

Návrh výukového pracoviště s průmyslovým robotem SCARA Stäubli TS2-60

Bc. Petr Krahula

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Petr Krahula
Osobní číslo: A23347
Studijní program: N0714A150006 Automatické řízení a informatika v průmyslu 4.0
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Návrh výukového pracoviště s průmyslovým robotem SCARA Stäubli TS2-60
Téma práce anglicky: Design of a training workplace with a SCARA Stäubli TS2-60 industrial robot

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši na téma kinematika průmyslových robotů a jejich řízení.
- Vyhledejte možná komerčně dostupná řešení a popište je.
- Navrhněte koncept výukového pracoviště s průmyslovým robotem SCARA Stäubli TS2-60.
- Vytvořte soubor úloh dle navrženého konceptu výukového pracoviště.
- Ověřte funkčnost navrženého řešení.
- Diskutujte získané výsledky.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Ian GIBSON, David ROSEN a Brent STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2112-6.
2. Andreas GEBHARDT a Jan-Steffen HÖTTER. *Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing*. Munich: Carl Hanser Verlag, 2016. ISBN 978-1-56990-582-1.
3. Jadran LENARČIČ a Manfred HUSTY. *Latest Advances in Robot Kinematics*. Dordrecht: Springer, 2012. ISBN 978-94-007-4619-0.
4. John J. CRAIG. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Edinburgh: Pearson Education, 2014. ISBN 978-1-292-04004-2.
5. Zdeněk KOLÍBAL a kolektiv. *ROBOTY a robotizované výrobní technologie*. VUT v Brně: Nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Aleš Mizera, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce: **13. prosince 2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2025**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 13. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.
- Při tvorbě této práce jsem použil nástroj generativního modelu AI ChatGTP (<https://chat.openai.com>) za účelem jazykové korektury, stylistických úprav a revize formulací textu. Po použití tohoto nástroje jsem provedl kontrolu obsahu a přebírám za něj plnou zodpovědnost.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je návrh výukového pracoviště. Teoretická část se zabývá pohyby a řízením průmyslových robotů společně s bezpečností s moderními trendy. V praktické části je popsán robot TS2-60 společně s komerčně dostupnými řešeními, dle jejich technických vlastností. Dále je popsán krok po kroku postup a orientace v programovém prostředí Stäubli Robotics Suite. Pomocí tohoto programového prostředí a fyzického pracoviště jsou vypracovány úlohy, dle obtížnosti. Kromě toho také zhodnocení výsledků vypracovaných úloh. Výsledkem je vypracovaný soubor úloh pro výuku s robotem SCARA Stäubli TS2-60.

Klíčová slova: TS2-60, programování VAL3, TCP komunikace, detekce QR

ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is the design of a teaching workplace. The theoretical part deals with the movements and control of industrial robots along with safety with modern trends. The practical part describes the TS2-60 robot along with commercially available solutions, according to their technical characteristics. Furthermore, the step-by-step procedure and orientation in the Stäubli Robotics Suite programming environment is described. Using this programming environment and the physical workstation, tasks are developed according to difficulty. In addition, the results of the developed tasks are evaluated. As a result, a set of tasks for teaching with the SCARA Stäubli TS2-60 robot is developed.

Keywords: TS2-60, VAL3 programming, TCP communication, QR detection

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Alešovi Mizerovi, Ph.D. za trpělivost a odbornou spolupráci při vedení této diplomové práce. Taktéž mé rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 ÚVOD DO PRŮMYSLOVÉ ROBOTIKY	13
1.1 DEFINICE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	13
2 KINEMATIKA PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	14
2.1 ZÁKLADNÍ POJMY KINEMATIKY	14
2.2 PŘÍMÁ A INVERZNÍ KINEMATIKA.....	18
2.3 PRACOVNÍ PROSTOR ROBOTU	18
3 ŘÍZENÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	20
3.1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY ŘÍZENÍ.....	20
3.1.1 Otevřená a uzavřená řídicí smyčka	20
3.1.2 Senzory v řízení průmyslových procesů	21
3.1.3 Dynamika pohybu robotu a její vliv na řízení.....	27
3.2 TYPY ŘÍZENÍ POHYBU	30
3.3 SOFTWAREVÁ PODPORA	32
3.3.1 Přehled běžně používaných softwarových nástrojů	33
3.3.2 Programovací jazyky	38
4 BEZPEČNOSTNÍ ASPEKTY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	43
4.1 BEZPEČNOSTNÍ ASPEKTY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	43
4.1.1 Bezpečnostní rizika průmyslových robotů.....	43
4.1.2 Strategie zmírnění rizik	45
4.1.3 Preventivní opatření pro zajištění bezpečnosti.....	45
4.1.4 Bezpečnostní protokoly	46
4.1.5 Pokroky v bezpečnostních technologiích.....	46
4.1.6 Regulační a bezpečnostní normy	47
4.2 MONITORING A ÚDRŽBA	49
4.2.1 Architektura systému	49
4.2.2 Implementace systému	50
5 MODERNÍ TRENDY V ROBOTICE	51
5.1 INTEGRACE S IOT	51
5.2 UMĚLÁ INTELIGENCE A ADAPTIVNÍ ŘÍZENÍ	61
II PRAKTICKÁ ČÁST	67
6 PRŮMYSLOVÝ ROBOT STÄUBLI TS2-60	68
6.1 TECHNICKÉ PARAMETRY A VLASTNOSTI ROBOTU	68
6.2 MOŽNÁ KOMERČNĚ DOSTUPNÁ ŘEŠENÍ	71
7 ÚVOD PROGRAMOVÁNÍ ROBOTU SCARA TS2-60	74

7.1	VYTVOŘENÍ NOVÉHO PROJEKTU	74
7.2	ORIENTACE V PROSTŘEDÍ PROGRAMU	78
7.3	VLOŽENÍ MODELŮ DO PROJEKTU	82
8	NÁVRH KONCEPTU VYUKOVÉHO PRACOVISTĚ S PRŮMYSL OVÝM ROBOTEM SCARA STÄUBLI TS2-60	85
8.1	ÚLOHA 1 KALIBRACE	85
8.2	ÚLOHA 2 FRAME A KRESLENÍ	88
8.3	ÚLOHA 3 PICK AND PLACE APLIKACE S KAMEROU	92
8.4	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI.....	97
9	DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ	98
	ZÁVĚR.....	100
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	101
	SEZNAM OBRÁZKŮ	105
	SEZNAM TABULEK.....	108
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	109

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá návrhem výukového pracoviště s průmyslovým robotem SCARA Stäubli TS2-60. Celkově odvětví průmyslové robotiky se za poslední roky rozmohlo do všech odvětví společně s integrací IoT a AI. Některá z nich jsou popsána v kapitole 5, ať už se jedná o školství, logistiku nebo automobilový průmysl.

Teoretická část popisuje kinematiku průmyslových robotů od základů přes přímou a inverzní kinematiku po pracovní prostor. Základní principy řízení, typy řízení pohybu a software pro programování robotů jsou popsány v druhé části. Krom toho jsou popsány bezpečnostní aspekty průmyslových robotů a moderní trendy v robotice jako například IoT a AI.

Cílem diplomové práce je vytvoření souboru úloh, které budou sloužit pro výuku v robotické laboratoři. Praktická část se zabývá vlastnostmi robotu SCARA Stäubli TS2-60. V další části jsou navržena další možná komerčně dostupná řešení, dle jejich technických vlastností. Úvod programování se zabývá orientací a tvorbou nového projektu v softwaru Stäubli Robotics Suite. Dále jsou v praktické části popsány tři úlohy dle obtížnosti od nejjednodušší po nejsložitější, jež jsou výstupem této práce.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 ÚVOD DO PRŮMYSLOVÉ ROBOTIKY

1.1 Definice průmyslových robotů

Průmyslové roboty byly definovány jako automaticky řízené, programovatelné víceúčelové manipulátory, programovatelné ve třech nebo více osách, které mohly být buď upevněny na místě nebo připevněny k mobilní platformě pro použití v automatizačních aplikacích v průmyslovém prostředí. [1] Tyto průmyslové roboty můžeme dělit na několik typů, dle mechanické struktury následovně:

Kartézský robot (pravoúhlý robot, portálový robot): manipulátor, který má tři prizmatické klouby, jejichž osy tvoří kartézský souřadný systém.

Kloubový robot: manipulátor, který má tři nebo více rotačních kloubů.

Paralelní/delta robot: manipulátor, jehož ramena mají články, které tvoří uzavřenou smyčku.

Válcový robot: manipulátor, který má alespoň jeden rotační kloub a alespoň jeden prizmatický kloub, jehož osy tvoří válcový souřadný systém.

Polární robot (sférický robot): manipulátor, který má dva rotační klouby a jeden prizmatický kloub, jejichž osy tvoří polární souřadný systém.

Robot SCARA: manipulátor se dvěma paralelními rotačními klouby zajišťující přizpůsobivost ve zvolené rovině. [1]



Obrázek 1 TS2-60 SCARA robot [2]

2 KINEMATIKA PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Kinematika robotu je studována pro pochopení jeho pohybu bez uvažování sil. Zabývá se přímou a inverzní kinematikou, určující konfigurace a pohyby. Jsou využívány pojmy jako délky a úhly spojů či transformační matice k výpočtu polohy a orientace. Tyto znalosti jsou vyžadovány pro plánování pohybů a řízení robotů. [3]

2.1 Základní pojmy kinematiky

Kinematika je věda o pohybu. Zabývá se předmětem bez ohledu na síly, které na něj působí jako je například poloha, síla, rychlost, zrychlení. Studium kinematiky manipulátorů se týká všech geometrických a časových vlastností pohybu. Problém dynamiky vzniká vztahy mezi těmito pohyby, silami a momenty. [4][3]

Homogenní transformační matice

Homogenní transformační matice (HTM) jsou využívány k reprezentaci polohy a orientace souřadnicového systému vůči jinému, což umožňuje efektivní výpočty kinematiky robotu. HTM jsou využívány ke kombinaci rotačních a translačních informací do jediné matice, čímž se zjednodušuje transformace bodů a vektorů mezi souřadnicovými snímky. V robotice jsou HTM využívány k popisu vztahů mezi základním rámem, rámem koncového efektoru a mezilehlými rámy spojenými s články a spoji robotu. [4][3]

Rotační matice

Rotační matice jsou používány k reprezentaci orientace jednoho souřadnicového snímku vzhledem k druhému, přičemž jsou zachovávány vektorové délky a úhly během rotace. Rotační matice jsou kombinovány násobením, aby byla reprezentována sekvence rotací, což umožňuje popis složitých orientací robotu.

Mezi běžné rotační matice patří:

- Rotace kolem osy x (rotace)
- Rotace kolem osy y (rozteč)
- Rotace kolem osy Z (vybočení)

Translační vektory

Translační vektory jsou použity k reprezentaci polohy jednoho souřadnicového rámce vzhledem k jinému a popisu lineárního posunu. V homogenních transformačních maticích jsou připojeny k rotační matici jako čtvrtý sloupec, čímž je vytvořena matice 4×4 , která obsahuje rotační i translační informace. Tím je umožněna kompaktní reprezentace pozic robotu a efektivní výpočet transformací ve 3D prostoru. [3]

Kinematické řetězce a konfigurace robotů

Kinematický řetězec je tvořen články spojenými klouby, čímž je určena struktura robotického manipulátoru a jeho stupně volnosti. Konfigurace robotu je definována uspořádáním jeho článků a spojů, což popisuje jeho pozici v prostoru. Analýza těchto prvků je využívána k pochopení schopností, omezení a singularit robotického systému. [3]

Otevřené/uzavřené kinematické řetězce

Otevřené kinematické řetězce jsou tvořeny jedinou sekvencí článků spojených klouby, přičemž jejich základna je pevná a koncový efektor se může volně pohybovat. Uzavřené kinematické řetězce jsou charakterizovány smyčkami v posloupnosti spojů, což omezuje pohyb robotu. Otevřené řetězce jsou využívány pro větší pracovní prostor a jednodušší ovládání, zatímco uzavřené poskytují vyšší tuhost, přesnost a nosnost. [4]

Konfigurace sériového/paralelního robotu

Sériové konfigurace robotů jsou tvořeny otevřeným kinematickým řetězcem, kde je každý kloub ovládán nezávisle, což vede k velkému pracovnímu prostoru, ale nižší přesnosti a tuhosti. Paralelní konfigurace robotů obsahují několik kinematických řetězců spojujících základnu s koncovým efektozem, což zajišťuje vysokou tuhost a přesnost, ale omezuje pracovní prostor. Hybridní konfigurace robotů kombinují sériové a paralelní řetězce, čímž je dosaženo rovnováhy mezi vysokou tuhostí a velkým pracovním prostorem. [3]

Jakobiánská matice

Jakobiánská matice je používána k propojení společných rychlostí robotu s lineárními a úhlovými rychlostmi koncového efektoru, což umožňuje výpočet pohybu robotu v kartézském prostoru. Je považována za nezbytnou pro plánování, řízení a analýzu pohybu robotu, neboť poskytuje lineární aproximaci kinematického chování robotu v dané konfiguraci. Rozměry Jakobiánské matice jsou určovány počtem stupňů volnosti (DOF) robotu, přičemž pro robot s n klouby a 6-DOF koncovým efektozem je matice $6 \times n$. [5]

Kinematika rychlosti

Popisuje pohyb těles z hlediska změny jejich polohy v čase, avšak nezkoumá příčinu pohybu. Rychlost je vyjádřena, jak rychle a v jakém směru se těleso pohybuje. Při analýze pohybů hraje roli průměrná a okamžitá rychlost. [3]

Singularity a manipulovatelnost

Singularity jsou považovány za konfigurace robotů, ve kterých se Jakobiánská matice stává nedostatečnou, což vede ke ztrátě stupňů volnosti a nemožnosti pohybu koncového efektoru v určitých směrech (např. plně natažená nebo složená paže). Manipulovatelnost je měřena jako schopnost robotu pohybovat se a vyvíjet síly v různých směrech v dané konfiguraci, kvantifikující snadnost pohybu a přenosu síly. Elipsoid manipulovatelnosti, odvozený z Jakobiánské matice, je používán k vizualizaci pohybových a silových schopností robotu v kartézském prostoru. Analýza singularit a manipulovatelnosti je považována za zásadní pro navrhování pracovních prostor robotů, vyhýbání se singulárním konfiguracím během plánování pohybu a optimalizaci výkonu robotu. [3]

Plánování trajektorie

Plánování trajektorie je považováno za generování proveditelné cesty, kterou má robot sledovat, s ohledem na kinematiku, dynamiku a omezení prostředí nebo úkolu. Specifikovány jsou požadované polohy, rychlosti a zrychlení kloubů robotu nebo koncového efektoru, čímž je zajištěn hladký a efektivní pohyb. [3]

Mezi běžné techniky plánování trajektorie patří:

- Pohyb z bodu do bodu: Přesun robotu z počáteční konfigurace do cílové konfigurace bez určení mezilehlé cesty
- Interpolace: Generování hladké cesty mezi body pomocí polynomiálních funkcí (např. kubické splajny) nebo jiných interpolačních metod
- Plánování založené na optimalizaci: Formulování problému plánování trajektorie jako optimalizačního problému s ohledem na kritéria, jako je minimální čas, energie nebo trhnutí [3]

Společný prostor vs kartézský prostor

Plánování trajektorie kloubového prostoru zahrnuje specifikaci požadovaných poloh, rychlostí a zrychlení pro každý kloub, což vede k trajektoriím, které jsou sledovány robotem.

- Plánování společného prostoru je považováno za jednodušší a výpočetně efektivnější, protože akční členy robotu jsou přímo řízeny.

Plánování trajektorií kartézského prostoru zahrnuje specifikaci požadovaných poloh, rychlostí a zrychlení koncového efektoru, které jsou mapovány na trajektorie pomocí inverzní kinematiky.

- Kartézské plánování prostoru je považováno za intuitivnější a orientované na úkoly, protože pohyb koncového efektoru je přímo řízen, ale vyžaduje vyřešení inverzní kinematiky a může vést k singularitám. [3]

Volba mezi společným a kartézským plánováním trajektorie je určována konkrétní aplikací, architekturou robotu a dostupnými výpočetními zdroji. [3]

Lichoběžníkový profil rychlosti

Lichoběžníkový profil rychlosti je používán pro hladké plánování trajektorie, kdy je pohyb rozdělen do tří fází: zrychlení, konstantní rychlosti a zpomalení. Tento profil minimalizuje trhání a zajišťuje spojitě změny rychlosti a zrychlení. Trvání fází a maximální rychlost jsou upravovány podle schopností robotu a požadavků úkolu. [3]

2.2 Přímá a inverzní kinematika

Pochopení dopředné i inverzní kinematiky je vyžadováno pro přesné umístění a manipulaci autonomních robotů s objekty v jejich prostředí.

Přímá kinematika je využívána k určení polohy a orientace koncového efektoru na základě úhlů či poloh kloubů, čímž je robotu umožněno pochopit jeho aktuální konfiguraci v prostoru.

Inverzní kinematika je využívána k výpočtu kloubových úhlů či poloh potřebných k dosažení požadované polohy a orientace koncového efektoru, čímž je umožněno plánování a provádění pohybů robotu. [3][5]

2.3 Pracovní prostor robotu

Prostor úkolů je definován nezávisle na robotu a určuje množinu možných pozic koncového efektoru. Vzhledem k tomu, že je řízen úkolem, nemusí být všechny konfigurace dosažitelné robotem. [6]

Dosažitelnost

Libovolného bodu v úkolovém prostoru může být dosaženo, pokud je k dispozici dostatečný počet stupňů volnosti (DOF). Pokud je robotu s n DOF uloženo m omezení, vzniká $p = n - m$ DOF redundance, která umožňuje splnění úkolu více konfiguracemi.

Nulový prostor je tvořen konfiguracemi, ve kterých není pohybem robotu ovlivněna prováděná úloha. Tento prostor je využíván k optimalizaci sekundárních cílů, jako je minimalizace energie nebo vyhýbání se překážkám, zatímco primární úkol zůstává splněn. [6][5]

Pracovní prostor

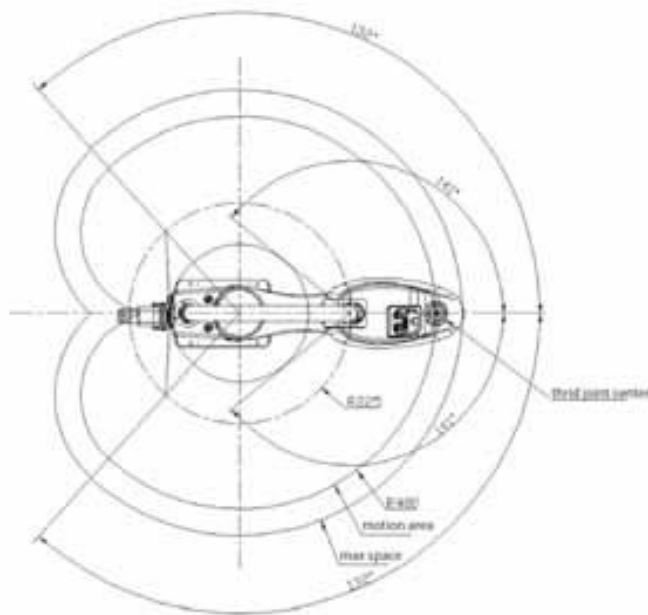
Pracovní prostor robotu, označovaný také jako operační prostor, je definován jako oblast konfigurací (poloh a orientací), které mohou být dosaženy koncovým efektozem nebo nástrojem robotu.

Velikost a tvar pracovního prostoru jsou určovány typy spojů, délkami spojů a použitým nástrojem. Pracovní prostor se liší podle typu, konfigurace a zamýšlené aplikace robotu, přičemž je omezen dosahem robotu a možnostmi kolizí mezi jeho částmi.

U planárních robotů je pracovním prostorem plocha v rovině (podmnožina $\mathbb{R}^2 \times S^1$), zatímco u prostorových robotů objem ve 3D (podmnožina $\mathbb{R}^3 \times S^3$). Technické listy výrobců obsahují diagramy pracovního prostoru, které znázorňují dosah zápěstí robotu bez ohledu na orientaci nebo délku nástroje.

Pracovní prostor robotického ramene je definován jako oblast, do které může být dosaženo koncovým efektozem a ve které může být prováděna práce.

Příklad: Ve výrobním prostředí je robotické rameno využíváno k manipulaci s předměty na pracovním stole. Pracovní prostor je určen objemem prostoru nad stolem, ke kterému může být umožněn přístup ramene. [6][5]



Obrázek 2 Pracovní prostor robotu SCARA [7]

3 ŘÍZENÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Řízení průmyslových robotů zahrnuje komplexní systém. U automatizovaných výrobních procesů se klade důraz na efektivitu a přesnost prováděných úkolů. Systém integruje různé podsystémy, jako jsou například senzory, pohony nebo řídicí jednotky, aby bylo dosaženo koordinovaných pohybů robotu. [8]

3.1 Základní principy řízení

Řízení se zaměřuje na strategie k dosažení požadovaného chování systému pomocí zpětné vazby a regulace. U průmyslové robotiky jde o navržení řídicího systému, který udrží stabilitu a přesnost na změny prostředí. [8]

3.1.1 Otevřená a uzavřená řídicí smyčka

Řízení s otevřenou řídicí smyčkou, známé také jako systém bez zpětné vazby, bylo definováno jako řídicí proces, ve kterém existuje pouze dopředné působení, ale neexistuje zpětné spojení mezi řídicím a řízeným zařízením. Neboli vstupní signál není ovlivněn výstupním signálem. [9]

Spojité řízení v uzavřené smyčce

V uzavřené řídicí smyčce je procesní proměnná udržována na požadované hodnotě prostřednictvím zpětné vazby. Regulátor vyhodnocuje odchylku mezi naměřenou a požadovanou hodnotou a na základě tohoto rozdílu je generován chybný signál. Tento signál určuje korekční zásah akčního členu, který následně upravuje řízený proces. Příkladem je tempomat v automobilech, kde je rychlost monitorována rychloměrem. Pokud je příliš nízká, motoru je dodáno více paliva, pokud je příliš vysoká, přívod paliva je omezen. [9]

Diskrétní řízení v uzavřené smyčce

U diskrétního procesu je zájmová proměnná měřena pouze při výskytu spouštěcí události a sekvence měření, rozhodování a aktivace je provedena jednorázově pro každou takovou událost. Zpětnovazební smyčky u diskrétních procesů jsou jednodušší než u spojitých

regulací, jelikož u nich nevzniká tak výrazná setrvačnost. Například při řízení vozidla je na začátku cesty změřeno okolní světlo a v případě nedostatečného osvětlení jsou rozsvícena světla. Další úprava není nutná až do nové spouštěcí události, například konce cesty. [9]

Řízení v otevřené smyčce

Regulátory s otevřenou smyčkou nevyužívají zpětnou vazbu a provádí řízení na základě předem daných instrukcí bez ohledu na dosažené výsledky. Přesto můžou detekovat, zda bylo požadované akce dosaženo, avšak spíše z bezpečnostních důvodů než jako součást řídicího procesu. [9]

Kombinace řízení s otevřenou a uzavřenou smyčkou

Hlavní nevýhodou řízení s otevřenou smyčkou je ztráta přesnosti, protože bez zpětné vazby není možné zajistit, že požadovaný výsledek bude skutečně dosažen. Pro zvýšení přesnosti se často kombinuje řízení s otevřenou a uzavřenou smyčkou pomocí strategie dopředné vazby. Tento přístup umožňuje provádět počáteční řídicí pohyby na základě matematického modelu procesu a následně měřit výsledky a provádět korekce pomocí zpětnovazebního regulátoru. Dopředná vazba se osvědčila zejména v případech, kdy je možné měřit blížící se změnu předtím, než ovlivní proces. Pokud je možné přesně předpovědět její dopad na základě modelu, může řídicí jednotka přijmout preventivní opatření k minimalizaci odchylky. Například automobil s tempomatem a radarem může detekovat blížící se stoupání a začít zrychlovat ještě před tím, než by vůz začal zpomalovat. Přestože by výsledná rychlost nemusela být ihned přesně odpovídající požadované hodnotě, další korekce zpětnovazebního regulátoru by zajistily dosažení optimálního stavu. Bez této předběžné informace by tempomat začal reagovat až ve chvíli, kdy by se vůz již zpomalil pod požadovanou rychlost, což by vedlo k opožděným korekcím. [9]

3.1.2 Senzory v řízení průmyslových procesů

Senzory jsou v průmyslové automatizaci klíčovým prvkem, který umožňuje monitorování a řízení různých procesů. Jsou využívány k detekci a měření parametrů, jako je teplota, tlak, vlhkost, průtok, pohyb a poloha. Naměřené hodnoty jsou převáděny na elektrické signály a v reálném čase poskytovány řídicím systémům, čímž je zajištěna efektivita a přesnost

výroby. Použity jsou různé technologie, například indukční, magnetorezistenci, F ultrazvukové a kapacitní senzory, které umožňují zvýšení úrovně automatizace a inteligence výrobních procesů. [10]

Funkce senzorů v automatizovaných aplikacích

Senzory umožňují automatizovaným systémům vnímat změny v jejich prostředí a adekvátně na ně reagovat. [10]

