem k novému souřadnému systému (v souřadném systému umístěného dílu), viz video ukázka [zde](#).



Obrázek 6: Vybraný (naučený) souřadný systém- ustavení dílu (testeru) ve výrobě



Obrázek 7: Výběr laserové bezkontaktní sondy (vlevo), výpočet souřadného systému (kompenzace) z naměřených bodů (uprostřed), výběr pohybu robotu vzhledem k naučenému souřadnému systému (vpravo)

## Závěr

Předložená zpráva se zabývá rozšířením nadřazeného systému řízení robotu UR5 o další funkční modul flexibilního navádění. K tomuto účelu byl robot osazen laserovým dálkoměrem, který zastával roli bezkontaktní sondy. Společně s kalibrační metodou a metodou pro výpočet nového referenčního souřadného systému byl demonstrován příklad identifikace neznámé polohy dílu ve výrobě.

Vzhledem k robustnosti systému bylo upuštěno od dříve plánovaného záměru využít k lokalizaci robotu resp. dílu ve výrobě vizuální systém (typicky kamerový).

## Reference

- [1] M. Švejda, A. Jáger, J. Reitinger, T. Čechura: *Intuitivní programování robotu - operátorské navádění robotu*, technická zpráva, ZČU, 2022.
- [2] A. Jáger, A. Bouberele: *Analýza požadavků na pilotní aplikaci (systémová analýza)*, technická zpráva, IMI, ZČU, 2022.