Regulace

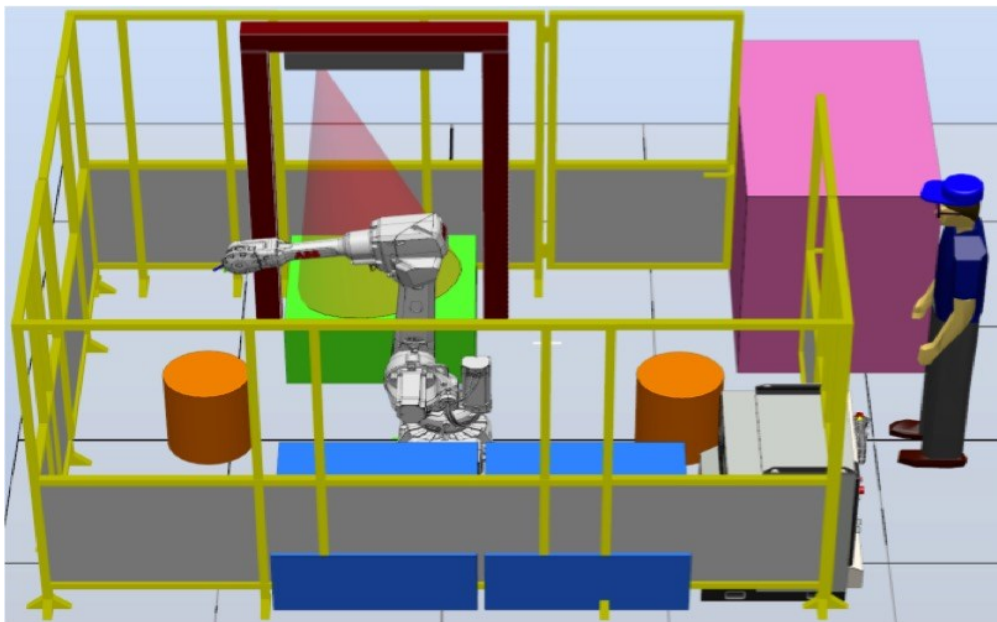
Sledovány jsou parametry výrobních procesů, jako je teplota, tlak a vlhkost. Získaná data jsou předávána řídicím systémům, které na jejich základě provádí nezbytné úpravy. Například v systému řízení teploty je měřeno aktuální teplotní rozmezí, na jehož základě je upravován výkon vytápění či chlazení s cílem udržet požadovanou hodnotu. [10]

Efektivita

Optimalizován je výkon strojů a procesů měřením veličin, jako je rychlost, teplota a tlak, což pomáhá snižovat plýtvání materiálem, spotřebu energie a dobu nečinnosti. Automatizované systémy umožňují vykonávat opakující se úkoly mnohem rychleji než lidská obsluha, čímž dochází ke snížení výrobních cyklů a zvýšení produkční kapacity. Zároveň jsou eliminována rizika spojená s prací v nebezpečných podmínkách. [10]

Bezpečnost

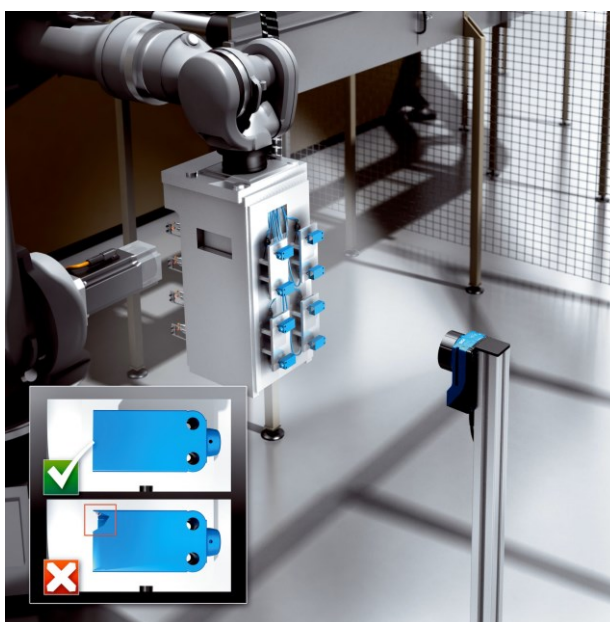
Senzory umožňují detekovat nebezpečné vlivy, například vysoké teploty, přítomnost toxických plynů nebo nadměrný tlak, a v případě nutnosti spouští výstražné signály či nouzové vypínací mechanismy. Například přiblížení k nebezpečným oblastem je sledováno pomocí senzorů přítomnosti, které umožňuje zabránit nehodám. [10]



Obrázek 3 Bezpečnostní klec [11]

Kontrola kvality

Je prováděno například měření rozměrů, tvarů a barev výrobků, stejně jako detekce defektů a odchylek od normy. Na základě těchto údajů mohou být aktivovány korekční mechanismy, které zajišťují vysokou přesnost výroby. Automatizované systémy umožňují provádět kontrolu kvality s vysokou úrovní konzistence, a navíc umožňují detekci vad, jež není možné zachytit pouhým okem, například mikroskopických prasklin. [10]



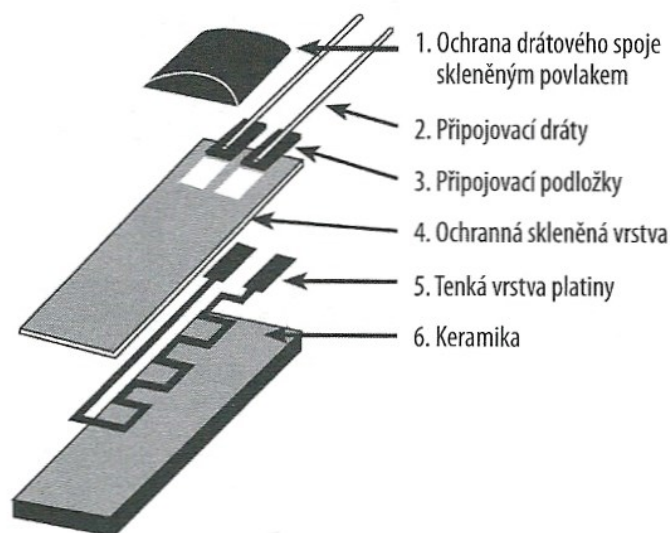
Obrázek 4 Snímač pro kontrolu kvality [12]

Typy senzorů používaných v průmyslové automatizaci

V průmyslové automatizaci jsou využívány různé typy senzorů k monitorování a řízení procesů, čímž je zajištěna vyšší efektivita, bezpečnost a kvalita výroby. [10]

Snímače teploty

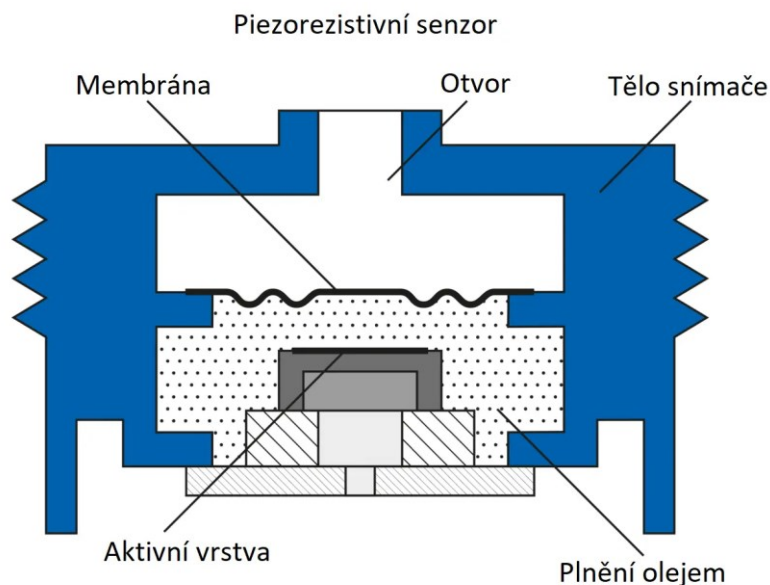
Teplotní senzory umožňují měření a kontrolu teploty v technologických procesech, materiálech a zařízeních. Jsou využívány například při regulaci teploty v čistých prostorech a serverovnách, při sledování motorů a čerpadel nebo při zpracování potravin. Pomocí těchto senzorů je udržována optimální teplota s minimální spotřebou energie. [10]



Obrázek 5 Platinové odporové čidlo [13]

Snímače tlaku

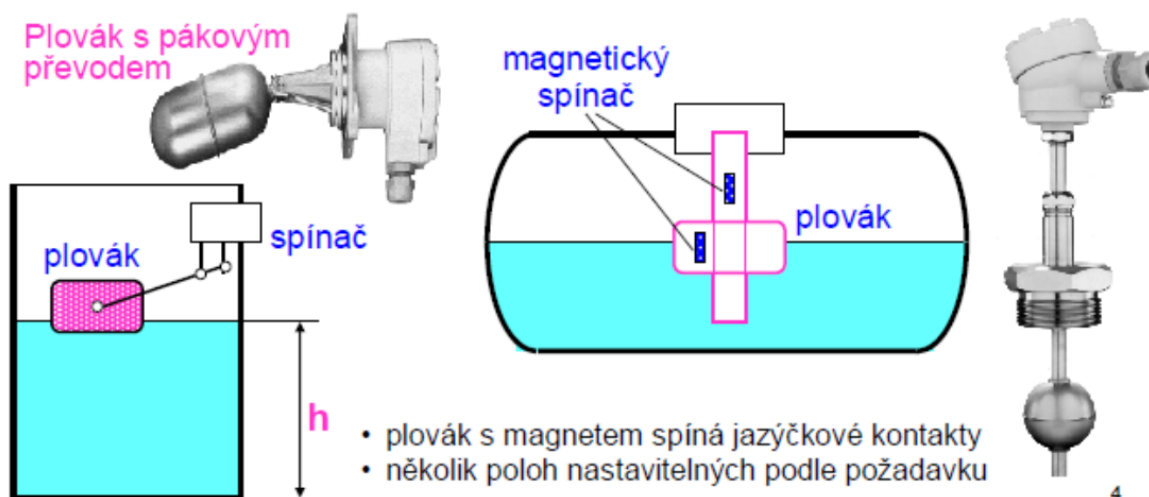
Tlakové senzory slouží k měření tlaku plynů a kapalin v hydraulických a pneumatických systémech, čímž je umožněno monitorování průmyslových čerpadel, kompresorů a detekce netěsností. V potravinářském průmyslu jsou například využívány ke sledování tlaku páry při sterilizaci zařízení nebo pasterizaci výrobků. [10]



Obrázek 6 Piezorezistivní senzor tlaku [14]

Snímače hladiny

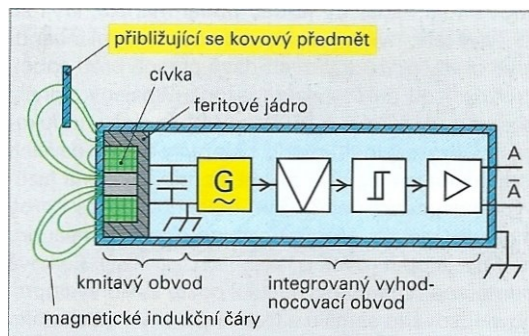
Senzory hladiny se používají k měření množství kapalin a pevných látek v nádržích či silech. Tyto systémy umožňují efektivnější řízení procesů a včasnou detekci potenciálních problémů například ve výrobě potravin a při úpravě odpadních vod. [10]



Obrázek 7 Plovákové hladinoměry [15]

Snímače polohy

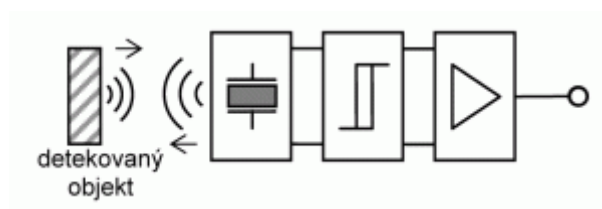
V průmyslové robotice a na montážních linkách se běžně využívají lineární a rotační snímače polohy. Tyto senzory umožňují přesné řízení pohybu strojů a sledování polohy objektů v reálném čase, čímž je zvýšena přesnost automatizovaných procesů. [10]



Obrázek 8 Indukční snímač polohy [16]

Senzory přiblížení

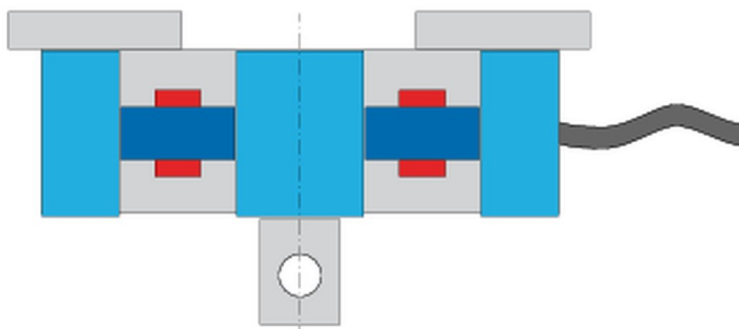
Tyto senzory jsou určeny k detekci přítomnosti objektů ve stanovené vzdálenosti. Používány jsou například v dopravníkových systémech, kde detekují přítomnost materiálu, nebo v obráběcích strojích k monitorování pohybu součástí. Na montážních linkách umožňují automatizované umístění a sestavení dílů bez zásahu obsluhy. [10]



Obrázek 9 Řazení bloků uvnitř běžného válcového senzoru [17]

Snímače síly

Senzory síly nachází uplatnění při měření zatížení působícího na povrchy či objekty. Používány jsou například pro testování pevnosti materiálů, kontrolu síly potřebné k montáži součástí nebo pro bezpečnostní monitorování, jako je detekce přetížení u zdvihacích mechanismů. [10]



Obrázek 10 Snímač síly [18]

3.1.3 Dynamika pohybu robotu a její vliv na řízení

Dynamika robotu je definována vztahem mezi působícími silami a vyvolaným zrychlením. Mechanismus robotu je modelován jako soustava tuhého tělesa, přičemž dynamika robotu je aplikována na robotické systémy. [19]

Dva hlavní problémy dynamiky robotu:

- **Dopředná dynamika:** Na základě sil jsou určována zrychlení.
- **Inverzní dynamika:** Na základě zrychlení jsou počítány působící síly. [19]

Dopředná dynamika, známá také jako přímá dynamika, je využívána především pro simulace. Inverzní dynamika je používána při řízení pohybu a sil robotu, návrhu trajektorií, optimalizaci mechanismů a v některých algoritmech dopředné dynamiky. [19]

Mezi další problémy dynamiky robotu patří:

- **Výpočet koeficientů pohybové rovnice**
- **Identifikace parametrů setrvačnosti,** při níž jsou odhadovány parametry setrvačnosti na základě dynamického chování robotu
- **Hybridní dynamika,** při níž jsou některé síly a zrychlení zadány a zbývající veličiny jsou určovány výpočtem. [19]

Pohybová rovnice pro mechanismus robotu: $\tau = H(q)\ddot{q} + c(q, \dot{q}, F_{ext})$

V této rovnici jsou q , $\dot{q}$, $\ddot{q}$ a τ označovány jako vektory polohy kloubu, rychlosti, zrychlení a síly. Každý je n -rozměrný souřadnicový vektor, kde n představuje počet (nezávislých) společných proměnných v mechanismu. Proměnné síly jsou definovány tak, že $\dot{q}^T \tau$ je síla dodávaná do systému. Tedy, $\dot{q}$ a τ jsou kvalifikovány jako soubor zobecněných proměnných rychlosti a síly pro systém.

F_{ext} je označována jako vnější síla působící na robotu v důsledku kontaktu s okolím. Obvykle je F_{ext} považována za prostorový (6D) vektor, který popisuje kontaktní sílu působící na koncový efektor robotu. Toto je vhodné, pokud je robot v kontaktu s okolím pouze prostřednictvím svého koncového efektoru. Pokud robot vytváří více kontaktů, je považováno za to, že má více koncových efektorů (např. ruce a nohy humanoidního robotu); F_{ext} je pak zřetězením jednotlivých vektorů kontaktní síly. Pokud existuje N_E koncových efektorů, je F_{ext} považována za $6N_E$ -rozměrný vektor.

H je nazývána maticí setrvačnosti kloubového prostoru a je považována za $n \times n$ symetrickou, pozitivně definitní matici. C je nazývána silou předpětí kloubového prostoru, což je hodnota síly kloubového prostoru, která musí být aplikována na systém, aby bylo dosaženo nulového zrychlení. Výrazy $H(q)$ a $C(q, \dot{q}, F_{\text{ext}})$ naznačují, že H je funkcí q , zatímco C je funkcí q , $\dot{q}$ a F_{ext} . Jakmile jsou tyto závislosti pochopeny, jsou obvykle vynechány. Společně jsou H a C považovány za koeficienty pohybové rovnice. [19]

$$T = \left(\frac{1}{2}\right) \dot{q}^T H \dot{q}$$

Dynamické modely

Koeficienty $E_q()$ nejsou závislé pouze na q , $\dot{q}$ a F_{ext} , ale také na dynamickém modelu mechanismu robotu. Tento model je popsán z hlediska jeho součástí, jako jsou tělesa, klouby a parametry, které jsou jimi charakterizovány. Dynamický model se konkrétně skládá z následujících částí: [19]

- kinematický model mechanismu robotu
- sada parametrů setrvačnosti.

Pro definování setrvačnosti jednoho tuhého tělesa je požadováno deseti parametrů setrvačnosti (hmotnost, poloha středu hmotnosti a šest parametrů rotační setrvačnosti).

Tělesa, která jsou spojena, pro vytvoření mechanismu, ztrácí se některé ze svých stupňů volnosti pohybu. V důsledku toho některé jejich parametry setrvačnosti nemusí mít vliv na dynamické chování systému nebo mohou být nerozeznatelné od algebraických kombinací jiných parametrů setrvačnosti. Pokud je tedy úkolem získání dynamického modelu mechanismu robotu z daného kinematického modelu a souboru měření jeho dynamického chování, jsou tímto postupem identifikovány základní setrvační parametry. Ty jsou souborem setrvačných pozorovatelných parametrů systému. [19]

Dynamické algoritmy

V dynamice robotů jsou používány tři hlavní algoritmy:

- **Rekurzivní Newton-Eulerův algoritmus (RNEA).** Tento algoritmus je používán k řešení problému inverzní dynamiky a má výpočetní složitost $O(n)$. Může být také použit k výpočtu C v Eq (), a může být upraven tak, aby byly vypočítány podmínky Cq' a τ_{GV} v rovnici ().
- **Algoritmus kloubového těla (ABA).** Tento algoritmus je používán k řešení problému dopředné dynamiky a má výpočetní složitost $O(n)$.
- **Algoritmus kompozitního tuhého tělesa (CRBA).** Tento algoritmus je používán k výpočtu matice setrvačnosti spojeného prostoru H a má výpočetní náročnost $O(n^2)$. Při kombinaci s RNEA pro výpočty c a řešení lineárních rovnic $Hq'' = \tau - c$ pro q'' , je výsledkem algoritmus pro řešení problému dopředné dynamiky s výpočetní složitostí $O(n^3)$. I když bude tento algoritmus nevyhnutelně pomalejší než ABA pro dostatečně velké hodnoty n , mají oba algoritmy přibližně stejnou účinnost při malých hodnotách n , jako např. $n = 6$. [19]

Pro získání hrubých hodnot účinnosti těchto algoritmů je vyžadováno asi 200 výpočtů s plovoucí desetinnou čárkou na těleso pro RNEA, asi 450 na těleso pro ABA a asi $16n^2$ pro výpočet $n \times n$ matice setrvačnosti pro CRBA. Náklady na CRBA se liší podle způsobu spojení těles, jsou podstatně levnější pro rozvětvený strom než pro dlouhý řetěz. [19]

3.2 Typy řízení pohybu

Řídicí systémy robotů jsou rozděleny do různých kategorií na základě úrovně jejich autonomie a povahy úkolů, které jsou vykonávány. Mezi nejběžnější typy patří:

Řízení v otevřené smyčce (Open-Loop Control)

Systémy řízení s otevřenou smyčkou nevyužívají zpětnou vazbu z prostředí robotu k úpravě svých činností. Spoléhají na předem definované příkazy a předpokládají předvídatelné podmínky. Tyto systémy jsou jednodušší na implementaci a finančně méně náročné, avšak vykazují nižší přesnost a omezenou schopnost přizpůsobení změnám v okolí.

Mezi příklady řídicích systémů s otevřenou smyčkou patří pásové dopravníky a automatické postřikovače. Pásové dopravníky pracují s pevně nastavenou rychlostí a směrem, přičemž předpokládají, že objekty na nich budou správně umístěny a budou se pohybovat plynule. Automatizované zavlažovače se řídí předem stanoveným plánem distribuce vody, vycházejícím z předpokladu jednotného tvaru zavlažované plochy a konstantní potřeby vody. [20]

Výhody:

- Jednoduchá a levná implementace
- Vhodné pro předvídatelné prostředí a opakující se úlohy

Nevýhody:

- Méně přesné kvůli chybějící zpětné vazbě
- Menší přizpůsobivost měnícím se podmínkám [20]

Řízení s uzavřenou smyčkou

Uzavřené řídicí systémy obsahují mechanismy zpětné vazby, které monitorují výkon robotu a provádí potřebné úpravy. Tím bylo umožněno přesnější a adaptivnější chování v dynamickém prostředí. Senzory měří výkon robotu a porovnávají jej s požadovanými parametry, čímž byl generován chybový signál. Řídicí jednotka následně tento signál využívá k úpravě činnosti robotu, čímž je minimalizována odchylka a dosažen požadovaný výsledek.

Mezi příklady řízení s uzavřenou smyčkou patří robotické manipulátory a samořízená vozidla. Robotické manipulátory využívají zpětnou vazbu z kloubových snímačů a snímačů síly k zajištění přesného polohování a kontrolovaných pohybů. Samořízená vozidla zpracovávají informace získané z kamer, radarů a lidarů v reálném čase a na základě těchto dat upravují svou trajektorii. [20]

Výhody:

- Přesnější a spolehlivější výkon
- Přizpůsobivost měnícímu se prostředí a rušivým vlivům
- Schopnost zvládat složité úkoly

Nevýhody:

- Složitější návrh a implementace
- Vyžaduje další senzory a mechanismy zpětné vazby [20]

Reaktivní řízení

Reaktivní řídicí systémy byly navrženy tak, aby přímo reagovaly na senzorické vstupy, což je činí vhodnými pro úlohy vyžadující rychlé reflexy a přizpůsobení se změnám v reálném čase. Tyto systémy obvykle neobsahují vnitřní modely ani plánovací schopnosti, avšak přesto umožňují dosažení komplexního chování díky okamžitým reakcím na podněty z okolí. [20]

Mezi příklady reaktivního řízení patří roboti inspirovaní hmyzem a roboti na bázi reflexů. Roboti inspirovaní hmyzem využívají jednoduché senzory a reaktivní řídicí algoritmy k navigaci v komplikovaném prostředí a k vyhýbání se překážkám. Roboti řízení reflexními mechanismy pak dokážou reagovat na náhlé změny v okolí, například na padající předměty nebo překážky, prováděním úhybných manévru. [20]

Výhody:

- Rychlá odezva
- Přizpůsobivost nepředvídatelnému prostředí
- Vhodné pro reaktivní úlohy

Nevýhody:

- Omezené možnosti plánování a rozhodování
- Nevhodné pro úkoly vyžadující dlouhodobé plánování nebo chování orientované na cíl [20]

Deliberativní řízení

Deliberativní řídicí systémy byly založeny na využívání interních modelů a plánovacích algoritmů k vytváření akcí na vysoké úrovni. Jsou vhodné pro složité úlohy vyžadující uvažování, rozhodování a dlouhodobé plánování. K dosažení svých cílů využívají metody reprezentace znalostí, plánování cest a optimalizace.

Mezi příklady deliberativního řízení patří robotičtí chirurgové a autonomní průzkumní roboti. Robotičtí chirurgové využívají předoperační plánování a zpětnou vazbu v reálném čase k přesnému provádění jemných chirurgických zákroků. Autonomní průzkumní roboti pracují s vnitřními mapami a plánovacími algoritmy, což jim umožňuje navigaci v neznámém prostředí, sběr dat a rozhodování o dalším postupu průzkumu. [20]

Výhody:

- Schopnost komplexního plánování a rozhodování
- Vhodné pro dlouhodobé úkoly a cíleně orientované chování
- Dokáže se vypořádat s nejistotou a neúplnými informacemi

Nevýhody:

- Výpočetně náročné
- Vyžaduje přesné interní modely a plánovací schopnosti
- Méně reaguje na okamžité podněty [20]

3.3 Softwarová podpora

Software je jednou z nejdůležitější částí robotiky. Každý robot je ovládán určitým programem, dle typu výrobce, bez kterého by nemohl plně využít svůj potenciál a efektivně fungovat. [21]

3.3.1 Přehled běžně používaných softwarových nástrojů

Robotický průmysl je založen na využívání pokročilého softwaru k navrhování, řízení a optimalizaci robotických systémů v různých aplikacích. Od průmyslové automatizace a lékařské robotiky až po autonomní vozidla a spotřebitelské roboty jsou tyto softwarové nástroje nezbytné pro vývoj inteligentních a efektivních robotických řešení. S podporou služeb vývoje softwaru je možné využít moderní technologie k posunutí hranic inovací a dosažení vyšší přesnosti a funkčnosti robotických systémů.

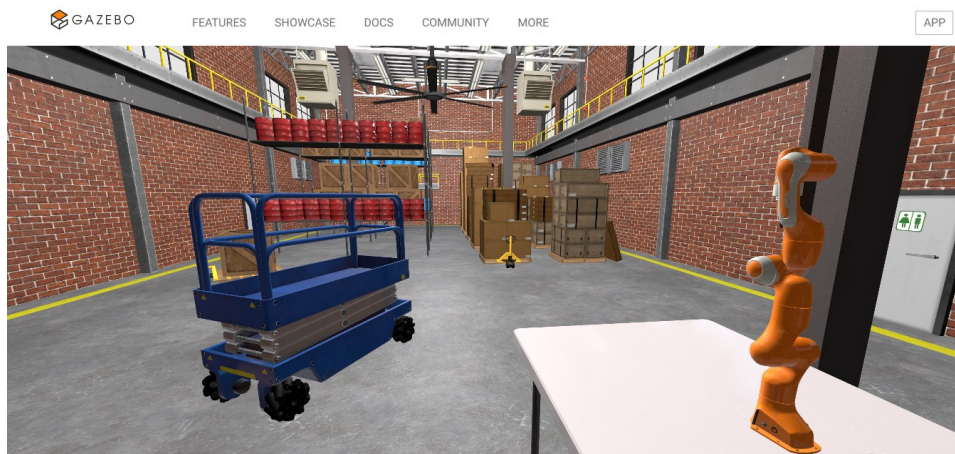
Tyto softwarové nástroje hrají klíčovou roli při rozvoji schopností robotů, a to od fáze návrhu a simulace až po řízení a samotné nasazení. Vzhledem k neustálému vývoji robotického průmyslu nabývají služby pro vývoj robotického softwaru na stále větším významu. Díky odborným znalostem v oblasti vytváření a integrace pokročilých softwarových řešení bylo umožněno inovovat a zajistit, aby robotické systémy byly efektivní, spolehlivé a schopné splnit požadavky širokého spektra aplikací. [21]

Robotický operační systém (ROS)

ROS je flexibilním frameworkem určeným pro tvorbu robotického softwaru. Nabízí nástroje a knihovny umožňující získávání, vytváření, psaní a spouštění kódu na více počítačích, což z něj činí ideální řešení pro vývoj složitých robotických systémů. [21]

Gazebo

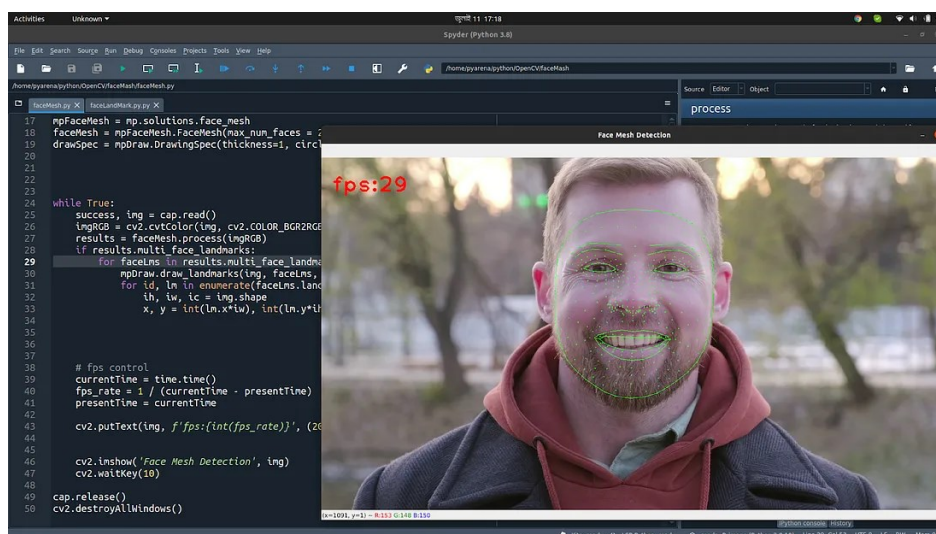
Gazebo je výkonným simulačním nástrojem pro robotiku, který se integroval s ROS. Nabízí robustní fyzikální engine, vysoce kvalitní grafiku a intuitivní rozhraní, což umožňuje simulaci složitých robotických prostředí a scénářů. [21]



Obrázek 11 Ukázka programu Gazebo [21]

OpenCV

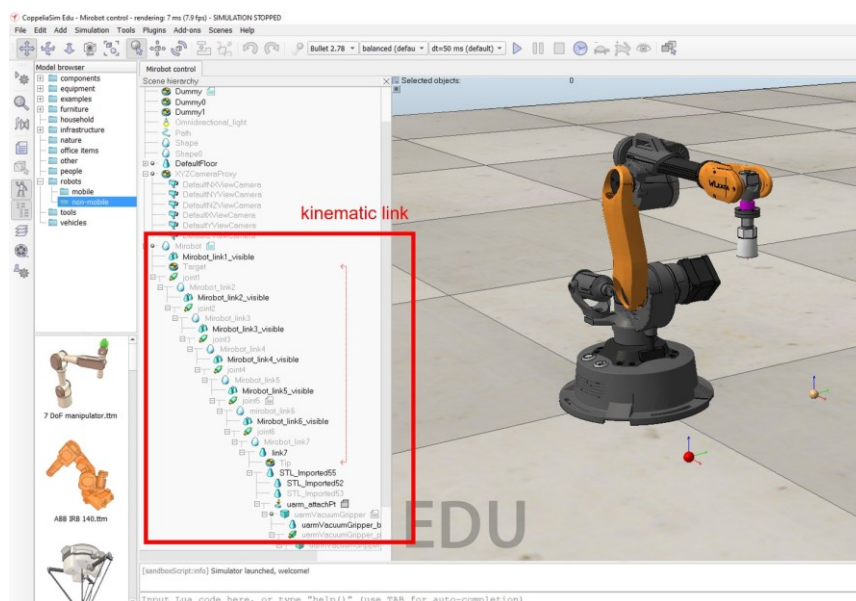
OpenCV je open-source softwarová knihovna určená pro počítačové vidění a strojové učení. Nabízí širokou škálu funkcí pro zpracování obrazu, analýzu vizuálních dat a implementaci algoritmů strojového učení, které jsou klíčové pro systémy robotického vidění. [21]



Obrázek 12 Program pro snímání obličeje [22]

V-REP

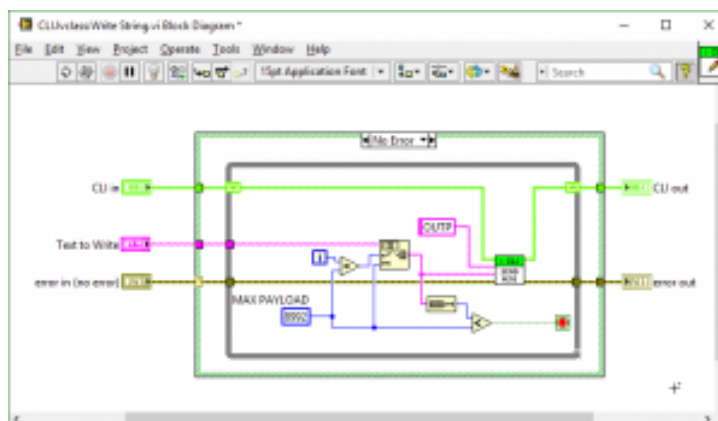
CoppeliaSim, dříve označovaná jako V-REP, je univerzální platforma pro simulaci robotů. Umožňuje simulaci různých robotických systémů a zahrnuje rozsáhlé funkce pro modelování, skriptování a testování. [21]



Obrázek 13 Ukázka programu V-REP [23]

LabVIEW

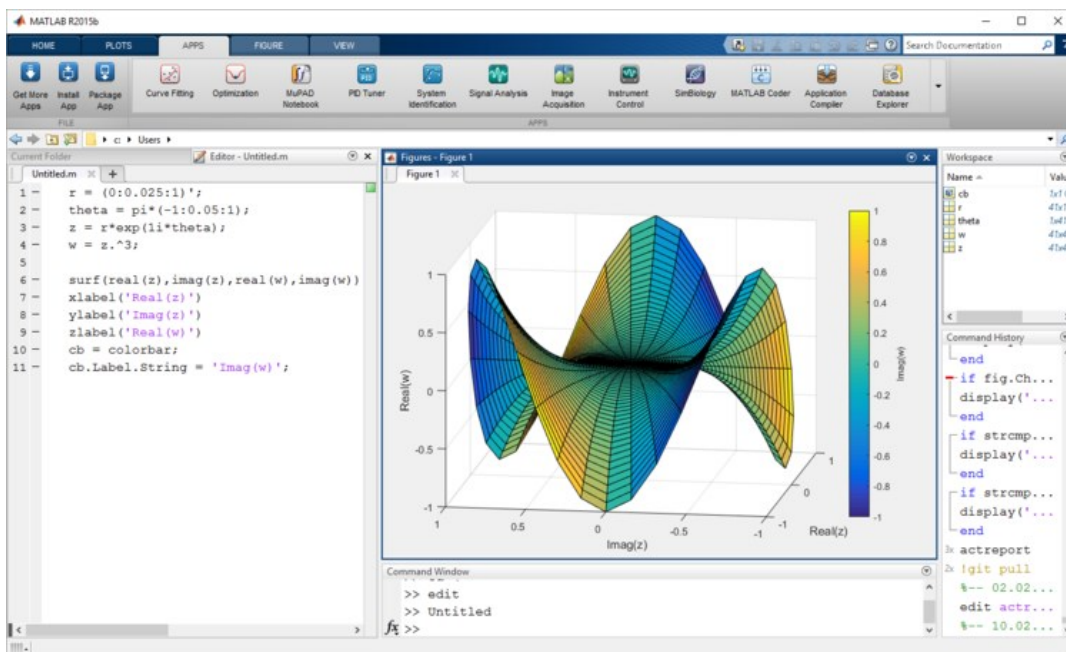
LabVIEW je platforma pro návrh systémů a vývojové prostředí využívající vizuální programovací jazyk od společnosti National Instruments. Je široce využívána pro sběr dat, řízení přístrojů a průmyslovou automatizaci. [21]



Obrázek 14 Ukázka programu LabVIEW [24]

MATLAB

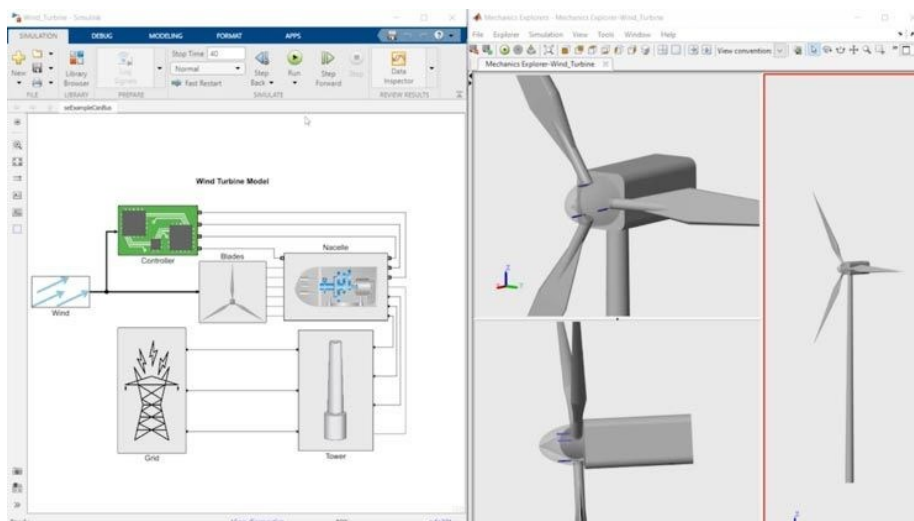
MATLAB je vysoce výkonným jazykem pro technické výpočty, který integruje výpočty, vizualizaci a programování v uživatelsky přívětivém prostředí. Je široce využíván pro vývoj algoritmů a analýzu dat v oblasti robotiky. [21]



Obrázek 15 Ukázka programu MATLAB [25]

Simulink

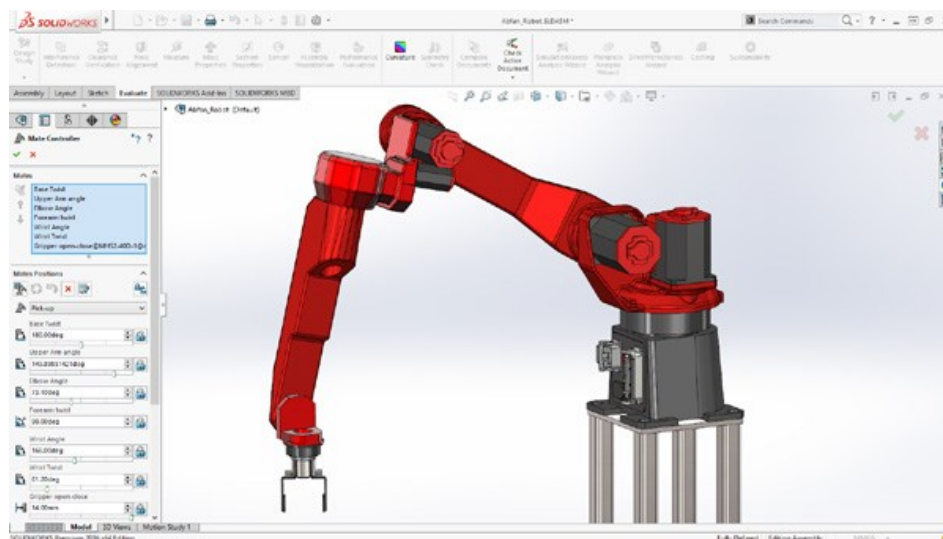
Simulink, přídatný produkt k MATLABu, poskytuje prostředí pro simulaci více domén a návrh založený na modelu. Je nezbytný pro modelování, simulaci a analýzu dynamických systémů, včetně robotických systémů. [21]



Obrázek 16 Ukázka programu Simulink [26]

SolidWorks

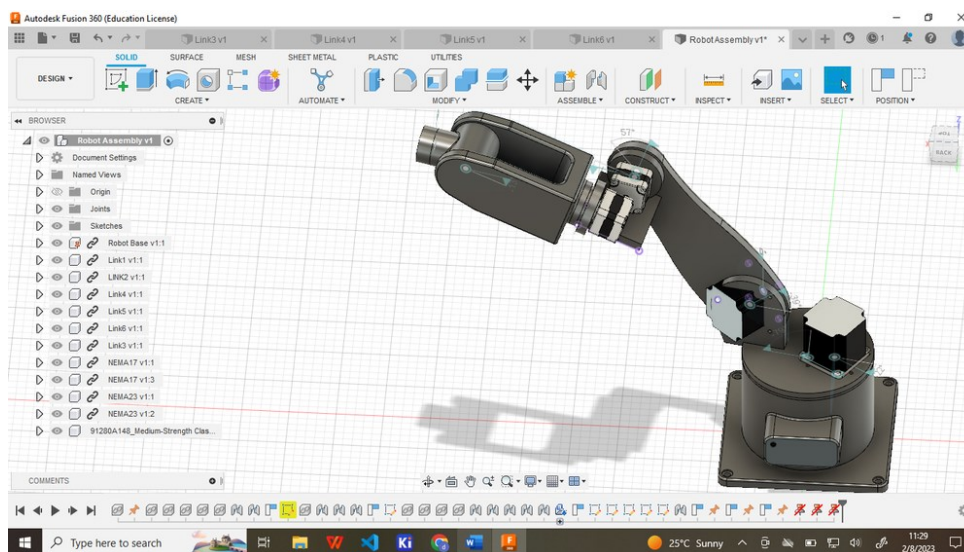
SolidWorks je softwarový program pro počítačově podporované navrhování (CAD) a počítačově podporované inženýrství (CAE). Je široce používán pro navrhování a modelování robotických dílů a sestav, což umožňuje přesné projektování a testování. [21]



Obrázek 17 Ukázka programu SolidWorks [27]

Autodesk Fusion 360

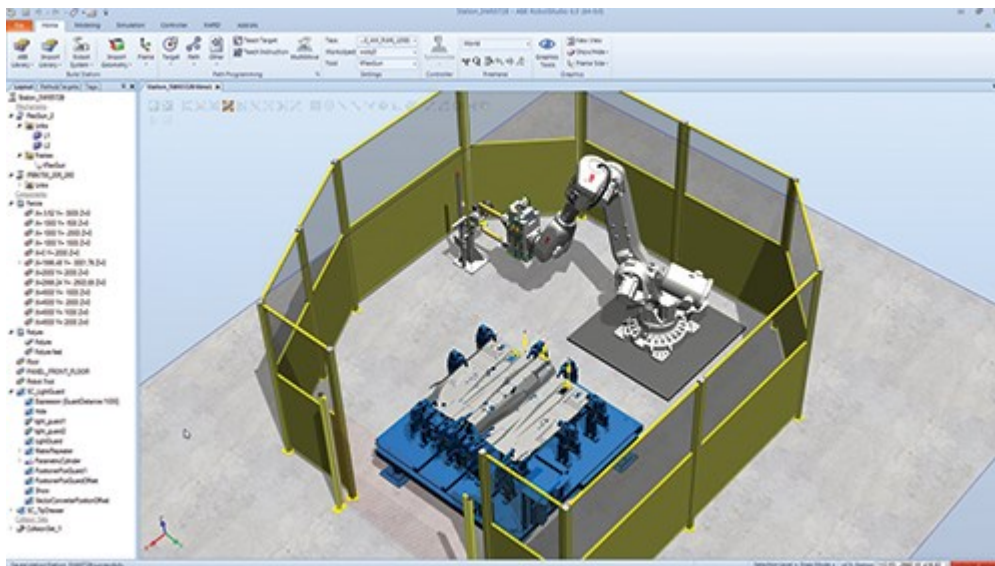
Fusion 360 je cloudový 3D CAD, CAM a CAE nástroj pro návrh a výrobu produktů. Integroval design, inženýrství a výrobu do jediné platformy, což ho činí ideálním pro vývoj robotických komponent. [21]



Obrázek 18 Ukázka programu Autodesk Fusion 360 [28]

RobotStudio

RobotStudio je off-line programovací a simulační software od ABB. Umožňuje uživatelům programovat, simulovat a optimalizovat robotická řešení ve 3D prostředí bez narušení výroby, což vede ke zvýšení produktivity a efektivity. [21]



Obrázek 19 Ukázka programu RobotStudio [29]

3.3.2 Programovací jazyky

V robotice je základ pro vývoj a simulaci tvořen konvenčními jazyky jako Python, C++, C#, Java a MATLAB. Python a C++ jsou oblíbené pro integraci s ROS, což usnadňuje experimentování. V simulacích a digitálních prostředích je excelováno C# a Java. Pro programování robotů je diktováno použití proprietárních jazyků výrobci, jako je ABB RAPID nebo KRL od KUKA, které optimalizují schopnosti robotů, ale nabízejí omezenou flexibilitu.

Výběr nejlepšího jazyka je závislý na typu projektu, robotech a požadované úrovni obtížnosti. [30]

Python

Python je považován za uživatelsky přívětivý jazyk, který usnadňuje učení nových programátorů a zrychluje vývoj. V robotice je považován za nezbytný díky bohatým knihovnám, jako jsou NumPy pro numerické zpracování, SciPy pro vědecké výpočty a

ROSPy pro interakci s robotickým operačním systémem. Frameworky TensorFlow a PyTorch umožňují integraci umělé inteligence. Python je tedy považován za klíčový jazyk v komerční robotice i výzkumu. [30]

C++

C++ je považován za klíčový jazyk pro programy, kde je důležitá rychlost. Jako nízko úrovněvý jazyk poskytuje vysokou kontrolu nad systémovými prostředky a hardwarem. Je považován za ideální pro aplikace v reálném čase, jako jsou automatizované výrobní linky nebo drony, kde umožňuje optimalizaci systému. C++ je také běžně používán pro tvorbu rámců a knihoven v robotice díky své spolehlivosti a přesnosti při složitých výpočtech a správě paměti. [30]

Java

Díky nezávislosti na platformě je Java považována za ideální pro síťové nebo distribuované robotické systémy, kde je vyžadována přenositelnost softwaru mezi různým hardwarem. Aplikace v Javě mohou být používány na jakékoli platformě, která podporuje JVM. Pro správu heterogenních sítí robotů nebo integraci systémů napříč různými operačními prostředími je JVM považována za zásadní. Java také poskytuje vlastní bezpečnostní funkce a efektivní řešení chyb, což umožňuje vývojářům bezpečně pracovat na aplikacích, které mohou narazit na různé provozní podmínky a kybernetické hrozby. [30]

JavaScript

Role JavaScriptu byla rozšířena s tím, jak byly robotické systémy integrovány do webu a zařízení internetu věcí. JavaScript je používán k vytvoření uživatelského rozhraní pro ovládací panely robotů a pro interakci s webovými službami. Poskytuje model řízený událostmi, což je výhodné pro práci s daty ze senzorů nebo pro jakékoli asynchronní úlohy v pracovním postupu robotu. Knihovny JavaScriptu, jako je Johnny-Five, byly představeny dalším nadšencům IoT a robotiky založené na Linuxu. Díky tomu je považován za zvláště vhodný nástroj pro prototypování projektů a jejich hostování na různých webových platformách. [30]

MATLAB

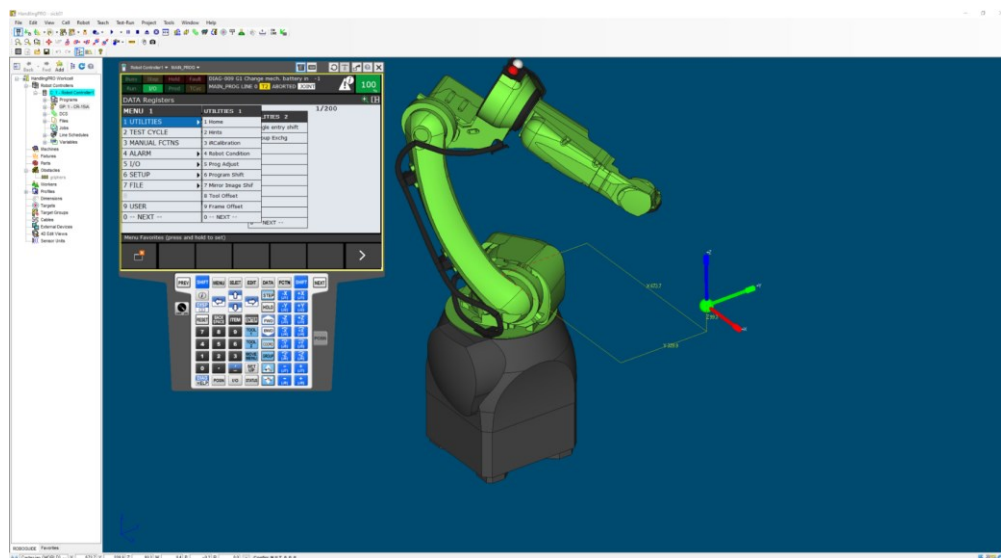
MATLAB je používán v prostředích, jako jsou robotické navigační systémy nebo tam, kde je potřeba složitá simulace. V těchto situacích je MATLAB často využíván, protože zahrnuje matematické modelování a analýzu dat. Disponuje mnoha funkcemi a sadami nástrojů pro navrhování řídicích systémů a dokáže rychle zpracovat a vizualizovat velké množství dat. Díky schopnosti rychle přeměnit data z reálného světa na použitelné znalosti je MATLAB považován za vynikající nástroj pro výzkumníky a studenty. [30]

3.3.1 Programovací jazyky pro řízení robotů

Efektivní programování robotů je nezbytné pro realizaci automatizace. Jazyky a přístupy k programování robotů jsou specifikovány třemi předními společnostmi v oblasti průmyslové robotiky: FANUC, ABB a Kuka. Pochopení složitosti programování těchto robotů je nezbytné pro jejich integraci do výrobních procesů. Tyto informace ovlivňují výkon, minimalizují prostoje a zajišťují špičkový výkon. [30]

FANUC

Robotické systémy FANUC jsou programovány s využitím široké nabídky proprietárních balíčků, jako je 2D/3D vidění (iRVision) a ovládání síly (DispensePRO), které mají za cíl zkrátit dobu integrace a odstraňování problémů. Vysoká kapacita užitečného zatížení (až 2,3 tuny pro průmyslové roboty a 50 kg pro kolaborativní roboty) je také poskytována. KRL je k dispozici pro pokročilé uživatele, kteří ho používají pro výpočty a komunikaci, přičemž možnosti řízení pohybu jsou omezené a mohou být způsobeny problémy kvůli jeho nízkoúrovňové povaze. [30]



Obrázek 20 Ukázka programu pro robot FANUC [31]

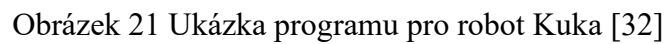
ABB

Robotické systémy ABB jsou ceněny pro svou všestrannost a poskytují programovací prostředí zaměřené na adaptabilitu. ABB RobotStudio je považováno za klíčový nástroj, který umožňuje programátorům modelovat a ověřovat robotické procesy, což vede k identifikaci a řešení problémů před implementací, čímž je zajištěn hladký přenos do reálných scénářů.

RAPID, proprietární programovací jazyk ABB, je používán jako rozhraní pro tvorbu složitých programů robotů. Pochopení syntaxe a příkazů RAPID je považováno za nezbytné pro dosažení maximálního využití potenciálu robotů ABB. [30]

Kuka

Sofistikované programování robotů Kuka je vyžadováno pro pochopení řízení pohybu, KRL a funkcí jako řízení síly. Při práci s KRL je vyžadováno zvládnutí jeho složité syntaxi. Řízení pohybu je považováno za kritické, zejména pro koordinaci kloubového a kartézského pohybu. Specializované balíčky pro řízení síly jsou Kuka poskytovány, což umožňuje jemnou citlivost na dotyk nebo sílu. Tyto znalosti jsou považovány za klíčové pro nasazení robotů Kuka ve specializovaných úkolech a splnění průmyslových potřeb. [30]



Obrázek 21 Ukázka programu pro robot Kuka [32]

4 BEZPEČNOSTNÍ ASPEKTY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Bezpečnost u robotů je zásadní pro ochranu pracovníků a k zajištění plynulého chodu provozu. Roboty musí být vybaveny senzory, ochrannými kryty, nouzovými tlačítky a dalšími prostředky pro minimalizaci nehod. Důležitou roli zde hraje také pravidelná údržba a bezpečnostní normy. [33]

4.1 Bezpečnostní aspekty průmyslových robotů

V roce 2022 bylo celosvětově instalováno více než 553 000 průmyslových robotů, přičemž v roce 2024 se očekával další nárůst. S rostoucím využitím robotických systémů je nezbytné zajistit jejich bezpečný provoz.

Mezi hlavní bezpečnostní rizika patří neočekávané pohyby, systémová selhání, kolize či elektrická nebezpečí. Z tohoto důvodu jsou zaváděny účinné bezpečnostní protokoly a využívány moderní technologie, jako senzory, kolaborativní roboti a inteligentní řídicí systémy, které minimalizují rizika a umožní bezpečnou spolupráci s lidmi.

Dodržování bezpečnostních norem a neustálé zdokonalování ochranných opatření jsou klíčové pro udržitelný rozvoj automatizace a ochranu pracovníků v průmyslovém prostředí. [33]

4.1.1 Bezpečnostní rizika průmyslových robotů

Ačkoli průmyslové roboty přinášejí značné výhody, jejich provoz bez odpovídajících bezpečnostních opatření může představovat vážná rizika. Mezi nejčastější bezpečnostní hrozby patří neočekávané pohyby, selhání systému, nebezpečí kolize a elektrická rizika. [33]

Neočekávané pohyby robotů

Průmyslové roboty vykonávají složité úkoly, avšak v důsledku programových chyb nebo mechanických poruch může docházet k nepředvídatelným pohybům. Například u robotického ramene v automobilovém průmyslu je zaznamenáno riziko nekontrolovaného vysunutí mimo stanovený rozsah, což mohlo ohrozit pracovníky v blízkosti. [33]

Selhání systému

Průmyslové roboty nejsou imunní vůči technickým poruchám, které by mohly způsobit ztrátu kontroly nad jejich pohybem. V některých případech vede selhání systémových komponent k náhlým zastavením nebo nepravidelným pohybům. Například u paletizačních robotů dochází ke kritickým poruchám v důsledku opotřebení mechanických částí, což může vést k nečekaným změnám trajektorie pohybu. [33]

Nebezpečí kolize

Ve sdíleném pracovním prostoru s lidmi se zvyšuje riziko kolizí mezi roboty a pracovníky. Tento problém se projevuje především při ručním programování, údržbě nebo v případech, kdy člověk neúmyslně vstoupí do pracovního prostoru robotu. Například mobilní robot přepravující materiál může při neočekávaném pohybu pracovníka způsobit nehodu, pokud nebyly implementovány pokročilé detekční systémy. [33]

Elektrická nebezpečí

Průmyslové roboty jsou napájeny vysokonapěťovými elektrickými systémy, což představuje riziko úrazu elektrickým proudem nebo požáru. Během údržby svařovacích robotů, které vyžadovaly vysokonapěťové napájení, docházelo k situacím, kdy neadekvátní bezpečnostní opatření vedla k nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Například při absenci řádného uzamčení elektrického obvodu mohli být pracovníci vystaveni vysokému riziku zranění. [33]



Obrázek 22 Značení pro elektrické nebezpečí [34]

Dodržování bezpečnostních standardů a implementace pokročilých bezpečnostních prvků je klíčové pro minimalizaci uvedených rizik a zajištění bezpečného provozu průmyslových robotů. [33]

4.1.2 Strategie zmírnění rizik

Snížení bezpečnostních rizik spojených s provozem průmyslových robotů vyžaduje komplexní přístup zahrnující posouzení rizik, implementaci preventivních opatření a dodržování bezpečnostních protokolů. Mezi klíčové strategie řízení rizik patří následující postupy:

- **Identifikace potenciálních rizik**

Je prováděna podrobná inspekce pracovního prostoru robotů s cílem určit možné zdroje ohrožení.

- **Hodnocení rizik**

Je analyzována pravděpodobnost výskytu jednotlivých nebezpečí a jejich potenciální dopad na pracovníky a výrobní procesy.

- **Stanovení kontrolních opatření**

Jsou navrženy strategie eliminace nebo minimalizace rizik spojených s identifikovanými hrozbami.

- **Implementace a monitorování opatření**

Přijatá kontrolní opatření jsou uplatňována v praxi a jejich účinnost je průběžně vyhodnocována s cílem zajistit optimální bezpečnostní standardy. [33]

4.1.3 Preventivní opatření pro zajištění bezpečnosti

Pro minimalizaci bezpečnostních rizik jsou na robotických pracovištích implementována preventivní opatření. Ochranné kryty a tlačítka nouzového zastavení slouží jako okamžitá opatření k přerušení provozu robotu v případě ohrožení. Fyzické bariéry, včetně bezpečnostních plotů a světelných závor, vymezují pracovní prostor robotů a zabraňují neoprávněnému přístupu, čímž snižují pravděpodobnost kolizí. Zavedení bezpečnostních

senzorů a systémů strojového vidění umožňuje detekci přítomnosti osob v blízkosti robotů, přičemž v případě potřeby dochází k automatickému zastavení provozu. [33]

4.1.4 Bezpečnostní protokoly

Nedílnou součástí bezpečnostního managementu je zavedení přísných bezpečnostních protokolů. Klíčovým opatřením se stalo pravidelné školení zaměstnanců, které zahrnuje správné postupy při manipulaci s roboty, identifikaci možných rizik a správnou reakci v případě mimořádné situace. Pravidelná bezpečnostní školení a simulace krizových scénářů přispívají k udržení vysokého povědomí o bezpečnosti.

Kromě toho je podporován proaktivní přístup k bezpečnosti, kdy jsou zaměstnanci motivováni k hlášení potenciálních rizik a navrhování možných zlepšení bezpečnostních opatření. Tím je podporována kultura bezpečnosti, která přispívá k prevenci pracovních úrazů a efektivnímu řízení rizik při práci s průmyslovými roboty. [33]

4.1.5 Pokroky v bezpečnostních technologiích

V posledních letech byly vyvinuty pokročilé bezpečnostní technologie, které výrazně přispěly k ochraně pracovníků v průmyslových provozech. Tyto inovace umožnily bezpečnější spolupráci mezi člověkem a robotem. Mezi klíčové pokroky patří zejména senzorové systémy, kolaborativní roboty a softwarová řešení. [33]

Senzorové systémy a strojové vidění

Pokročilé senzory a systémy strojového vidění jsou integrovány do průmyslových robotů, aby umožnily detekci přítomnosti osob v jejich pracovním prostoru. Na základě těchto informací může být činnost robotů automaticky upravena – například zpomalena nebo zastavena – čímž se minimalizuje riziko kolizí. Tyto technologie jsou široce využívány v prostředích, kde roboty a lidé sdílí pracovní prostor, což umožňuje bezpečnější provoz bez nutnosti rozsáhlých fyzických bariér. [33]

Kolaborativní roboty (coboty)

Kolaborativní roboty byly navrženy s cílem zajistit bezpečnější spolupráci mezi lidmi a roboty. Jsou vybaveny senzory síly a momentu, které umožňují omezení jejich výkonu a okamžité zastavení v případě kontaktu s člověkem. Díky své pohyblivosti a kompaktním rozměrům mohou být nasazeny v různých výrobních procesech bez nutnosti dodatečných bezpečnostních opatření, což usnadňuje jejich integraci do průmyslové výroby. [33]

Softwarová řešení pro bezpečnost a prediktivní údržbu

Moderní softwarová řešení byla vyvinuta s cílem zajistit nepřetržité monitorování provozu robotů a identifikaci potenciálních poruch. Algoritmy prediktivní údržby analyzují data ze senzorů a na základě historických údajů předpovídají možné selhání komponent. Díky těmto predikcím může být údržba plánována s dostatečným předstihem, čímž se sníží riziko havárií a nečekaných odstávek. Softwarová řešení rovněž umožňují dynamickou úpravu bezpečnostních parametrů robotů a v případě zjištění rizika může dojít k automatickému přerušení jejich činnosti. [33]

Implementace těchto technologických pokroků umožnila efektivní využití průmyslové automatizace při současném zachování vysoké úrovně bezpečnosti pracovníků. Vývoj v oblasti robotiky se v minulých letech soustředil na integraci inteligentních bezpečnostních prvků, které přispěly k ještě efektivnější a bezpečnější spolupráci mezi člověkem a robotem. [33]

4.1.6 Regulační a bezpečnostní normy

Bezpečnost při používání průmyslových robotů byla kromě technologického pokroku zajištěna také souborem regulačních a bezpečnostních norem. Tyto normy stanovily zásady pro návrh, instalaci a provoz robotických systémů s cílem minimalizovat rizika spojená s jejich používáním. [33]

Obsahové průmyslové normy OSHA

Úřad pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (OSHA) nestanovil specifické normy pro oblast robotiky, avšak prosazoval obecné průmyslové standardy, které se na robotické operace vztahovaly. Mezi klíčové požadavky patřila kontrola nebezpečné energie, ochrana strojních zařízení a dodržování elektrických bezpečnostních postupů. V jednotlivých státech mohly být zavedeny přísnější předpisy, což odráželo potřebu detailního přístupu k bezpečnosti v prostředí s automatizovanými systémy. [33]



Obrázek 23 OSHA normy [35]

Normy ANSI/RIA pro průmyslové roboty

Americký národní normalizační institut (ANSI) ve spolupráci s Asociací robotického průmyslu (RIA) vypracoval specifické normy zaměřené na bezpečnost průmyslových robotů. Například norma **ANSI/RIA R15.06-2012** stanovila požadavky na bezpečný návrh, instalaci a integraci robotických systémů. Součástí této normy byla také metodika hodnocení rizik a zásady návrhu ochranných prvků. Tyto normy sice nebyly závazné, pokud nebyly implementovány do legislativních předpisů, přesto však hrály klíčovou roli při zajišťování bezpečnosti pracovišť, kde se roboty využívaly. [33]

Mezinárodní normy ISO

Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) vydala několik norem zaměřených na bezpečnost robotických systémů. Normy **ISO 10218-1** a **ISO 10218-2** stanovily požadavky na konstrukci a integraci robotických systémů, přičemž definovaly bezpečnostní opatření nutná k minimalizaci rizik. Kromě toho norma **ISO/TS 15066** rozšířila tyto požadavky o specifická pravidla pro kolaborativní roboty a jejich bezpečné soužití s lidskými pracovníky.

Dodržování těchto norem umožnilo vytvoření bezpečného pracovního prostředí, kde mohly robotické systémy efektivně fungovat vedle lidských operátorů. Přijetím těchto standardů do podnikových procesů se nejen zvýšila bezpečnost zaměstnanců, ale rovněž se zlepšila produktivita a provozní efektivita průmyslových podniků. [33]

4.2 Monitoring a údržba

Monitoring a údržba jsou důležitým aspektem pro dlouhodobost a výkon robotů. Průběžná kontrola umožňuje včas odhalit závady, společně s tím pravidelná údržba prodlužuje životnost strojů. [36]

4.2.1 Architektura systému

Pro systematické monitorování, vyhodnocování, diagnostiku a predikci poruch bylo navrženo řešení vzdáleného provozu a údržby průmyslových robotů. Architektura tohoto systému se skládala z okrajových bran a centrálního údržbového centra.

Okrajové brány byly umístěny v základních jednotkách a každá z nich odpovídala jednomu průmyslovému robotu. Prostřednictvím síťové komunikace TCP/IP se uskutečňuje výměna informací s řídicí jednotkou robotu, zatímco sběrníkové rozhraní RS-485 umožňuje získávání interních stavových dat ovladače. V reálném čase se tak realizuje analýza signálů a extrakce klíčových funkcí. Údržbové centrum je založeno na cloudovém serveru, kde je nasazena softwarová platforma pro vizualizaci vzdáleného provozu. Tento systém umožňuje analýzu a ukládání dat, sledování provozních trendů, vyhodnocování stavu robotů a implementaci varovných hlášení v případě zjištění anomálií. [36]

4.2.2 Implementace systému

Průmyslové roboty pracují ve dvou režimech: online provozním režimu a režimu vzdáleného uvedení do provozu. V online provozním režimu jsou vykonávány běžné operace na výrobní lince, přičemž okrajová brána zajišťuje monitorování pracovních podmínek robotu a sběr dat v reálném čase za stejných provozních podmínek.

V režimu vzdáleného uvedení do provozu je inženýrům umožněno získat přístup k ovládání robotu prostřednictvím sítě vzdáleného monitorování. Provoz robotu je řízen předem nastavenými řídicími příkazy a stavová data jsou získávána v průběhu testování. Na základě těchto dat jsou vyhodnocovány výsledky testů a analyzován celkový stav robotu. [36]

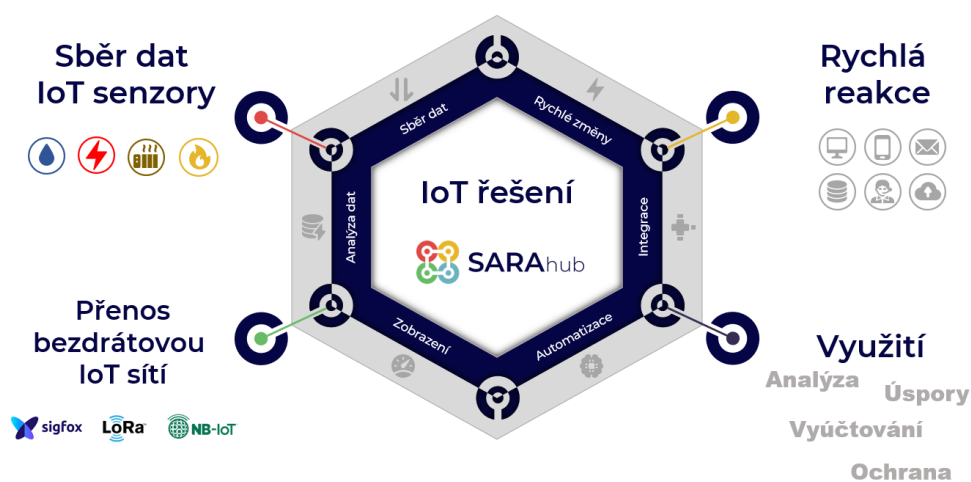
5 MODERNÍ TRENDY V ROBOTICE

Nejmodernější trend v robotice nynější doby je integrace umělé inteligence, která umožňuje robotům učit se přizpůsobit novým situacím. Dále se čím dál více používají kolaborativní roboti, pro bezpečnou spolupráci s lidmi. Důležitý směr udává také IoT, neboli propojení robotů s cloudovými systémy pro vzdálené řízení a analýzu. [37]

5.1 Integrace s IoT

Do oblasti robotiky nepatřilo pouze propojení jednotlivých zařízení, ale také vytvoření inteligentních systémů, které se dokázaly přizpůsobit a učit se na základě svého okolí. Tyto propojené robotické softwary byly schopny optimalizovat procesy, předpovídat potřeby údržby a zlepšovat rozhodovací schopnosti díky využití výměny dat v reálném čase a pokročilých algoritmů umělé inteligence.

Díky integraci s IoT bylo možné nasadit roboty do inteligentních továren, kde spolupracovali s lidskými pracovníky na optimalizaci výrobních linek, nebo do autonomních vozidel pohybujících se v městském prostředí. S dalším rozvojem IoT byla průmyslová odvětví transformována, což umožnilo zvýšení efektivity, bezpečnosti a inovací v rámci automatizovaných systémů. [37]



Obrázek 24 Řešení IoT [38]

5.1.1 Použití IoT

Integrace IoT do robotických systémů umožnila výrazné zlepšení robotického softwaru prostřednictvím síťové infrastruktury určené pro komunikaci a výměnu dat. Robotické senzory nepřetržitě shromažďovaly data o interakcích s uživateli, ukazatelích výkonu a faktorech prostředí, která byla následně přenášena přes internet na centralizované servery nebo cloudové platformy k analýze.

Na základě získaných poznatků mohly roboty upravovat své chování v reálném čase, optimalizovat svůj provoz a autonomně přijímat rozhodnutí. Internet věcí také umožnil vzdálené monitorování a ovládání robotických systémů, což operátorům poskytlo možnost efektivní správy robotických skupin odkudkoli na světě. Celkově integrace IoT přispěla k revoluci v automatizaci napříč průmyslovými odvětvími a rozšířila schopnosti robotiky v oblasti inteligence, konektivity a adaptace na měnící se podmínky. [37]



Obrázek 25 Využití IoT [39]

5.1.2 Vlastnosti IoT

Integrace mnoha technologií do robotického softwaru zlepšuje komunikaci, spolupráci a přizpůsobivost v měnícím se prostředí, což zvyšuje výkonnost a produktivitu. [37]

Vzdálené monitorování a provoz

Díky připojení IoRT mohou operátoři vzdáleně monitorovat a ovládat robotické systémy odkudkoli s přístupem k internetu, což umožňuje efektivní správu a dohled. [37]

Autonomní rozhodování

Robotický software efektivně využívá AI algoritmy a množství dat, které umožňují autonomní rozhodování na základě informací v reálném čase. [37]

Prediktivní údržba

Využitím funkce prediktivní údržby poskytuje software IoRT cenné poznatky, které usnadňují včasné zásahy údržby a zajišťují, že zařízení pracuje s maximální efektivitou, přičemž se předchází nákladným poruchám. [37]

Sběr dat v reálném čase

Software IoRT shromažďuje data v reálném čase z různých senzorů a zařízení, čímž uživatelům poskytuje přehled o jejich okolí, efektivitě a výkonnosti. [37]

Efektivní správa zdrojů

Internet věcí v robotice zvyšuje efektivitu zdrojů tím, že nabízí přehled o spotřebě energie, využití materiálu a efektivitě pracovních postupů. Výsledkem jsou finanční úspory a ekologické výhody. [37]

Poznatky založené na datech

IoRT usnadňuje shromažďování a analýzu obrovského množství dat produkovaných robotickými systémy, což podnikům poskytuje užitečné informace pro rozhodování, optimalizaci procesů a průběžný vývoj. [37]

Zvýšená bezpečnost a zabezpečení

Implementace robustních bezpečnostních postupů a bezpečnostních opatření v softwarovém řešení IoRT zajišťuje bezpečný provoz a ochranu před kybernetickými útoky. [37]

Propojení a spolupráce

IoRT podporuje interoperabilitu a koordinaci ve složitých prostředích tím, že umožňuje softwaru komunikovat a spolupracovat s dalšími objekty a systémy, které podporují IoT. [37]

5.1.3 Pokročilé funkce IoTR

Pokročilé funkce IoRT umožňují systémům předvídat a předcházet selháním, neustále zlepšovat výkonnost prostřednictvím poznatků založených na datech a podporovat intuitivnější a kooperativnější vztahy mezi lidmi a roboty. [37]

Personalizace a přizpůsobení

IoT integrace umožňuje robotickému softwaru přizpůsobit akce a úkoly individuálním potřebám, zohlednit preference uživatele a faktory prostředí a zlepšit tak uživatelský zážitek. [37]

Edge Computing

The Internet of Robotic Things může zpracovávat data lokálně a v reálném čase s využitím možností Edge computingu. To snižuje latenci a závislost na cloudové infrastruktuře a umožňuje rychlejší odezvu na důležité činnosti. [37]

Přizpůsobivost prostředí

Pomocí spousty senzorů se může robotický software přizpůsobit měnícím se faktorům prostředí, jako je vlhkost, teplota a osvětlení, což vede k optimálnímu výkonu v různých provozních scénářích. [37]

Vylepšená interakce mezi člověkem a robotem

IoRT zlepšuje interakci mezi člověkem a robotem tím, že umožňuje softwarovým systémům porozumět lidské řeči, gestům a příkazům a reagovat na ně. Podporuje také intuitivnější a přirozenější komunikaci. [37]

Kolaborativní učení

IoT v robotice usnadňuje kolaborativní učení mezi robotickými systémy tím, že jim umožňuje sdílet data, zkušenosti a poznatky, což vede ke kolektivnímu zlepšování výkonu a schopností v průběhu času. [37]

5.1.4 Transformace IoT v robotice

Integrace IoT a robotiky zásadně mění průmyslová odvětví a pracovní sílu a přináší novou éru efektivity, inovací a příležitostí. [37]

Zvýšení produktivity a efektivity

Robotické systémy s funkcemi šarží automatizují náročné a opakující se operace, což vede k výraznému zvýšení produktivity a efektivity. To se promítá do kratších dodacích lhůt, nižší chybovosti a zlepšení dodavatelských řetězců v odvětvích, jako je výroba, což podporuje celkovou expanzi a konkurenceschopnost společnosti.

Navíc tato zvýšená produktivita a efektivita umožňuje podnikům přesunout lidské zdroje na strategičtější, inovativnější činnosti s přidanou hodnotou, a vybudovat tak zajímavější a uspokojivější pracovní prostředí. Podnikům také otevírá cestu k dosažení udržitelného růstu optimalizací využití zdrojů a minimalizací plýtvání, což dále posiluje jejich konkurenční výhodu na rychle se vyvíjejícím trhu. [37]

Vytváření pracovních míst s vysokou přidanou hodnotou

Automatizace může nahradit některé manuální úkoly, ale také zvýšit poptávku po vysoce placených pozicích v oblasti kybernetické bezpečnosti, umělé inteligence, robotického inženýrství a analýzy dat. Tato změna podporuje vyšší vzdělanost pracovní síly, což podporuje inovace a hospodářskou expanzi.

Tento posun k vysoce hodnotným pozicím navíc zdůrazňuje význam neustálého vzdělávání a adaptability pracovní síly, což nutí odborníky získávat nové dovednosti v souladu s technologickými průlomy. Navíc podněcuje průmyslové a akademické partnery ke spolupráci při vytváření studijních programů, které se přizpůsobují měnícím se požadavkům trhu práce, a zajišťují tak talentovanou populaci připravenou pohánět budoucí inovace. [37]

Zvýšená kvalita života

Prostřednictvím telemedicíny, robotický asistované chirurgie a sofistikovaných diagnostických nástrojů zlepšuje robotika ve zdravotnictví péči o pacienty. Robotická zařízení mohou poskytnout tolik potřebnou nezávislost a podporu starším a zdravotně postiženým osobám. Kromě zdravotnictví internet věcí a robotika zlepšují kvalitu života lidí tím, že automatizují denní povinnosti.

Například osobní asistenti a inteligentní systémy zabezpečení a pohodlí v domácnosti uvolňují lidem čas, který mohou věnovat svým rodinám. Tyto inovace také umožňují vzdálené monitorování a asistenci, čímž nabízejí klid rodinám se staršími členy nebo osamělým osobám a zajišťují jejich bezpečnost a pohodu i na dálku. [37]

Zvýšené bezpečí

Roboti mohou převzít rizikové práce na nebezpečných pracovištích, jako jsou chemické továrny nebo staveniště, a snížit tak počet pracovních úrazů a zvýšit bezpečnost. Senzory IoRT mohou také nepřetržitě monitorovat okolní prostředí a lépe tak chránit zaměstnance. Začlenění nositelných spousty zařízení navíc přidává vrstvu osobní bezpečnosti tím, že umožňuje zaměstnancům sledovat jejich zdraví v reálném čase a identifikovat indikátory vyčerpání, únavy nebo vystavení nebezpečným materiálům.

Tento proaktivní přístup zdůrazňuje důležitost zdraví a bezpečnosti každého člověka a nejenže zastavuje incidenty dříve, než k nim dojde, ale také podporuje kulturu bezpečnosti a pohody na pracovišti. [37]

Udržitelnost

IoT v robotice optimalizuje spotřebu energie a snižuje množství odpadu, čímž podporuje udržitelnost. Techniky přesného zemědělství mohou například snížit množství vody, hnojiv a pesticidů používaných v zemědělství, což vede k ekologicky šetrnějším zemědělským metodám.

Kromě zlepšení zemědělství umožňují tyto technologie chytrým městům snížit emise uhlíku a lépe nakládat s odpady zavedením efektivní veřejné dopravy a energeticky úsporné výstavby. Integrace robotiky a losování do městské infrastruktury zlepšuje kvalitu života obyvatel a vede k udržitelnější a ekologicky uvědomělejší budoucnosti. [37]

Zlepšené rozhodování

Internet věcí v robotických systémech může zefektivnit provoz a podpořit inovace v oblasti analýzy dat a rozhodování spousta zařízení shromažďuje obrovské objemy dat, proto jsou robotické systémy se senzory a schopnostmi AI nezbytné pro efektivní sběr dat v různých kontextech.

Díky automatické analýze strojů a včasné identifikaci potenciálních závad software IoRT výrazně AI iniciativy prediktivní údržby tím, že snižuje prostoje a prodlužuje životnost aktiv. Kromě toho tyto robotické systémy optimalizují pracovní postupy a zvyšují provozní efektivitu zefektivněním postupů na základě poznatků z analýzy dat o šaržích. [37]

Personalizované zážitky zákazníků

Díky IoRT mohou podniky lépe porozumět potřebám zákazníků a předvídat je, což vede k poutavějším a talentovanějším zákaznickým zkušenostem. IoRT například dokáže sledovat stažení zboží v reálném čase a roboti mohou poskytovat individualizovanou asistenci při nakupování.

Tato technologie navíc umožňuje vytvářet dynamické profily uživatelů, což podnikům umožňuje nabízet vysoce personalizovaný marketing, zboží a služby, které odpovídají určitému vkusu a zvyklostem. Tento stupeň personalizace vytváří užší spojení mezi podnikem a jeho zákazníky tím, že jim dává pocit, že si jich váží, a tím zvyšuje spokojenost a loajalitu spotřebitelů. [37]

5.1.5 Průmyslové aplikace IoT

Robotika má mnoho aplikací, od optimalizace výrobních procesů a zvyšování efektivity až po vzdálené monitorování a asistenci. [37]

Dodavatelský řetězec a logistika

Náš robotický software poháněný šaržemi automatizuje logistické procesy, jako je vychystávání, třídění a doplňování zboží, a mění řízení zásob. Tyto systémy se efektivně pohybují ve skladovém prostředí pomocí mnoha senzorů a analýzy dat, čímž zkracují dobu plnění objednávek a snižují náklady na pracovní sílu.

IoRT v automobilovém průmyslu zlepšuje efektivitu výroby a kontrolu kvality výrobních procesů tím, že provádí svařování, lakování a montážní práce.

Odborníci ze společnosti Appinventiv vyvinuli ActiDrive, průlomovou aplikaci pro rozpoznávání gest postavenou na technologii IoRT. Využitím síly intuitivních gest umožňuje ActiDrive řidičům bezproblémový přístup k funkcím jejich mobilního zařízení, aniž by odváděli pozornost od silnice.

Toto inovativní řešení upřednostňuje bezpečnost a pohodlí a umožňuje řidičům zůstat ve spojení a zároveň se soustředit na řízení díky ActiDrive mohou řidiči bez námahy navigovat a stav připojení s bezkonkurenční lehkostí, čímž nastavují nový standard pro konektivitu ve vozidle a zlepšují celkový zážitek z jízdy. [37]

Školství

Roboti napojení na IoT přinášejí revoluci do vzdělávání, protože studentům poskytují poutavé a zajímavé zážitky z výuky. Tito roboti využívají praktická cvičení a reálné aplikace k zapojení studentů do výuky programování, robotiky nebo předmětů STEM.

Vzdělávací instituce mohou prohloubit pochopení složitých předmětů u studentů tím, že zvýší jejich zapojení a porozumění prostřednictvím mnoha technologií. Tito roboti také pomáhají studentům rozvíjet jejich kreativitu, schopnost řešit problémy a pracovat v týmu, což jim pomůže v budoucím zaměstnání.

Společnost Pearson plc využívá roboty ve výuce prostřednictvím svých výukových sad STEM. Vzdělávací instituce mohou pěstovat schopnosti STEM a zážitkové učení tím, že dětem představí roboty a myšlenky kódování prostřednictvím produktů, jako je program Pearson Robots for Kids. [37]

5.1.6 Výzvy spojené s IoT

Při implementaci spousty robotických systémů se mohou vyskytnout různé problémy, které mohou vést k větší složitosti integrace. [37]

Ochrana osobních údajů

Shromažďování a analýza obrovského množství dat z mnoha senzorů a robotických operací vyvolává obavy z narušení soukromí. Zabezpečení citlivých a osobních údajů je jednou z největších výzev v oblasti dodržování zákona o ochraně osobních údajů.

Šifrovací technologie a zavedení explicitních standardů správy dat mohou zlepšit ochranu soukromí dat.

Zavedení taktik, jako je anonymizace a redukce dat, může snížit shromažďování a uchovávání nadměrného množství osobních údajů, aby se zajistil soulad s požadavky na ochranu údajů. [37]

Obavy o bezpečnost

Zařízení IoT a robotické systémy jsou náchylné ke kybernetickým bezpečnostním hrozbám, jako jsou hackerské útoky, úniky dat a útoky malwaru.

Zavedení robustních opatření kybernetické bezpečnosti, jako je šifrování, více faktorová autentizace a řízení přístupu, může pomoci zmírnit bezpečnostní rizika spojená s mnoha zařízeními a robotickými systémy. Pravidelné bezpečnostní audity, aktualizace firmwaru a systémy detekce narušení jsou nezbytné pro proaktivní identifikaci a řešení zranitelností. [37]

Etické a regulační výzvy

Přijetí mnoha robotických technologií je výrazně ztíženo nutností vyvážit soulad s předpisy a etickými hledisky. Zatímco předpisy poskytují rámec pro zajištění bezpečnosti, soukromí a odpovědnosti, etická dilemata mohou nastat, pokud regulační normy neřeší odpovídajícím způsobem vznikající problémy.

Proto je pro organizace zásadní vytvořit kulturu etického vědomí a odpovědnosti. Toho lze dosáhnout zahrnutím různých pohledů do rozhodovacích postupů a podporou transparentnosti při vytváření a zavádění IoT a robotických technologií. [37]

Integrace se staršími systémy

Integrace mnoha a robotických technologií do starších systémů a stávající infrastruktury může být obtížná kvůli problémům s kompatibilitou a požadavku na výrazné úpravy nebo modernizaci systému.

Organizace mohou k vyřešení problému integrace robotiky a mnoha a technologií se staršími systémy využít standardizovaná rozhraní API a middlewarová řešení. Vyřešením problémů s kompatibilitou umožňují tyto technologie hladkou komunikaci a výměnu dat mezi novou a starou infrastrukturou. [37]

5.2 Umělá inteligence a adaptivní řízení

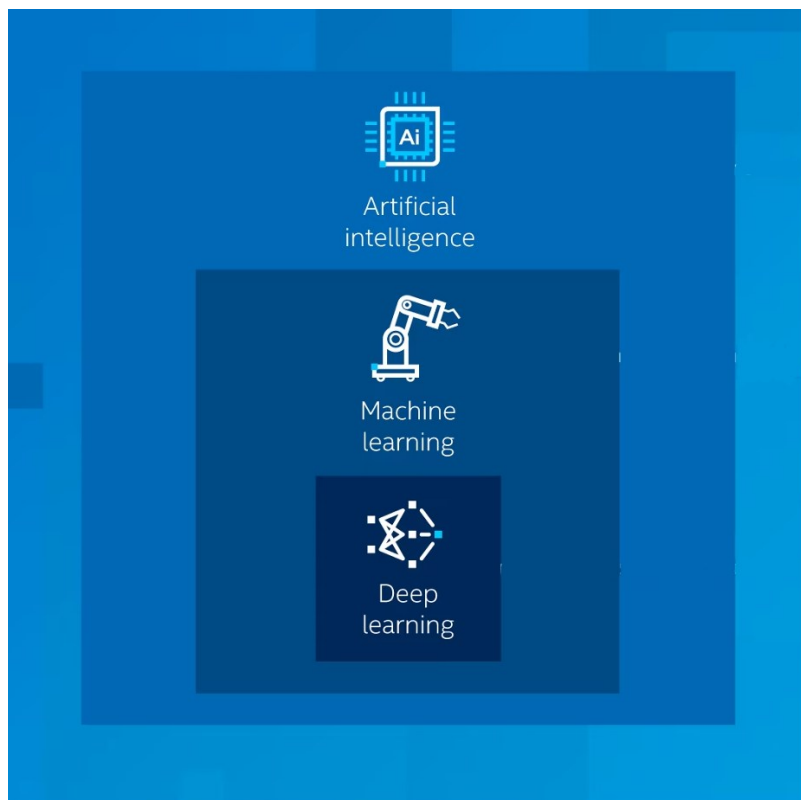
Myšlenka robotů poháněných umělou inteligencí byla po celá desetiletí zdrojem fascinace a inspirace. To, co bylo dříve považováno za sci-fi, se postupně stalo realitou v mnoha průmyslových odvětvích.

Roboti s umělou inteligencí jsou využíváni k propojení technologií s lidskou prací a k optimalizaci podnikových procesů. V maloobchodě poskytují zákazníkům personalizované informace, zatímco v zemědělství se podílí na sklizni plodin. V průmyslovém prostředí zajišťují bezpečnost pracovníků tím, že operují ve sdílených prostorech a autonomně vykonávají složité úkoly, jako je řezání, broušení, svařování či kontrola výrobků. [40]

5.2.1 Roboty poháněné umělou inteligencí

Roboty poháněné umělou inteligencí jsou vybaveny širokou škálou senzorů, včetně zařízení pro vidění, jako byly 2D/3D kamery, senzory vibrací, senzory přiblížení, akcelerometry a další senzory okolního prostředí. Tyto senzory jim poskytují snímaná data, která mohou být analyzována a využita k reakci v reálném čase.

Umělá inteligence byla definována jako široká třída systémů, které umožňují strojům napodobovat pokročilé lidské schopnosti a tím zvyšovat jejich autonomii a efektivitu v různých průmyslových aplikacích. [40]



Obrázek 27 Schéma robotů poháněných AI [41]

Po integraci umělé inteligence bylo možné využít roboty k inovaci a transformaci podnikových procesů. Mezi nejběžnější typy robotů poháněných umělou inteligencí, které byly v současnosti využívány, patří:

Autonomní mobilní roboty (AMR)

Při pohybu autonomních mobilních robotů (AMR) v prostředí jim umělá inteligence umožňuje:

- Zachytávat informace prostřednictvím 3D kamer a senzorů.
- Analyzovat shromážděná data.
- Vyvozovat závěry na základě okolního prostředí a specifikace úkolu.
- Pohybovat se nebo vykonávat činnosti s cílem dosažení optimálního výsledku.

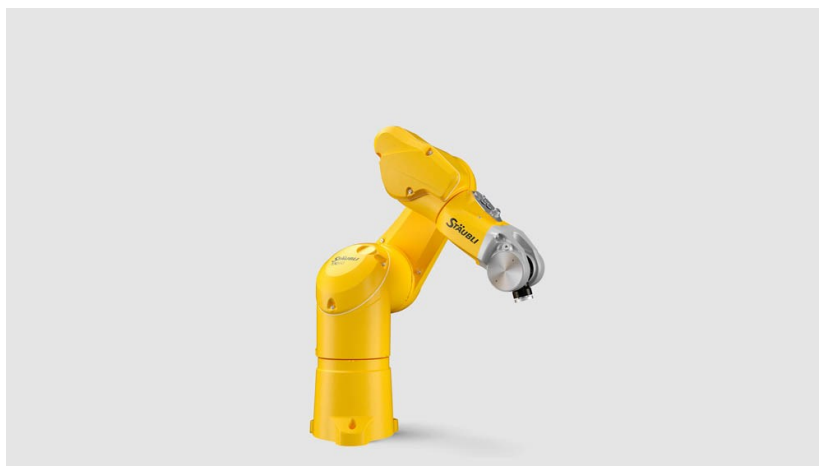
Úkoly a akce vykonávané AMR s podporou umělé inteligence se liší v závislosti na odvětví. Například při přesunu inventáře ve skladu bylo možné těmto robotům vyhnout se překážkám, jako jsou pracovníci nebo spadlé krabice, a současně určit nejefektivnější trasu pro dokončení úkolu. [40]



Obrázek 28 ARM roboty [42]

Kloubové roboty (robotické paže)

Technologie AI byla využita k analýze dat ze senzorů vidění, včetně 2D/3D kamer, což umožnilo segmentaci a interpretaci scén, stejně jako detekci a klasifikaci objektů. [40]



Obrázek 29 Kloubový robot Staubli [43]

Coboti

Umělá inteligence umožňuje cobotům reagovat na lidskou řeč a gesta a učit se z nich bez školení za pomoci pracovníka. [40]



Obrázek 30 Cobot Kuka [44]

5.2.2 Výhody integrace AI

Ačkoli se integrace umělé inteligence do stávajícího provozu nebo obchodního modelu mohla zpočátku jevit jako náročná, dosažené přínosy výrazně převážily nad vzniklými problémy. [40]

Zvýšená produktivita a efektivita

Moderní podniky čelily rostoucím nárokům ze strany zákazníků, kteří požadovali rychlejší doručení, zainteresovaných stran usilujících o vyšší produktivitu a efektivitu, a pracovníků, kteří chtěli přispívat bez nadměrné únavy či rizika zranění. Roboti s umělou inteligencí byli nasazeni k podpoře těchto požadavků tím, že prováděli opakující se a časově náročné úkoly, jako byla kontrola zásob a upozorňování personálu na vyprodané či nesprávně umístěné položky v maloobchodních prostředích. Tento přístup zrychlil dodávání produktů, zvýšil produktivitu a umožnil pracovníkům soustředit se na kvalifikovanější úkoly, například zlepšování procesů, řešení problémů s AMR nebo vývoj nových inovací. [40]

Vylepšená kvalita a přesnost

Roboti s umělou inteligencí byli vybaveni schopností vnímat a analyzovat své okolí, což jim umožnilo provádět složité úkoly, jako byly kontroly kvality na montážních linkách. V

průmyslových aplikacích se využívají k průběžné kontrole kvality výrobků přímo během výroby, čímž se eliminovala potřeba provádět tyto kontroly až na konci procesu. Tento přístup vede k úspoře času i nákladů pro výrobce. Příkladem využití této technologie bylo partnerství společnosti Audi se společnostmi Intel a Nebbiolo Technologies, které umožnilo zlepšení kontroly svarů a optimalizaci procesů kvality prostřednictvím robotických ramen využívajících strojové učení a prediktivní analýzu. [40]

Zvýšená bezpečnost pracovníků

Roboti s umělou inteligencí sehráli klíčovou roli při zvyšování bezpečnosti na pracovišti. V ropném a plynárenském průmyslu jsou často využíváni k provádění sběru dat a bezpečnostních inspekcí v nebezpečném prostředí, čímž se minimalizovalo riziko pro lidské pracovníky. Díky schopnosti učit se z lidských gest a řeči neustále zlepšovali svou efektivitu při plnění úkolů a zároveň jsou schopni bezpečně spolupracovat se zaměstnanci. [40]

5.2.3 Schopnosti AI robotu

Aby byl robot skutečně inteligentní, je zapotřebí několik kritických schopností. Tyto schopnosti umožňují vnímat okolní prostředí, zpracovávat informace a vhodně na ně reagovat. [40]

Zvýšená bezpečnost pracovníků

Strojové učení bylo zásadní pro schopnost robotů s umělou inteligencí postupně se zdokonalovat při plnění úkolů. Umožnilo jim využívat data v reálném čase a kontextové informace získané z jejich zkušeností k rozvoji nových učebních procesů a schopností. Díky tomu jsou roboti schopni reagovat na nové a jedinečné problémy, se kterými se setkávají ve svém prostředí. [40]

Zpracování přirozeného jazyka (NLP)

Zpracování přirozeného jazyka (NLP) je technologií umělé inteligence, která umožňuje robotům porozumět lidskému jazyku tak, jak je mluvený. Roboti s AI a NLP obvykle vykonávají úkoly, jako je:

- Odpovídání na otázky kladené lidmi
- Rozpoznávání řeči
- Určování sentimentu řeči [40]

NLP umožňuje robotům s umělou inteligencí v oblastech, jako je maloobchod, zdravotnictví a pohostinství, komunikovat se zákazníky prostřednictvím bezdotykových kiosků, fungovat jako virtuální asistenti v bankách pro minimalizaci mezilidských kontaktů, nebo bavit obyvatele v komunitách důchodců. [40]

Konverzační AI

Konverzační umělá inteligence využívá data, NLP a strojové učení k vylepšení interakcí mezi roboty s umělou inteligencí a lidmi. Cílem použití konverzační AI u AMR nebo humanoidních robotů je poskytnout více interakcí mezi lidmi a počítači, které jsou podobné lidským. S každou interakcí robot zaznamená dialog, zpracuje ho, odpoví a zlepší své schopnosti pro další interakce. Například restaurace Lee's Famous Chicken Restaurants v Ohiu začaly používat konverzační AI řešení k pozdravu zákazníků v drive-thru, odpovídání na dotazy o menu a přijímání objednávek, čímž se vypořádaly s nedostatkem zaměstnanců. [40]

II PRAKTICKÁ ČÁST

6 PRŮMYSLOVÝ ROBOT STÄUBLI TS2-60

Firma Stäubli je globální dodavatel průmyslových a mechatronických systémů. Společnost byla založena v roce 1892 jako malá dílna ve Švýcarsku a dnes je mezinárodní skupinou, která působí ve 28 zemích. Ve všech průmyslových odvětvích jsou poskytována komplexní řešení s dlouhodobou podporou. [45]



Obrázek 31 Robotické stanoviště SCARA TS2-60

6.1 Technické parametry a vlastnosti robotu

SCARA modely TS2-60 jsou čtyř osé stroje s patentovanou technologií pohonu JCS, která umožňuje velmi krátký časový cyklus a vysokou opakovatelnost. Jsou zapouzdřeny v konstrukci, která otevírá nové možnosti použití v citlivém prostředí. Je řízen generickou řídicí jednotkou CS9. [2]

Integrace

- Pracovní rozsah osy 1: $\pm 180^\circ$
- Vysoká obratnost na malém pracovním prostoru díky kompaktní integraci motorů
- Možnost montáže na podlahu, strop, stěnu
- Integrovaný elektrický a pneumatický obvod včetně Cat5e až do konce ramene
- Různé typy pneumatických ventilů
- Možnost utěsněného vertikálního kabelu pro inteligentnější integraci
- Možnost zdvihu 400 mm [2]

Výkon

- Lehká a pevná konstrukce
- Patentovaná inteligentní převodovka JCS
- Vysoká dynamika, obratnost, přesnost dráhy díky vyšší frekvenci pohonu zapouzdřeném v olejové lázni (dokonalé mazání umožní vysoce dynamický pohyb)
- 19bitové bezpečné digitální více otáčkové absolutní snímače
- Dynamická absolutní kalibrace
- Měnič nástrojů
- Pneumatické, napájecí a signální kontakty (Cat5e)
- Kompaktní integrovaný měnič nástrojů [2]

Spolehlivost

- Nízké nároky na uvedení do provozu a údržbu
- Bez baterií v rameni a v řídicí jednotce pro udržení kalibrace
- Komponenty jsou snadno přístupné a vyměnitelné
- Inteligentní převodovka JCS (vyšší životnost, nižší nároky na údržbu) [2]

Konektivita (připojení k inteligentní výrobě)

- Kompatibilita s výrobním zařízením a ERP
- Standardizované komunikační protokoly, včetně Ethernetu v reálném čase
- Webový server v řídicí jednotce CS9
- Inteligentní data pro digitální výrobu
- Systémová data přístupná a propojitelná se všemi rozhraními, včetně OPC UA [2]

Konektivita (připojení k chapadlu a vyráběným dílům)

- Integrovaný měnič nástrojů (automatické/ruční použití)
- Zapouzdřený Ethernet Cat5e pro multi-gripper, kameru, senzory
- Propojení pro další ventily nebo zařízení (tlakové, vakuové) [2]

Model	TS2-60
Stupně volnosti	4
Nosnost	8,4 kg
Dosah	620 mm
Zdvih	200 nebo 400 mm
Opakovatelnost XY	$\pm 0,01$ mm
Opakovatelnost Z	$\pm 0,004$ mm
Opakovatelnost RZ	$\pm 0,01^\circ$
Třída ochrany – EN 60529	Až IP65 s krytem s kulovým šroubem a měchy
Způsob připojení	Podlaha/strop
Ovladač	CS9

Tabulka 1 Technické parametry robotu ST2-60 [2]

6.2 Možná komerčně dostupná řešení

Model	Yamaha YK400 XR
Stupně volnosti	4
Nosnost	3 kg
Dosah	400 mm
Zdvih	150 mm
Opakovatelnost XY	$\pm 0,01$ mm
Opakovatelnost Z	$\pm 0,01$ mm
Opakovatelnost RZ	$\pm 0,01^\circ$
Třída ochrany – EN 60529	IP20
Způsob připojení	Stůl/stěna/strop
Ovladač	RCX340

Tabulka 2 Technické parametry robotu amaha YK400 XR [46]

Model	Epson T6-B SCARA
Stupně volnosti	4
Nosnost	6 kg
Dosah	600 mm
Zdvih	200 mm
Opakovatelnost XY	$\pm 0,02$ mm
Opakovatelnost Z	$\pm 0,02$ mm
Opakovatelnost RZ	$\pm 0,02^\circ$
Třída ochrany – EN 60529	IP20
Způsob připojení	Stůl
Ovladač	Vestavěný

Tabulka 3 Technické parametry robotu Epson T6-B [47]

Model	Mitsubishi RH-3FRH5515 SCARA
Stupně volnosti	4
Nosnost	3 kg
Dosah	550 mm
Zdvih	150 mm
Opakovatelnost XY	$\pm 0,012$ mm
Opakovatelnost Z	$\pm 0,010$ mm
Opakovatelnost RZ	$\pm 0,004^\circ$
Třída ochrany – EN 60529	IP20
Způsob připojení	Stůl
Ovladač	CR800-D

Tabulka 4 Technické parametry robotu Mitsubishi RH-3FRH5515 [48]

Model	Omron i4L SCARA
Stupně volnosti	4
Nosnost	5 kg
Dosah	350/450/550 mm
Zdvih	180 nebo 350 mm
Opakovatelnost XY	$\pm 0,01$ mm
Opakovatelnost Z	$\pm 0,01$ mm
Opakovatelnost RZ	$\pm 0,01^\circ$
Třída ochrany – EN 60529	IP20
Způsob připojení	Stůl/stěna
Ovladač	NJ-R (integrovaný řídicí systém)

Tabulka 5 Technické parametry robotu Omron i4L [49]

Pokud jde o **kritéria pro výuku**, dále se také sleduje:

- dostupnost učebního softwaru (simulace, off-line programování)
- cena (nižší než velké průmyslové verze)

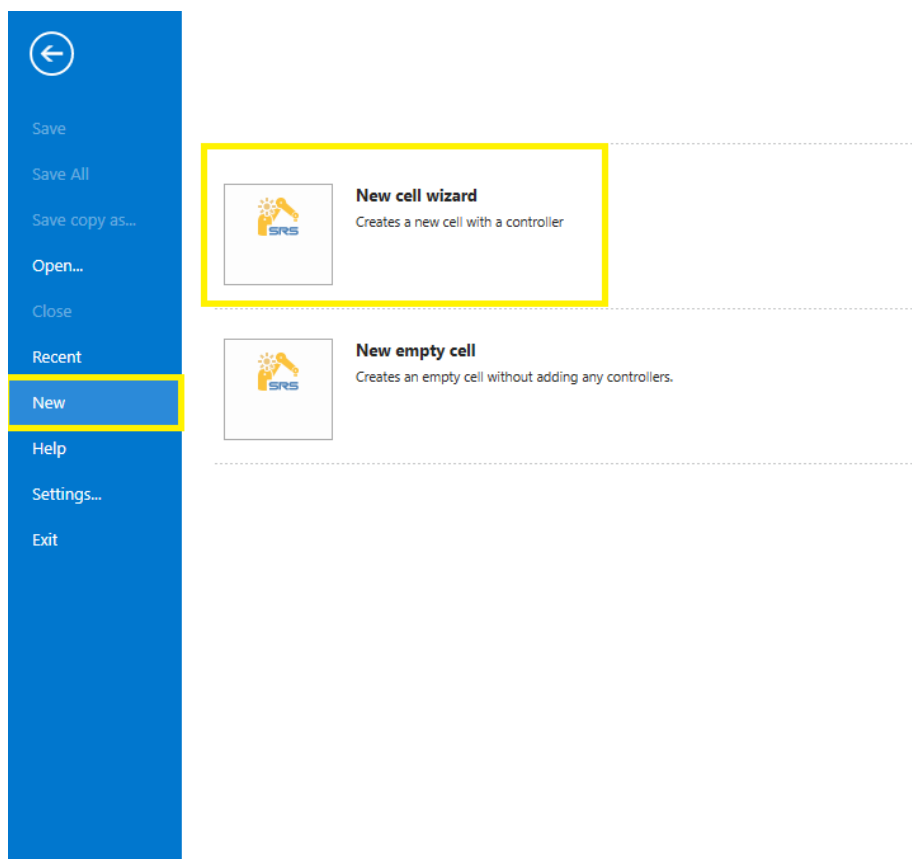
- snadná integrace do laboratorního prostředí
- otevřenost pro napojení na senzory, kamerové systémy, pásové dopravníky apod.

7 ÚVOD PROGRAMOVÁNÍ ROBOTU SCARA TS2-60

Programování robotů **SCARA** je prováděné za účelem automatizace přesných montážních a manipulačních úloh. Pohyb robotu byl definován pomocí stanovených souřadnic a příkazů. Programování robotů Stäubli bylo vykonáváno v prostředí Stäubli Robotics Suite.

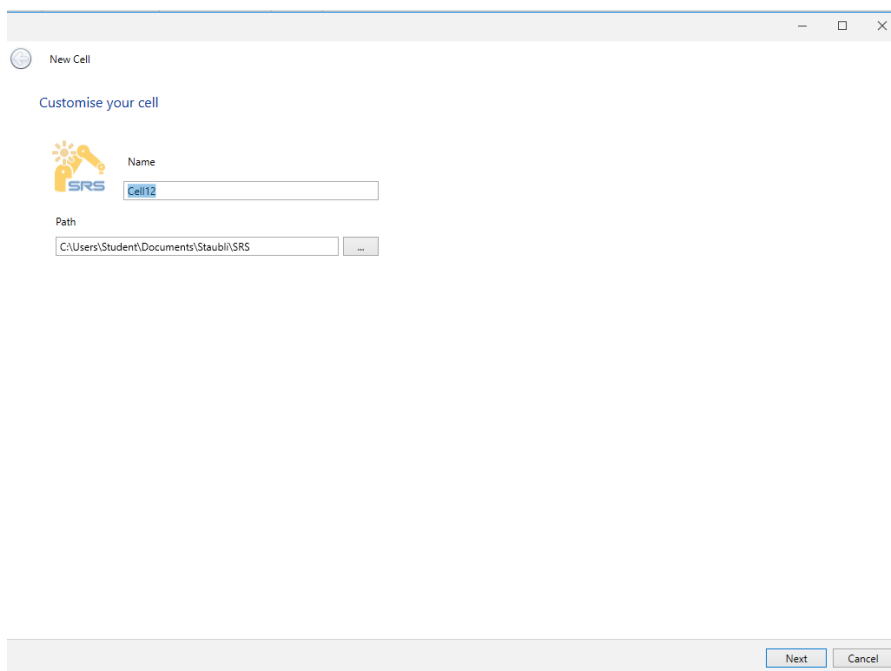
7.1 Vytvoření nového projektu

Založení nového projektu spočívalo v několika krocích. V liště po levé straně bylo tlačítkem **New** a následným výběrem **New cell wizard** vytvořeno nové čisté prostředí.



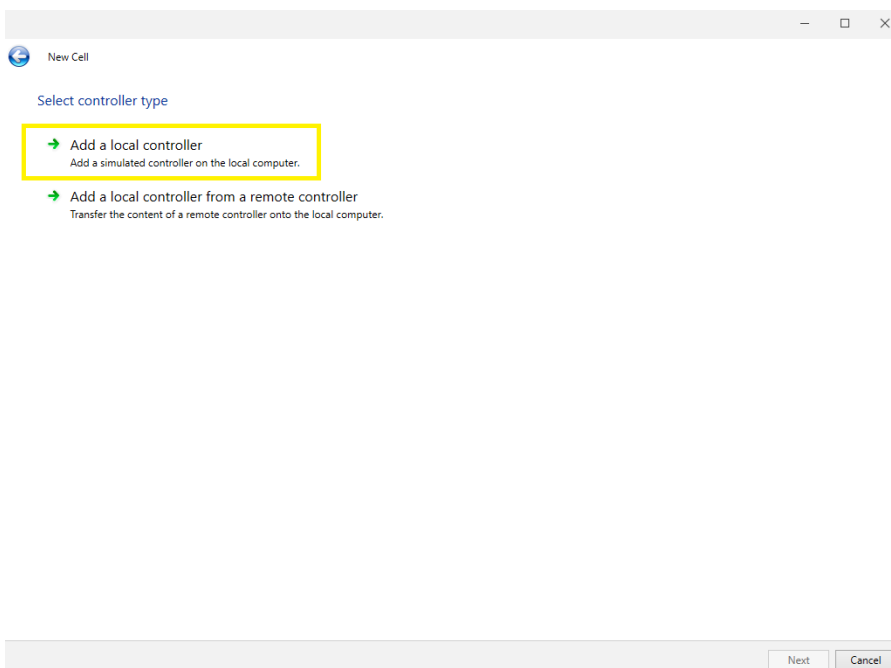
Obrázek 32 Založení nového projektu

Poté se objevilo okno, kde byl zvolen název projektu a umístění jeho uložení.



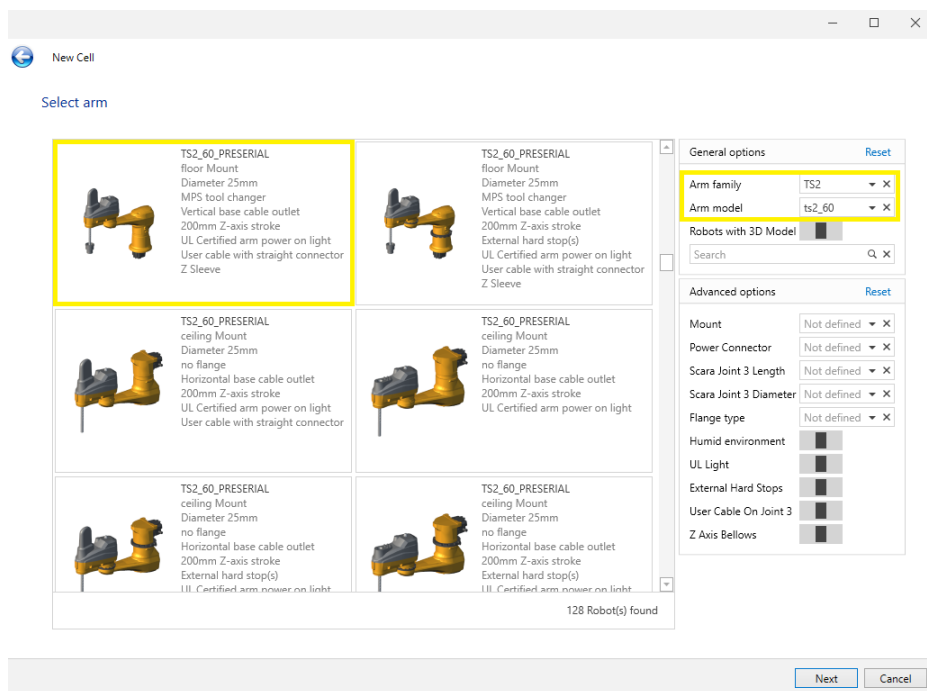
Obrázek 33 Název a uložení nového projektu

Následně byl zvolen výběr přidání lokálního kontroleru (**Add a local controller**), který slouží pro simulaci v programu.



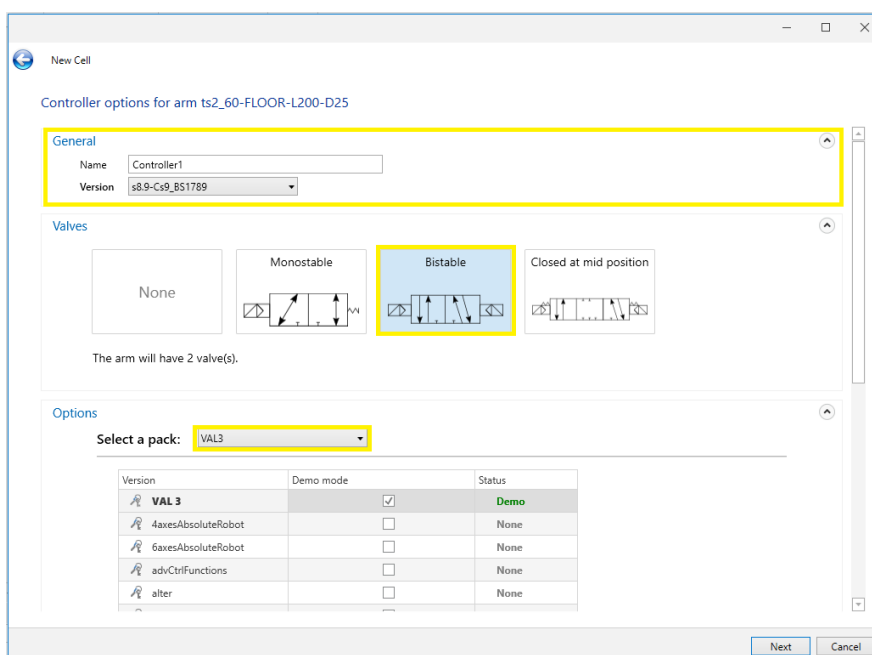
Obrázek 34 Výběr lokálního kontroleru

Dále byl zvolen robot, se kterým se fyzicky pracovalo. V našem případě to byl **TS2-60**.



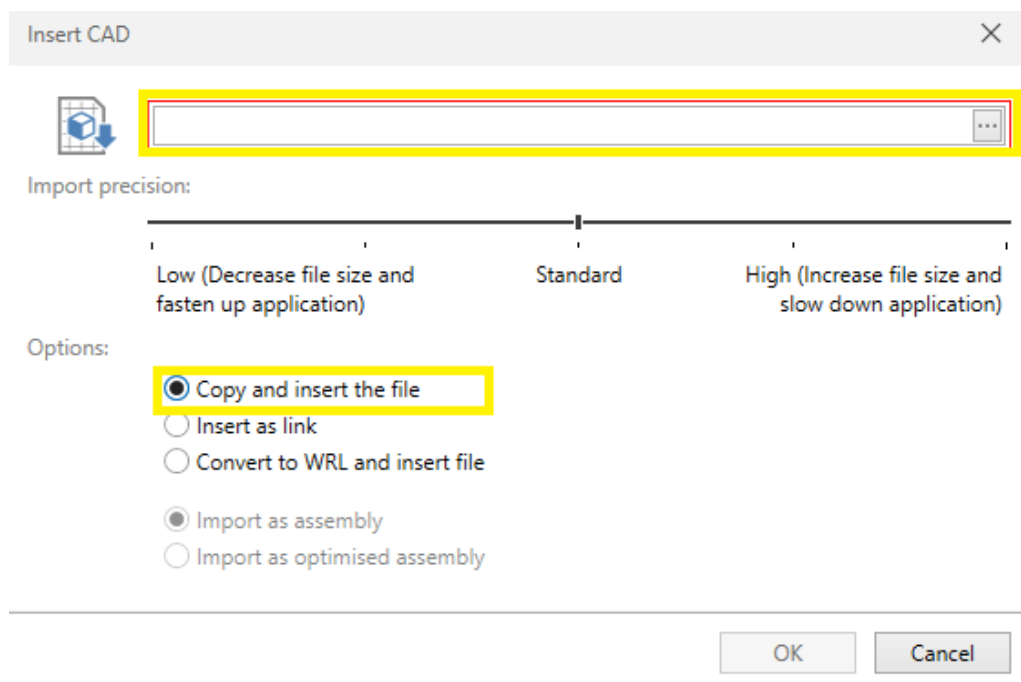
Obrázek 35 Výběr robotu

V dalším kroku byl zvolen název kontroleru (základní je **Controller1**) a **Bistable** v kolonce **Valves**. V nabídce nastavení (**Options**) byl ponechán pouze **VAL3**.



Obrázek 36 Nastavení kontroleru

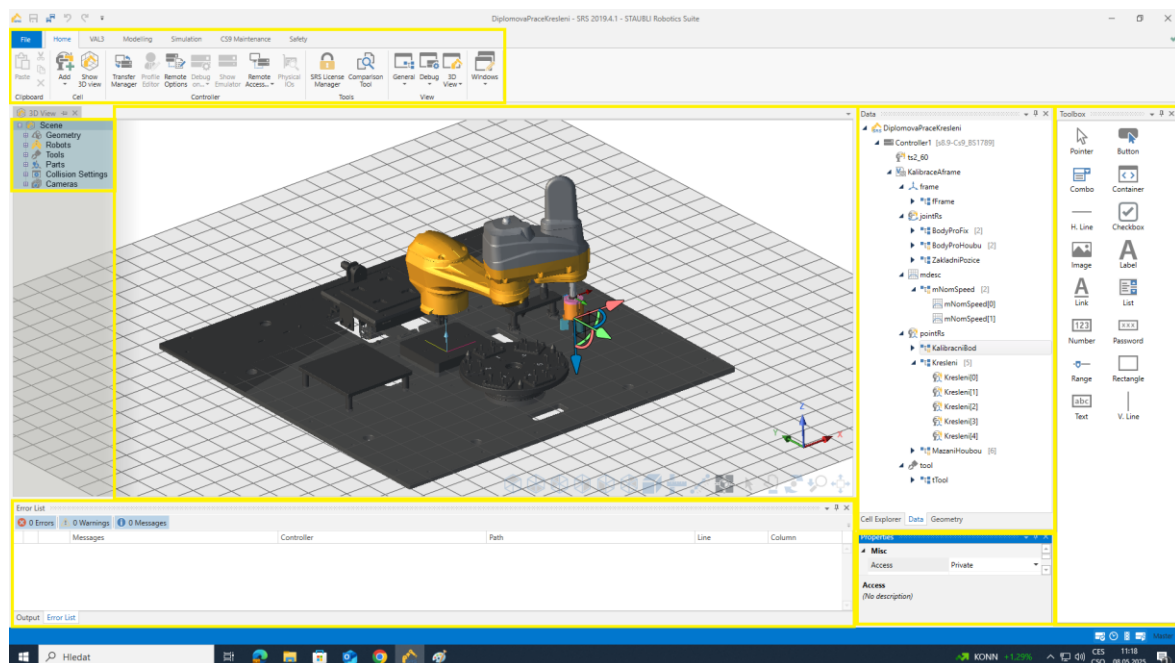
Poslední okno sloužilo ke kontrole nastavení, názvů, vlastností a bylo potvrzeno tlačítkem **Finish**.



Obrázek 37 Potvrzení zazaložení programu

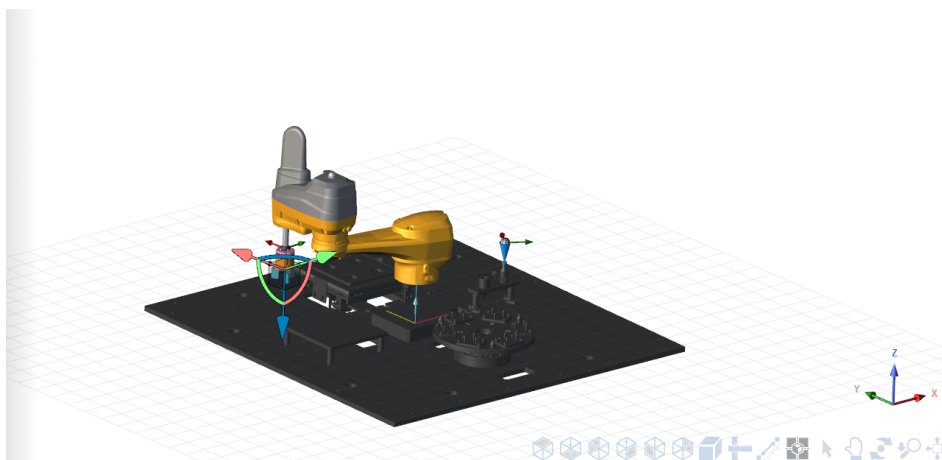
7.2 Orientace v prostředí programu

Prostředí programu bylo rozděleno do několika hlavních částí, se kterými se pracuje. Ty mají své hlavní funkce, které jsou popsány níže a pro práci v prostředí dostačující pro výuku.



Obrázek 38 Rozdělení programu Staubli Robotics Suite

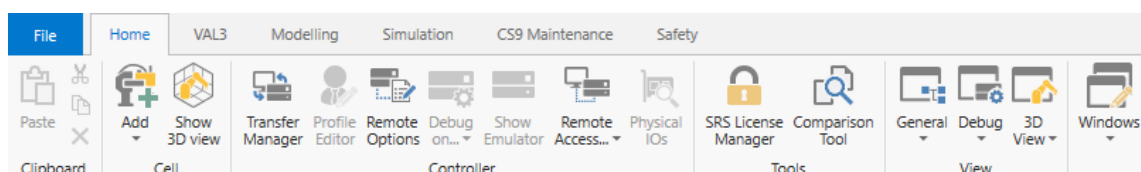
Jedna z největších částí programu byla tvořena 3D prostorem s modelem robotu a dalších příslušných součástí. Prostor byl orientován osami XYZ. Každá část má své souřadnice, se kterými bylo možno manipulovat.



Obrázek 39 3D prostor programu

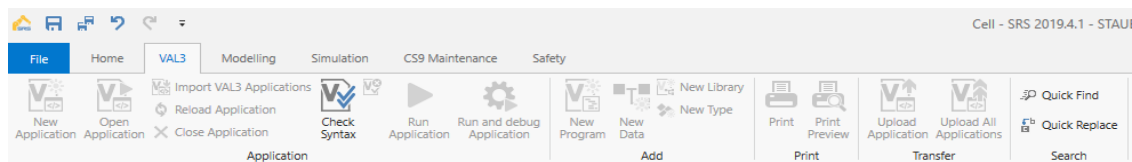
Hlavní lišta umožňovala najít a využít jednotlivé funkce programu, které se rozdělují do několika sekcí:

Home byla sekce, kde se nachází základní funkce jako je **Add** pro přidání robotu/ů. **Show 3D View**, která zobrazovala pracovní prostor. K posílání dat z/do robotu, tím jsou myšleny programy, data, propojení IO sloužil **Remote Options**. **Remote accesses** se používal k zobrazení fyzického controleru, kterým bylo možno ovládat robot z počítače. V **Physical IOs** bylo propojení komunikace s robotem a programem.



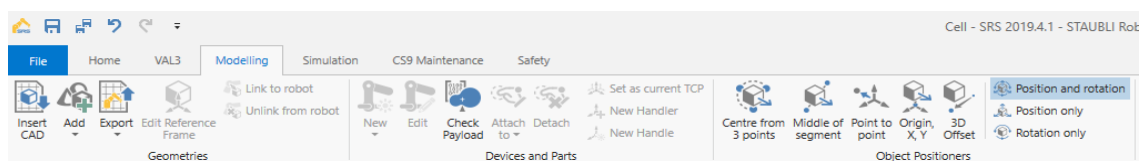
Obrázek 40 Záložka Home

VAL3 obsahoval tlačítka pro tvorbu/úpravu programu. **New/Open/Import/Reload/Run Application**. **Check Syntax** sloužil pro kontrolu chyb v kódu, které by následně ve fyzickém robotu mohli způsobit potíže.



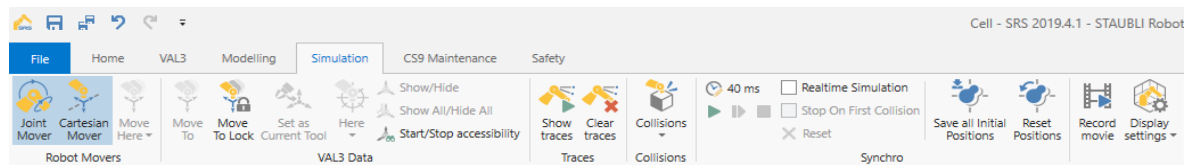
Obrázek 41 Záložka VAL3

Modelling se používal pro práci s objekty. Pomocí **Insert CAD** byl vložen již vytvořený objekt z CAD programů. **Add** sloužil pro vytvoření části (**Part**) jako je např. válec, krychle, kužel, koule. **Edit Reference Frame** pro úpravu vytvořené pracovní plochy v rovině. Tlačítkem **New** byl převeden objekt na nástroj a tlačítkem **Edit** jej bylo možno následně upravit a vytvořit nebo upravit orientaci a pozici **Handle**, **Handler** za pomoci **Center from 3 point**, **Middle of segment**, **Point to point**, ...



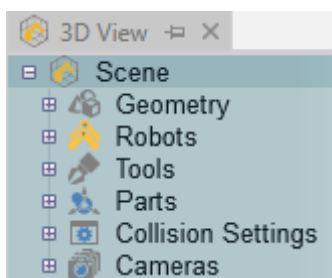
Obrázek 42 Záložka Modelling

Simulation dle názvu sloužila pro prohlídku simulace pohybu a funkčnosti robotu, natáčení simulace (**Record movie**).



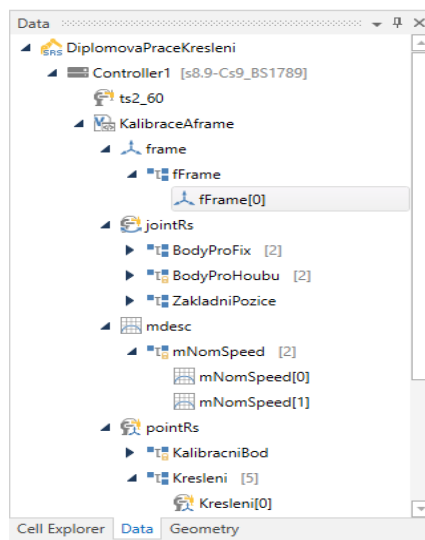
Obrázek 43 Záložka Simulation

Po levé straně se nacházely všechny části robotu a dalšího příslušenství využívané v programu společně s jejich parametry. Nachází se zde např. **Robots, Collision Settings, Cameras, Tools, Parts**.



Obrázek 44 blok Scene

Datové prostředí se záložkami **Cell Explorer, Data, Geometry**. Kde byly uloženy všechny programy, podprogramy, data, geometrie (orientace, souřadnice) a bylo možno je upravovat a zobrazovat. Druhý blok **Properties** se zabýval podrobnějším nastavením jako například název, barva, typ dat a jejich nadřazenost/podřazenost jiným datum.



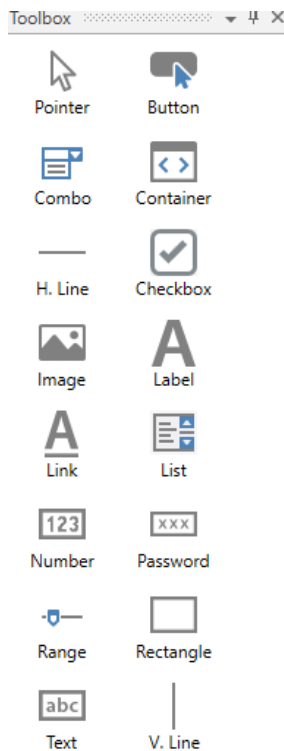
Obrázek 45 Blok s Daty a jejich vlastnostmi

Output okno obsahovalo **Errors, Warnings, Messages**. Ty upozorňovali na jakékoliv chyby v programu. Ať už se to týkalo uložení programu nebo chyb spojených s programováním.



Obrázek 46 Informace s výstupy

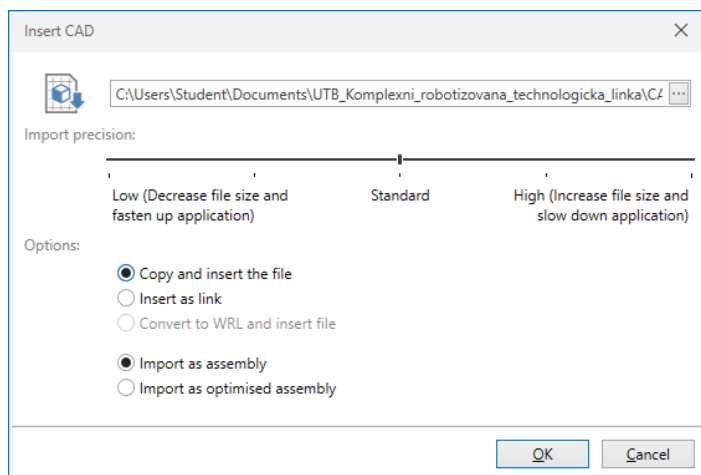
Toolbox byl použit pro tvorbu interface, kde bylo možno vložit např. tlačítko, text, obrázek, číslo, atd. Některé z těchto objektů šlo propojit s programem (př. tlačítko spustí přiřazený program).



Obrázek 47 Blok Toolbox

7.3 Vložení modelů do projektu

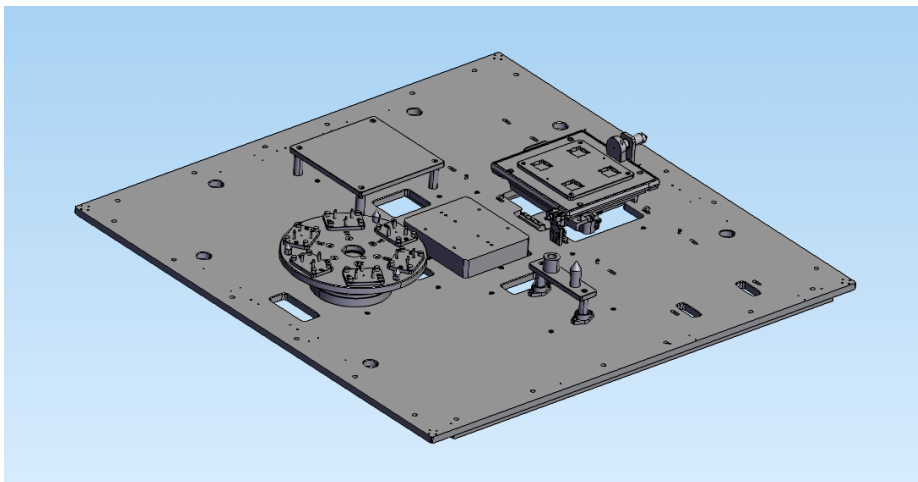
Pro vložení do modelu byla použita funkce **Insert CAD**, kde bylo nutné zadat cestu souboru z dané složky. Modely byly vytvořeny ve stejných rozměrech jako jejich originály, tudíž v nastavení **Import precision** byla zvolena volba **Standard**. V **Options** byla zvolena volba **Copy and insert the file** a **Import as assembly**.



Obrázek 48 Insert CAD

7.3.1 Model stanoviště

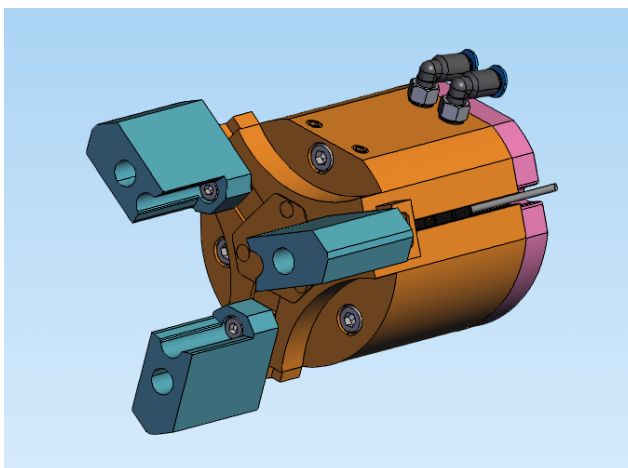
Model stanoviště byl vytvořen v rozměrech fyzické buňky. Nachází se v něm podstava pro robotické rameno, vyvýšená podstava, otočný stůl, platforma pásu, kalibrační hrot s kalibračním tělesem.



Obrázek 49 Model stanoviště

7.3.2 Model gripperu

Model gripperu bylo tříprsté paralelní chapadlo stejných rozměrů jako jeho fyzická podoba od firmy Festo, které byly použity na robotu SCARA TS2-60.



Obrázek 50 Model gripperu

7.3.3 Kontroler CS9

Kontroler se používal jak v simulaci, tak ve fyzické formě. Po levé straně se nacházely navigační tlačítka **domů**, **zpět**, **menu** a další tři, která řídila robot (př. 1 otevírá/zavírá gripper). Po pravé straně se nachází **spouštění motorů**, tlačítko **start**, +/- pro změnu rychlosti a 6 tlačítek pro změnu pozice os robotu. Na display je možno najít funkce jako **informace**, **jog** pro manuální pohyb robotem. Ve **VAL3** se nacházely aplikace. **Logger** vypisoval jednotlivá data. **IO** obsahoval vstupy a výstupy. Informace o robotu byly možný najít v **Robot**. Sekce **Settings** obsahovala jednotlivá nastavení robotu.



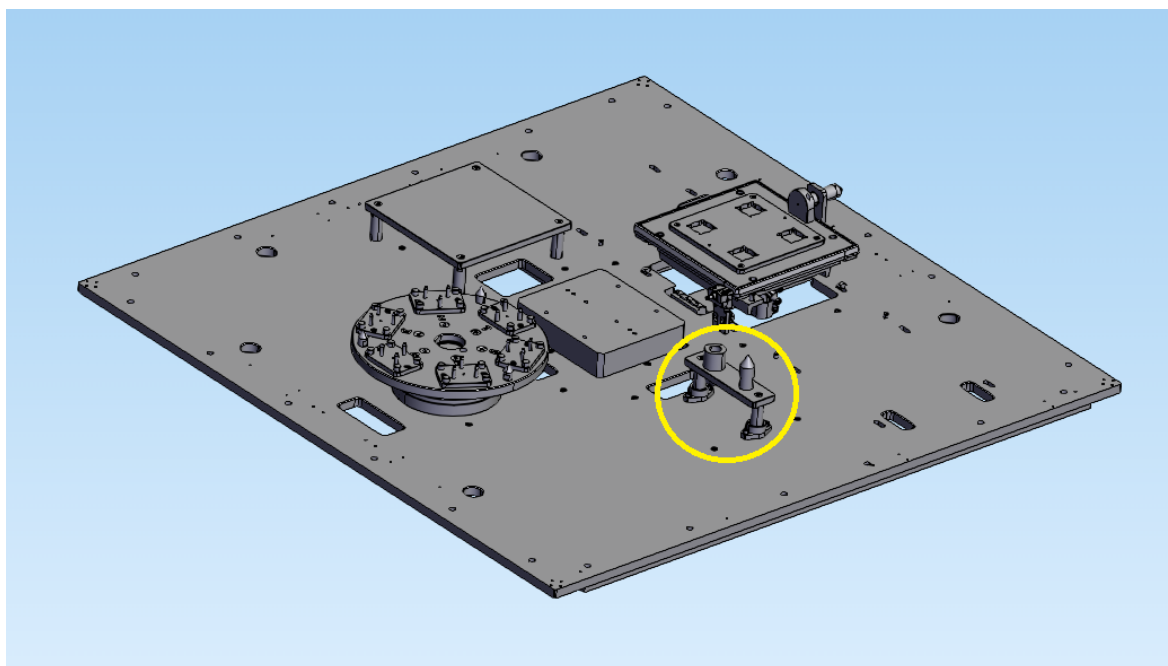
Obrázek 51 Kontroler

8 NÁVRH KONCEPTU VYUKOVÉHO PRACOVISTĚ S PRŮMYSLOVÝM ROBOTEM SCARA STÄUBLI TS2-60

Byl vytvořen návrh konceptu výukového pracoviště s průmyslovým robotem SCARA Stäubli TS2-60. Koncept spočíval ve třech úlohách s různou obtížností, které na sebe navazovaly od nejjednodušší po nejsložitější.

8.1 Úloha 1 Kalibrace

Úlohou kalibrace bylo dosažení správného umístění modelu pracoviště, skrze **kalibrační bod** a **těleso**. Kde za pomoci fyzického pracoviště daný bod získáme. Nejdříve bylo nutno založit nový program.

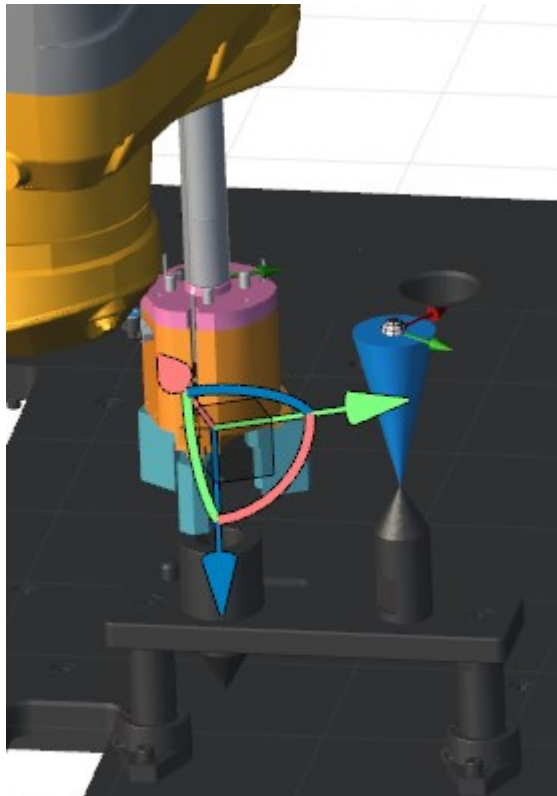


Obrázek 52 Umístění kalibračního tělesa a hrotu

Modely

Pomocí tlačítka **Insert CAD** byl přidán model pracoviště a gripperu. Nejdříve bylo nutno správně nastavit gripperu **handle** (spoj s ramenem robotu), **handler** (koncový bod nástroje). Po vytvoření dat **tTool** byl model nastaven jako nástroj. Skrze **Device Configuration** byl nastaven **Trigger**, což udává, co nástroj ve skutečnosti ovládá a jaký typ uchopení má mít. V programové verzi se používá možnost **Magnetic**. Data z handleru byla vložena do

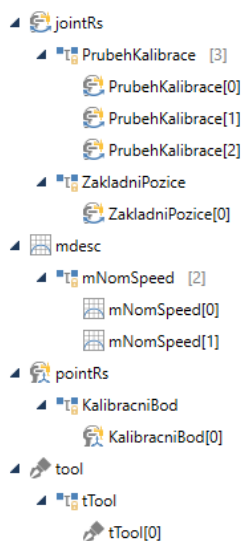
vytvořeného nástroje. V posledním kroku byl nástroj připevněn k ramenu robotu skrze možnost **Attach to**. Dále byl také vytvořen **Part** pomocí funkce **Add**. Jednalo se o jednoduchý kužel, který nahrazoval kalibrační těleso.



Obrázek 53 Gripper a kužel

Data

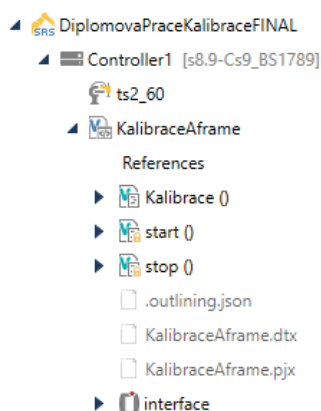
Pro program bylo nutno vytvořit jednotlivá data. Pro pohyb robotu byla zvolena **jointRs**, která udávají natočení částí robotu v daném bodě. **mNomSpeed** v programu udával rychlost pohybu při vykonávání daných příkazů, kde byly zvoleny dvě rychlosti, jedna pomalejší (15 %) a druhá rychlejší (30 %). Pro potřebný kalibrační bod byl zvolen **pointRs**, což udává souřadnice v pracovním prostoru robotu. Souřadnice těchto bodů byly vytvořeny pomocí kontroleru.



Obrázek 54 Data úkolu kalibrace

Program

Program se skládal ze dvou částí **Interface** a **Kalibrace**. Bylo nutno vytvořit dvě aplikace.



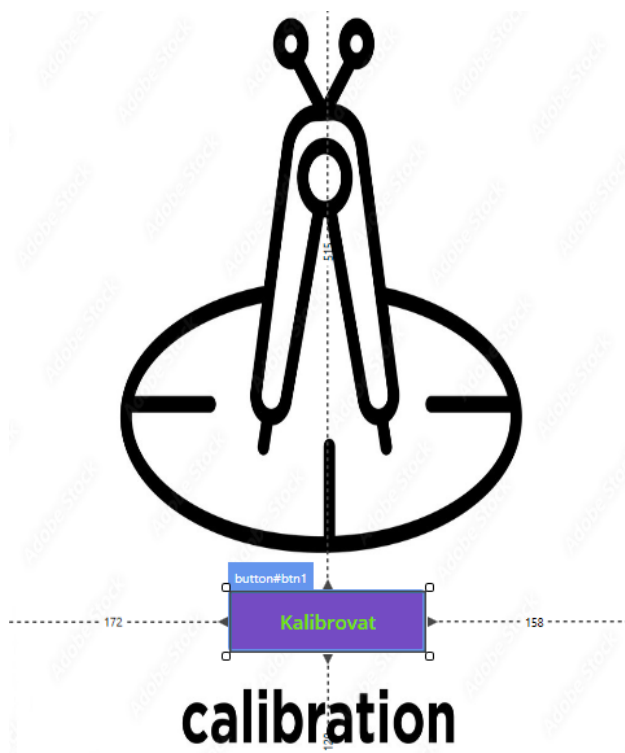
Obrázek 55 Programy úkolu kalibrace

V programu **start**, kód pro interface obsahoval pouze tři řádky, kde příkaz **userPage** odkazoval na vytvořený interface s názvem **Kalibrace**. Cyklus **while** udával, že se program spustí, jakmile budou spuštěny motory a tlačítko play na kontroleru. V programu pro kalibraci bylo použito čtyř základních příkazů. **Close/Open** pro otevření a uzavření gripperu. **Movej** byl použit pro pohyb robotu pomocí úhlů na dané body. **WaitEndMove** sloužil k tomu, aby setrval, dokud se nevykoná předchozí příkaz. Robotu byl nejdříve otevřen gripper. Následně bylo rameno přemístěno do bezpečné pozice, ze které se dostal ke

kalibračnímu tělesu, uchopil jej a přemístil co nejbližší ke kalibračnímu hrotu špičkami. Poté bylo kalibrační těleso vráceno zpět a rameno se znovu vrátilo do bezpečné pozice.

Interface

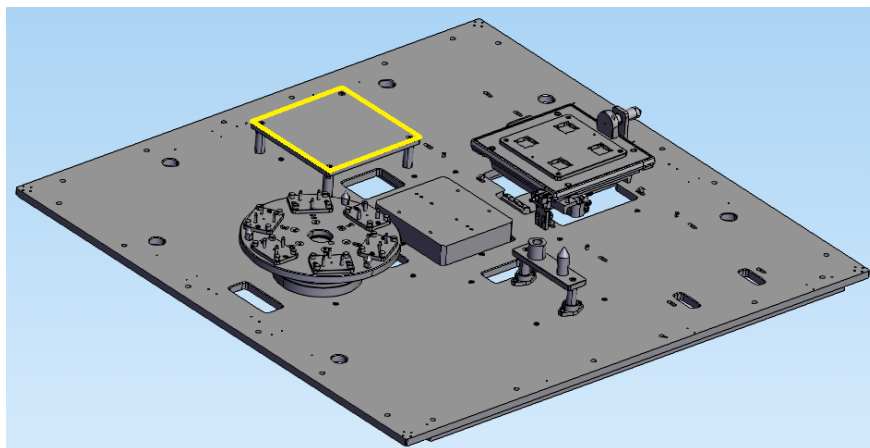
Byl vytvořen jednoduchý interface, kde byl přidán vhodný obrázek na pozadí, nadpis Kalibrace a tlačítko **Kalibrovat**, kterému byla změněna barva pozadí a nápisu. Následně bylo propojeno a spouští program **Kalibrace**.



Obrázek 56 Interface úkolu kalibrace

8.2 Úloha 2 Frame a kreslení

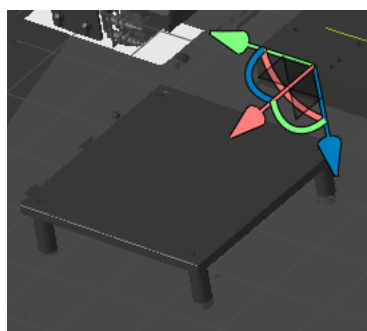
Druhou úlohou bylo vytvoření pracovní plochy (**frame**) na stole umístěném v buňce robotu pro následnou aplikaci kreslení, kde bylo nutné, aby se osa **Z** neměnila.



Obrázek 57 Ukázka umístění frame

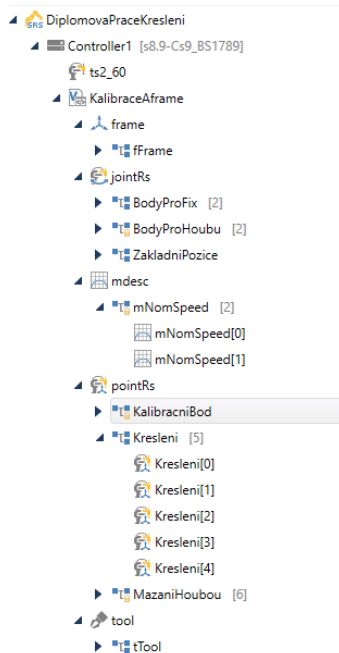
Data

Plocha pro tvorbu obrázků byla vytvořena za pomoci **frame**, což znamená nový souřadnicový systém v okolí pracovního prostoru robotu. Počátek systému je umístěn v pravém horním rohu stolu, která dosahoval rozměrů 300 x 300 mm.



Obrázek 58 Souřadný systém frame

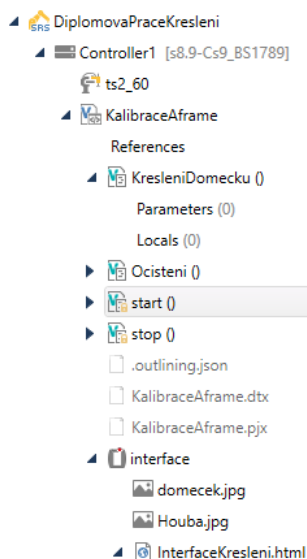
Dále byly použity souřadnice **jointRs**, **pointRs**. Body **pointRs**, konkrétně **Kreslení** a **MazaniHoubou** spadaly do souřadnicového systému **frame**. Zbytek bodů sloužil pro dosažení bezpečné pozice ramene nebo místa vyzvednutí/umístění houby nebo fixy.



Obrázek 59 Data úlohy frame a kreslení

Program

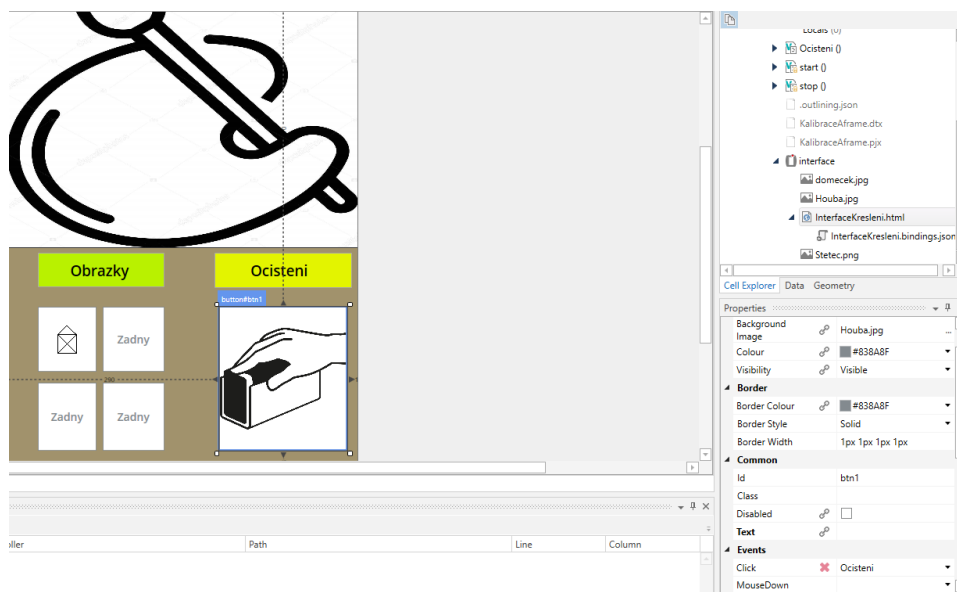
Program se skládal ze tří částí. V hlavní části start byl vytvořen kód pro interface s názvem **InterfaceKresleni**. Další dva kódy byly naprogramovány na stejném principu. Rozdíl najdeme pouze v počtu bodů u kreslení a očištění. Program taktéž, jako u předchozího využíval jednoduchých příkazů. **Close/open, movej, waitEndMove**. V první řadě byl otevřen gripper a robot se dostal do výchozí pozice. Poté najel nad místo umístění fixu nebo houby, kterou následně uchopil a vrátil se do výchozí pozice poblíž kreslicí plochy. Pokračoval najetím fixem na plochu, kde pro jednoduchost byla zvolena pro ukázkou kresba domečku jedním tahem. Obdobně tomu bylo i u mazání, kde najel houbou na plochu a postupně celý obsah smazal. Poté vrátil fix/houbu zpět na místo vyzvednutí a přemístil se do výchozího bodu.



Obrázek 60 Program úlohy frame a kreslení

Interface

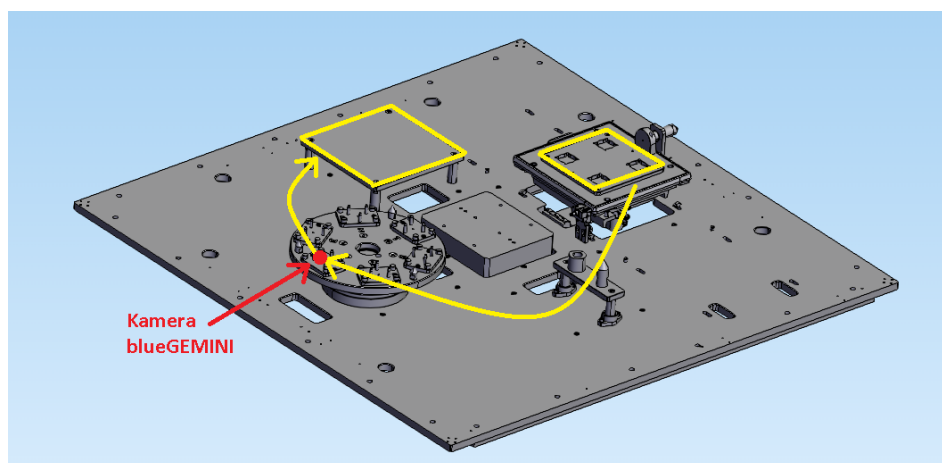
Interface obsahuje vhodný obrázek, dva nadpisy a celkem pět tlačítek. Jedno tlačítko pro mazání, které je propojeno s programem **Ocistení**. Čtyři pro jednotlivé obrázky, ze kterých je v provozu pouze jedno pro dům jedním tahem. Zbylé tři je možno doplnit po vytvoření nových kódů. Funkční tlačítka neobsahují nápis, jako u předchozí úlohy, ale výstižně graficky znázorněnou funkčnost.



Obrázek 61 Interface úlohy frame a kreslení

8.3 Úloha 3 Pick and place aplikace s kamerou

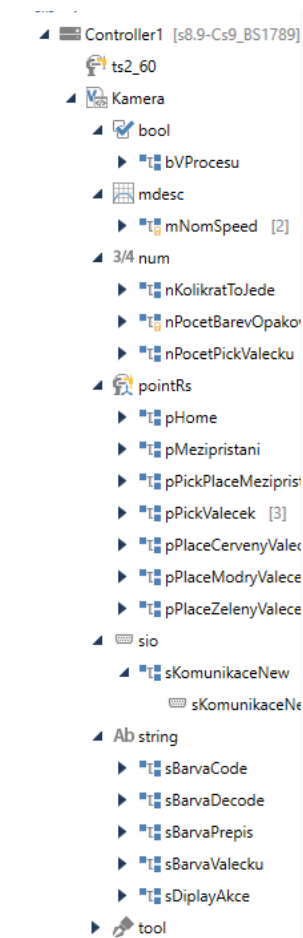
Poslední úloha byla odlišná přidáním kamery. Hlavním účelem bylo vytvořit komunikaci mezi kamerou a robotem.



Obrázek 62 Princip úlohy pick and place s kamerou

Data

Krom souřadnic **pointRS** pro přemísťování byla vytvořena také data typu **bool**, **num**, **sio**, **string**. Proměnná **bool** nám vracela hodnotu True/False, dle toho zda byl program spuštěn nebo ne. Číselné hodnoty **num** sloužili jako počet opakování daného cyklu, nebo počtu válečků. Pro zápis dat z kamery a jejich přepis nebo informaci, kde se program nachází byl využit typ **string**. Propojení s kamerou pro přenos dat bylo vytvořeno datovým typem **sio**.



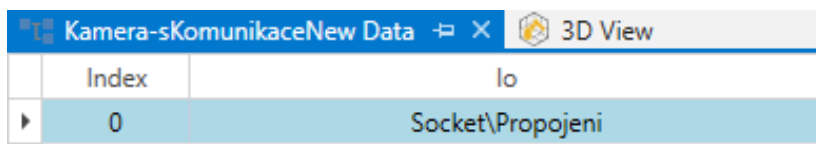
Obrázek 63 Data úlohy pick and place s kamerou

Komunikace

Skrze **physical IOs** byl vytvořen nový **Socket klient** s názvem **Propojeni**, kde byla nastavena **IP adresa serveru**, **Port**, ukončení vysílání dat (**Timeout**) a konec řetězce dat (**End of string**), což je číslo v asci tabulce (88 = X). Takto vytvořený socket byl propojen s datovým typem **sio sKomunikaceNew**.

Physical IOs	Description	Physical link	Format	Logical Name
CpuIO	CPU			
CpuImage_PROTOTYPE	CPU			
DslIO	Arm			
DsltoSafe	DsltoSafe			
FastIO	1212			
J206_EtherCAT	J206 - SyCon			
PowerSupplyIO	1222			
Rsl9IO	110X			
Serial	1203			
Sockets				
Propojeni		Socket\Propojeni		Kamera : sKomunikaceNew[0]
sTcpServer		Socket\pTcpServer		
StarCIO				
ValveIO	Arm			

Obrázek 64 Vytvoření socketu

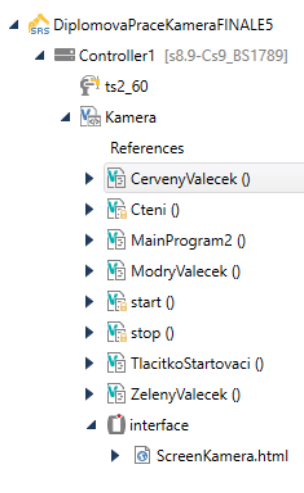


Index	Io
0	Socket\Propojeni

Obrázek 65 Propojení datového typu string s komunikací

Program

Od předchozích úloh zde bylo využito mnoho jiných příkazů. **TaskCreate/taskKill** spustil/ukončil určitý program. Pro setrvání robotu na místě byl vytvořen **delay**. **Call** pro zavolání programu, přičemž se zbylé programy zastaví. Programová část se skládala celkem ze 7 programů. Program start opět obsahoval kód pro interface společně s nulováním všech proměnných a volání programu pro čtení. Volání bylo provedeno pomocí **task-ů**. Program pro čtení zařizoval komunikaci a zápis správné barvy. Hlavní program zajišťoval přemístění válečků na pozici pro čtení QR, který se opakoval dokud nebyly rozřazeny všechny tři válečky a přesměrování na program dle jeho barvy. Zbylé 3 programy se týkaly přenosu válečků po skenování na místo dle jeho barvy.



Obrázek 66 Program úlohy pick and place s kamerou

Interface

Interface byl nedesignován v jednoduchém stylu. Obsahuje hlavní tlačítko Start pro spuštění programu. Dále jsou zde vypsány proměnné jako Akce (kde se program nachází), výpis QR kódu, zobrazení barvy a počet válečků.

Pick and Place aplikace s kamerou

Akce: Label

Kod: Label

Barva: Text

Pocet valecku: 0

Start

Obrázek 67 Interface úlohy pick and place s kamerou

Kamera BlueGEMINI

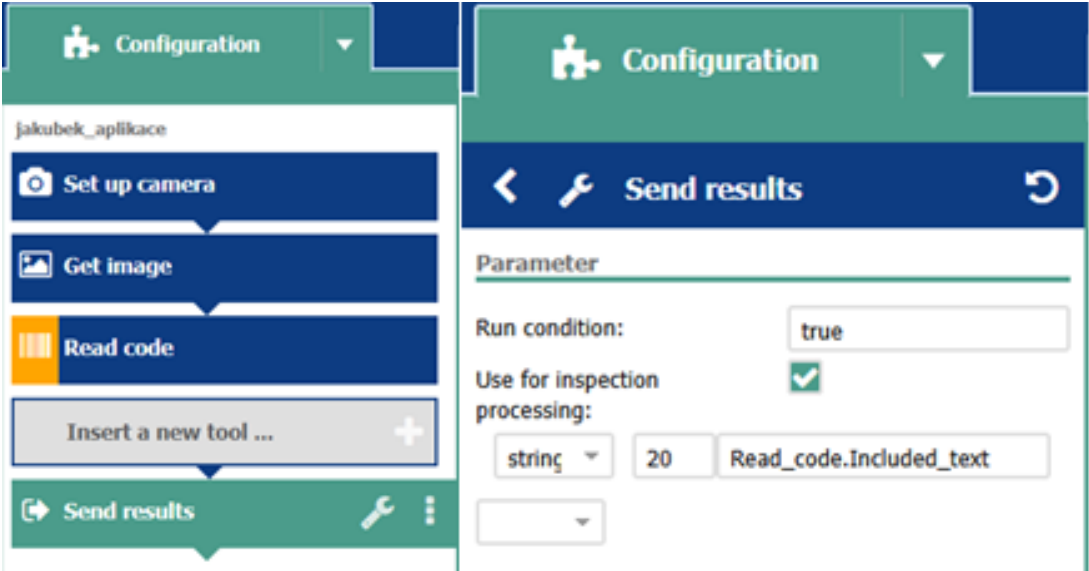
Byla použita průmyslová smart kamera BlueGEMINI, u které bylo potřeba nejdříve nastavit **Port** a typ komunikace byl zvolen **TCP**. Byl vytvořen nový program který byl nakonfigurován tak, aby četl QR kódy. Jednalo se o bloky **Set up camera**, který slouží pro nastavení kamery. Pro získání snímku byl použit **Get image** a pro čtení kódů **Read code**. **Send result** odesílal výslednou informaci z QR ve formě string, dle typu barvy válečku. Pokud nebyl váleček přítomen kamera odesílala vlastní kód, který v programu nebyl nijak zpracováván. Rozdělení QR kódů a jejich význam:

Červený váleček – XVC2001JK

Modrý váleček – XVM1999PK

Zelený váleček – XVZ1999RP

Tyto QR kódy byly vygenerovány pomocí webu qrfy.com.



Obrázek 68 Konfigurace kamery



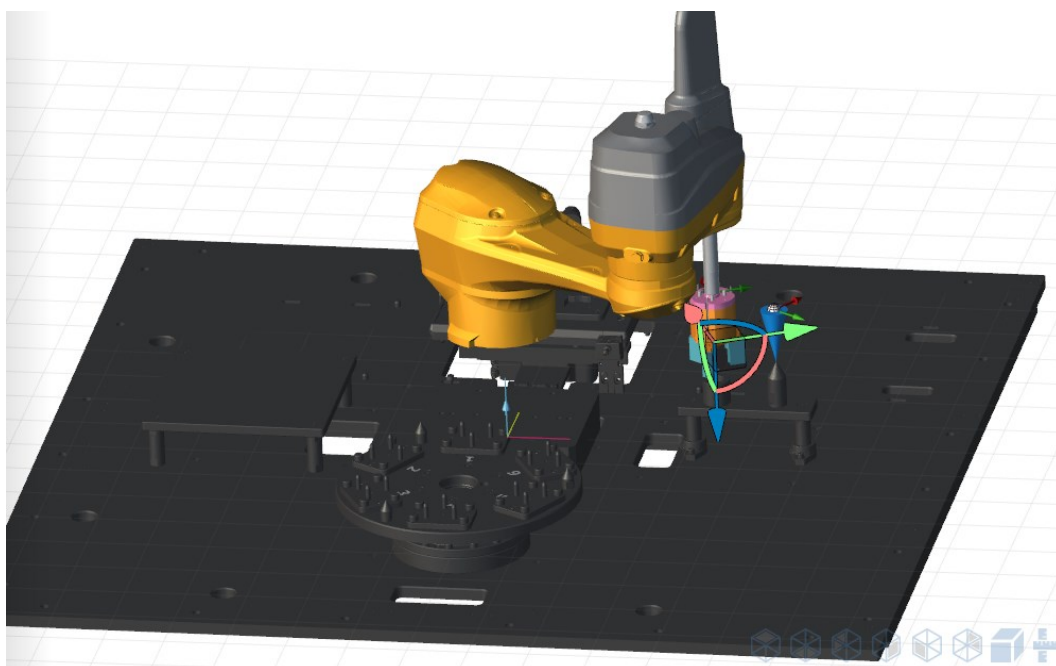
Obrázek 69 Ukázka čtení QR kódů

8.4 Ověření funkčnosti

V případě všech tří úlohách bylo dosaženo požadovaného výsledku, kdy byl vždy dosažen účel zadání a programy měli správnou funkčnost jak v simulaci, tak na fyzickém robotu. Posloupnost obtížnosti daných úloh byla nastavena od nejjednodušší po nejsložitější od vytvoření programu po práci s kamerou. V první úloze s názvem Kalibrace byl založen nový program, do kterého byly vloženy modely a vytvořeno kalibrační těleso. Dále byly vytvořeny body, které byly přečteny za pomoci fyzického stanoviště. Za pomoci kalibračního bodu byl model stanoviště v zkalibrován. K téhle úloze byl vytvořen program, kterým robot vyzvedl a přemístil těleso nad kalibrační bod a následně vrátil zpět. V návaznosti na kalibraci byl v druhé úloze vytvořen nový souřadný systém (frame) na vyvýšené ploše pracoviště, která sloužila jako plocha pro tvorbu obrázků. Za pomoci vytvořených a přepsaných bodů byly vytvořeny programy. Robot vyzvedl fix, který přenesl nad plochu a vytvořil obraz. Následně fix vrátil zpět na původní místo. Obdobný program byl vytvořen pro mazání plochy. Třetí úloha zahrnovala použití kamery. Pro kameru byl vytvořen program pro čtení QR. Dále byla nastavena pro komunikaci s robotem. V programu robotu byla vytvořena komunikace, body a program. Robot přenášel válečky s QR kódy na určené místo pod kamerou, kde byly kódy přečteny. Dle kódu byly přemístěny na určité místo dle barvy.

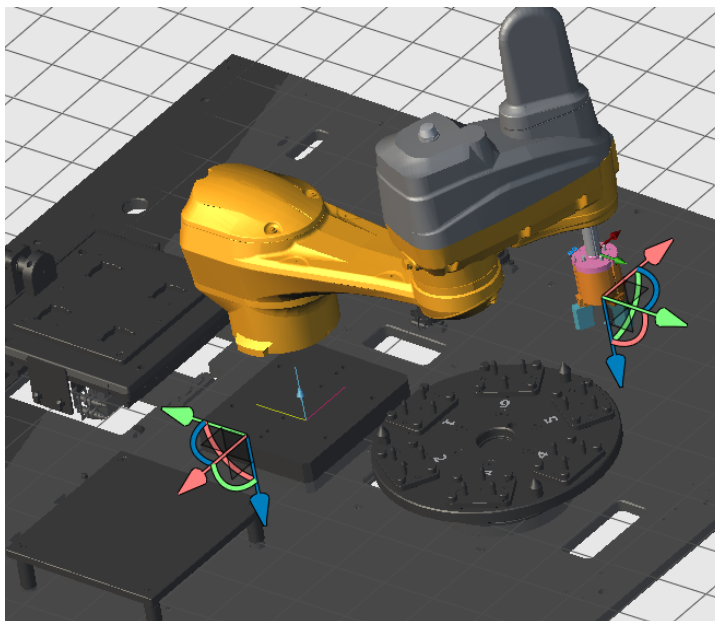
9 DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Pro výuku byly připraveny tři úlohy, které postupně zvyšovaly svoji obtížnost. První z úloh se zabývala kalibrací. Nejdříve bylo nutno vytvořit nový program. Vložit model stanoviště a gripperu, který byl potřeba nastavit a připevnit k ramenu robotu. Dále bylo potřeba vytvořit potřebný počet bodů a program. Účelem celého programu bylo, aby robot převzal kalibrační těleso s hrotem a přenesl jej těsně nad kalibrační hrot. Zde se uložil bod a byl přenesen do simulačního prostředí, kde se pomocí bodu zkalibroval model stanoviště s robotem.



Obrázek 70 Ukázka programu kalibrace

Jakmile bylo stanoviště zkalibrováno, byla na řadě druhá úloha. Jednalo se o vytvoření nového souřadnicového systému (frame), s jeho pomocí bylo možno vytvořit aplikaci pro tvorbu obrázků a jejich smazání. Znovu bylo nutno vytvořit potřebný počet bodů jak pro vyzvednutí houby/fixy tak pro kresbu. Frame byl naučen na podstavě, která se nachází na fyzickém stanovišti a poslán zpět do počítače. Nově vytvořený souřadnicový systém v daném bodě zjednodušuje výpis bodů například pro tvorbu aplikace kresby/očištění. Dále bylo nutno vytvořit dva programy a interface pro výsledné zjednodušení ovládání na kontroleru.



Obrázek 71 Umístění souřadnicového systému frame

Třetí úkol se od ostatních odlišoval obtížností, jelikož se jednalo o vytvoření komunikace robotu s kamerou, kterou bylo potřeba nastavit. Kamera používala vlastní online program, kde bylo nutno vytvořit program pro danou aplikaci (čtení QR kódů) a také nastavení parametrů kamery jako Port nebo typ komunikace. V programu Stäubli bylo nutno vytvořit komunikaci s kamerou. Programová část se zabývala čtením dat a přemísťováním válečku s QR kódy na pozici pod kamerou nebo dle barvy válečku. K tomu byl také vytvořen odpovídající interface.



Obrázek 72 Válečky s QR po umístění na výsledné pozice

ZÁVĚR

Práce se zabývala návrhem výukového pracoviště s průmyslovým robotem SCARA Stäubli TS2-60. Bylo navrženo řada možných komerčně dostupných řešení. Hlavní myšlenka se týkala tvorbou souboru úloh pro výukové účely.

Byla vypracována literární rešerše na téma kinematika průmyslových robotů a jejich řízení. Kde byla v úvodu popsána definice a rozdělení průmyslových robotů. Kinematická část se zabývala základními pojmy, přímou a inverzní kinematikou a pracovním prostorem robotu. V další části řízení průmyslových robotů byly vypsány základní principy řízení, typy řízení pohybu a softwarová podpora. Mimo tyto dvě témata byla také popsána bezpečnost průmyslových robotů a moderní trendy jako IoT nebo AI.

Praktická část nejdříve popsala robot SCARA Stäubli TS2-60. Dále byla vybrána čtveřice komerčně dostupných řešení a v tabulkách zobrazeny jejich hlavní vlastnosti. Dále bylo popsáno založení nového projektu a orientace v softwaru Stäubli Robotics Suite, se kterým se pracovalo. Nedílnou součástí byl model gripperu a stanoviště a jejich vložení. V další části byly vypracovány tři úlohy. Nejjednodušší z nich byla kalibrace. Jednalo se o zhotovení programu, kdy robot uchopí kalibrační těleso a přenesení ho těsně nad kalibrační hrot, kde se následně vytvoří bod. Výsledkem bylo správné umístění modelu stanoviště v programové verzi. V návaznosti na tuhle úlohu byla navržena druhá, jednalo se o vytvoření nového souřadnicového systému (frame), který sloužil jako plocha pro tvorbu obrázků. Robot měl za úkol převzít fix, za pomoci vytvořeného framu nakreslit jednoduchý obrázek (dům jedním tahem) a vrátit fix zpět na určené místo. K téhle úloze byl vytvořen druhý program, který převzal houbu, smazal danou plochu a následně houbu vrátil zpět na místo. Hlavní účel poslední úlohy byla komunikace kamery s robotem. Bylo potřeba kameru nastavit jak pro komunikaci, tak konfiguraci programu pro QR kódy. Program pro robot byl pick and place aplikace, přemístění válečku s QR kódem pod kameru. Jakmile byl QR kód přečten byl váleček přenesen na místo pro danou barvu.

Tyto tři aplikace by mohly tvořit dobrý základ pro výuku studentů při práci s robotem SCARA Stäubli TS2-60.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. *Industrial Robots* [online]. 2025, 2025 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://ifr.org/industrial-robots>
- [2] STÄUBLI. *TS2-60 SCARA robot* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/cz/en/robotics/products/industrial-robots/ts2-60.html#tabs-20cd8dd4bd-item-17c49ba6aa-tab>
- [3] FIVEABLE. *Robot kinematics* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://library.fiveable.me/introduction-autonomous-robots/unit-1/robot-kinematics/study-guide/jskgDTAHC4NWJCBU>
- [4] PEARSON EDUCATION INTERNATIONAL. *Introduction to RoboticsMechanics and Control* [online]. 2005 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://marsuniversity.github.io/ece387/Introduction-to-Robotics-Craig.pdf>
- [5] *Roboty a robotizované výrobní technologie: kongres Brno 6.-9. března 1990, ČV komitétu pro komplexní automatizaci ČSVTS ... [aj.] : [sborník]*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5. Dostupné také z: <http://kramerusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:aab796f0-0f22-11e3-beb8-005056827e51>
- [6] ROBOTICSUNVEILED. *Robotics Part 7 – Task Space and Workspace* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.roboticsunveiled.com/robotics-task-space-and-workspace/>
- [7] EVSINT. *Dvouramenný robot SCARA* [online]. 2022 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.evsint.com/cs/dual-arm-scara-robot/>
- [8] VANĚK, ROMAN. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *ROBOTY, JEJICH DRUHY A VYUŽITÍ VE STROJÍRENSKÉM PODNIKU* [online]. 2015 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102022
- [9] CONTROL ENGINEERING. *Open- vs. closed-loop control* [online]. 2014 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.controleng.com/open-vs-closed-loop-control/>
- [10] EUROSENSOR. *Why sensors are key to industrial automation* [online]. 2023, 2023 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.variohm.com/news-media/technical-blog-archive/why-sensors-are-key-to-industrial-automation>
- [11] ROBOTICALL. *Svařování s Kobotem* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://roboticall.cz/svarovani-s-kobotem/>
- [12] SICK. *Odběr a vřazená kontrola kvality* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/catalog/odvetvi/stroje-a-material/robotika/prumyslove-roboty-a-coboty/odber-a-vrazena-kontrola-kvality/c/p409269>
- [13] ELUC. *Snímače teploty* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/lekce/snimace-teploty>
- [14] PROFESS. *Snímače tlaku - dělení, technologie, principy* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: https://www.profess.cz/cs/pci/snimace_tlaku
- [15] PSLIB.CZ. *Snímače hladiny* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: https://www.pslib.cz/jaroslav.semerad/board/My/E3_E4_ucebni_texty/snimace%20hladin.pdf

- [16 ELUC. *Snímače polohy* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/lekce/snimace-polohy>
- [17 VOJÁČEK, Antonín. AUTOMATIZACE.HW.CZ. *Ultrazvukové senzory přiblížení - funkce, provedení, použití* [online]. 2017 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/ultrazvukove-senzory-priblizeni-funkce-provedeni-pouziti.html>
- [18 ZWICKROELL. [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: https://www.zwickroell.com/zrmedia/_processed_/5/1/csm_CTA53125_TVM105650_0_4ee5a5d1d3.png
- [19 FEATHERSTONE, Roy. SCHOLARPEDIA. *Robot dynamics* [online]. 2007 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: http://www.scholarpedia.org/article/Robot_dynamics
- [20 ROBOTICSBIZ. *What are the different types of robot control systems?* [online]. 2023 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://roboticsbiz.com/what-are-the-different-types-of-robot-control-systems/>
- [21 BMCODER. *Top 10 Popular Software Used in the Robotics Industry* [online]. 2024 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.bmcoder.com/blog/top-10-popular-software-used-in-the-robotics-services-industry>
- [22 PYTHON IN PLAIN ENGLISH. *Face Mesh Detection with Python and OpenCV — Complete Project* [online]. 2021 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://python.plainenglish.io/face-mesh-detection-with-python-and-opencv-complete-project-359d81d6a712>
- [23 WLKATA ROBOTICS DOCUMENT. *Tutorial: Control Mirobot by using CoppeliaSim(V-rep)* [online]. 2024 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://document.wlkata.com/?doc=/wlkata-mirobot-resources-for-education/coppeliasimv-rep/>
- [24 WIRESMITHTECH. *What Is LabVIEW? (and why do I care?)* [online]. 2017 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.wiresmithtech.com/articles/what-is-labview-and-why-do-i-care/>
- [25 PRINCETON RESEARCH COMPUTING. *How to Use these Resources* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://researchcomputing.princeton.edu/external-online-resources/matlab>
- [26 MATHWORKS. *Simulink Is for Model-Based Design* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>
- [27 CAD.CZ. *Dassault Systèmes uvádí Solidworks 2016* [online]. 2015 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/6914-dassault-systemes-uvadi-solidworks-2016.html>
- [28 AUTODESK. *Robot Project* [online]. 2023 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://forums.autodesk.com/t5/fusion-design-validate-document/robot-project/td-p/11739313>
- [29 METALFORMING MAGAZINE. *Virtual Robot-System Design* [online]. 2019 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.metalformingmagazine.com/article/?/pressroom-automation/robotics/virtual-robot-system-design>
- [30 AUGMENTUS. *Exploring 5 Types of Robot Programming Languages: Are They All the Same?* [online]. 2024 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.augmentus.tech/blog/are-all-robot-programming-languages-the-same/>

- [31] ROBOAPP. [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.roboapp.cz/>
- [32] SIEMENS. *Process Simulate KUKA simulation* [online]. 2018 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://community.sw.siemens.com/s/question/0D54O000061xotmSAA/process-simulate-kuka-simulation>
- [33] CONTROL ENGINEERING. *Industrial robot safety considerations, standards and best practices to consider* [online]. 2024 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.controleng.com/industrial-robot-safety-considerations-standards-and-best-practices-to-consider/>
- [34] REOAMOS. *Značka výstrahy - Pozor napětí životu nebezpečno !* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.reoamos.cz/znacka-vystrahy-pozor-napeti-zivotu-nebezpecno>
- [35] ACLSSTLOUIS.COM. *Understanding OSHA: Ensuring Workplace Safety and Health* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://aclsstlouis.com/understanding-osh-ensuring-workplace-safety-and-health/>
- [36] ZHOU, Jian. JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES. *A Remote Monitoring and Maintenance System for Industrial Robots* [online]. 2022 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2366/1/012036/pdf>
- [37] APPINVENTIV. *The Intersection of IoT and Robotics: Transforming Industries and Workforce* [online]. 2024 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://appinventiv.com/blog/iot-in-robotics/>
- [38] SYSTEMONLINE. *Měřím, tedy šetřím* [online]. 2021 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://m.systemonline.cz/it-asset-management/merim-tedy-setrim-technologie-internetu-veci-pomahaji-setrit-energie.htm>
- [39] THINK EASY. *Co je IoT a jak funguje v praxi (příklady)* [online]. 2022 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://thinkeasy.cz/co-je-iot-a-jak-funguje-v-praxi-priklady/>
- [40] INTEL. *Robots and Artificial Intelligence* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/learn/artificial-intelligence-robotics.html>
- [41] INBOLT. *Thinking Machines: Why Robots Rely on Artificial Intelligence* [online]. 2024 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.inbolt.com/resources/thinking-machines-why-robots-rely-on-artificial-intelligence>
- [42] MECALUX. *Autonomní mobilní roboty (AMR)* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.mecalux.cz/automatizovane-sklady/autonomni-mobilni-roboty-amr>
- [43] STÄUBLI. *6-axis and SCARA industrial robots* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/cz/en/robotics/products/industrial-robots.html>
- [44] KUKA. *Koboty: Váš vstup do světa automatizace s kolaborativními roboty* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/vyroba-v-budoucnosti/spoluprace-clověka-s%C2%A0robotem/koboty>
- [45] STÄUBLI. *An international Group with a passion for innovation* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/cz/en/home.html>
- [46] YAMAHA. *YAMAHA SCARA ROBOT YK-XR Series* [online]. 2024 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: https://www.yrginc.com/catalog/pdf/currentmanuals/robot_e/yk-xr_inst_e_v1.10.pdf

- [47] EPSON. *T6-B All-in-One SCARA Robot* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z:
] https://epson.com/Support/Robots/SCARA-Robots/SCARA-T-Series/Epson-T6-B-SCARA-Robots/s/SPT_RT6B-602SS
- [48] MITSUBISHI ELECTRIC. *RH-3FRH5515-R* [online]. [cit. 2025-05-22]. Dostupné z:
] <https://emea.mitsubishielectric.com/fa/products/rbt/robot/horizontal/rhfr-series/rh-3frh5515-r.html>
- [49] OMRON. *I4L* [online]. 2022 [cit. 2025-05-22]. Dostupné z:
] <https://www.ia.omron.com/products/family/3812/specification.html>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 TS2-60 SCARA robot [2]	13
Obrázek 2 Pracovní prostor robotu SCARA [7]	19
Obrázek 3 Bezpečnostní klec [11]	23
Obrázek 4 Snímač pro kontrolu kvality [12]	23
Obrázek 5 Platinové odporové čidlo [13]	24
Obrázek 6 Piezorezistivní senzor tlaku [14]	25
Obrázek 7 Plovákové hladinoměry [15]	25
Obrázek 8 Indukční snímač polohy [16]	26
Obrázek 9 Řazení bloků uvnitř běžného válcového senzoru [17]	26
Obrázek 10 Snímač síly [18]	27
Obrázek 11 Ukázka programu Gazebo [21]	34
Obrázek 12 Program pro snímání obličeje [22]	34
Obrázek 13 Ukázka programu V-REP [23]	35
Obrázek 14 Ukázka programu LabVIEW [24]	35
Obrázek 15 Ukázka programu MATLAB [25]	36
Obrázek 16 Ukázka programu Simulink [26]	36
Obrázek 17 Ukázka programu SolidWorks [27]	37
Obrázek 18 Ukázka programu Autodesk Fusion 360 [28]	37
Obrázek 19 Ukázka programu RobotStudio [29]	38
Obrázek 20 Ukázka programu pro robot FANUC [31]	41
Obrázek 21 Ukázka programu pro robot Kuka [32]	42
Obrázek 22 Značení pro elektrické nebezpečí [34]	44
Obrázek 23 OSHA normy [35]	48
Obrázek 24 Řešení IoT [38]	51
Obrázek 25 Využití IoT [39]	52
Obrázek 26 IoT v logistice [25]	58
Obrázek 27 Schéma robotů poháněných AI [41]	62
Obrázek 28 ARM roboty [42]	63
Obrázek 29 Kloubový robot Stäubli [43]	63
Obrázek 30 Cobot Kuka [44]	64
Obrázek 31 Robotické stanoviště SCARA TS2-60	68
Obrázek 32 Založení nového projektu	74
Obrázek 33 Název a uložení nového projektu	75
Obrázek 34 Výběr lokálního kontroleru	75

Obrázek 35 Výběr robotu.....	76
Obrázek 36 Nastavení kontroleru	76
Obrázek 37 Potvrzení zazaložení programu	77
Obrázek 38 Rozdělení programu Stäubli Robotics Suite.....	78
Obrázek 39 3D prostor programu	78
Obrázek 40 Záložka Home	79
Obrázek 41 Záložka VAL3	79
Obrázek 42 Záložka Modelling.....	79
Obrázek 43 Záložka Simulation.....	80
Obrázek 44 blok Scene	80
Obrázek 45 Blok s Daty a jejich vlastnostmi	81
Obrázek 46 Informace s výstupy	81
Obrázek 47 Blok Toolbox.....	82
Obrázek 48 Insert CAD.....	82
Obrázek 49 Model stanoviště.....	83
Obrázek 50 Model gripperu	83
Obrázek 51 Kontroler.....	84
Obrázek 52 Umístění kalibračního tělesa a hrotu	85
Obrázek 53 Gripper a kužel	86
Obrázek 54 Data úkolu kalibrace.....	87
Obrázek 55 Programy úkolu kalibrace.....	87
Obrázek 56 Interface úkolu kalibrace	88
Obrázek 57 Ukázka umístění frame.....	89
Obrázek 58 Souřadný systém frame	89
Obrázek 59 Data úlohy frame a kreslení.....	90
Obrázek 60 Program úlohy frame a kreslení	91
Obrázek 61 Interface úlohy frame a kreslení	91
Obrázek 62 Princip úlohy pick and place s kamerou.....	92
Obrázek 63 Data úlohy pick and place s kamerou.....	93
Obrázek 64 Vytvoření socketu.....	93
Obrázek 65 Propojení datového typu string s komunikací	94
Obrázek 66 Program úlohy pick and place s kamerou.....	94
Obrázek 67 Interface úlohy pick and place s kamerou	95
Obrázek 68 Konfigurace kamery	96
Obrázek 69 Ukázka čtení QR kódů.....	96

Obrázek 70 Ukázka programu kalibrace	98
Obrázek 71 Umístění souřadnicového systému frame	99
Obrázek 72 Válečky s QR po umístění na výsledné pozice	99

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Technické parametry robotu ST2-60 [2].....	70
Tabulka 2 Technické parametry robotu amaha YK400 XR [46].....	71
Tabulka 3 Technické parametry robotu Epson T6-B [47]	71
Tabulka 4 Technické parametry robotu Mitsubishi RH-3FRH5515 [48].....	72
Tabulka 5 Technické parametry robotu Omron i4L [49].....	72

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

HMT	Homogenní transformační matice
3D	Trojrozměrný prostor
DOF	Stupně volnosti
RNEA	Rekurzivní Newton-Eulerův algoritmus
ABA	Algoritmus kloubového těla
CRBA	Algoritmus kompozitního tuhého tělesa
ROS	Robotický operační systém
CAD	Počítačem podporované projektování
CAM	Počítačová podpora obrábění
CAE	Počítačový software k usnadnění inženýrské analýzy
IoT	Internet věcí
IoRT	Průmyslový internet věcí
OSHA	Zákon o bezpečnosti práce a ochraně věcí
ANSI	Americká standardizační organizace
RIA	Hodnocení dopadů regulace
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
AI	Umělá inteligence
ARM	Architektura počítačů
NLP	Zpracování přirozeného jazyka
IO	Vstup/výstup
IP	Internetový protokol
QR	Kód rychlé reakce
TCP	Protokol transpontní vrstvy