



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**SPOLUPRÁCE ČLOVĚK-STROJ – VYUŽITÍ
POČÍTAČOVÉHO VIDĚNÍ**

HUMAN-MACHINE COLLABORATION – USING COMPUTER VISION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Sobotka

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Roman Parák

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Pavel Sobotka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Roman Parák**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Spolupráce člověk–stroj – využití počítačového vidění

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zahrnovat rešerši v oblasti využití počítačového vidění v kolaborativní robotice a přehled aktuálního stavu v dané oblasti.

Předmětem práce bude návrh řídicího programu pro vybranou laboratorní úlohu s využitím 3D kamery (napr. Kinect, RealSense atd.) Následovat bude vytvoření stručného návrhu analýzy rizik pro konkrétního robota. Závěr práce bude věnován implementaci návrhu a ověření funkčnosti vytvořeného řešení.

Práce předpokládá aktivní přístup studenta a nutnost práce v laboratoři.

Cíle bakalářské práce:

Seznamte se s problematikou kolaborativních robotů. Zpracujte přehled aktuálního stavu v dané oblasti.

Proveďte rešerši v oblasti využití počítačového vidění v kolaborativní robotice.

Navrhněte řídicí program pro vybranou laboratorní úlohu s využitím 3D kamery.

Vytvořte stručný návrh analýzy rizik pro konkrétního robota.

Implementujte návrh a ověřte funkčnost vytvořeného řešení.

Seznam doporučené literatury:

ABB Robotics: Manufacturer & Supplier of Industrial Robots. <https://new.abb.com/products/robotics>

Universal Robots: Collaborative Robotics. <https://www.universal-robots.com/>

OpenCV: Open Computer Vision library. <https://opencv.org/>

PCL: Point Cloud Library. <https://pointclouds.org>

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavní náplní této bakalářské práce je realizace aplikace pro řízení robotického ramene prostřednictvím zařízení Kinect. Aplikace je psána v jazyce C# za použití vývojového prostředí Microsoft Visual Studio 2017. První část bakalářské práce pojednává o tématech kolaborativní robotiky, počítačového vidění a zařízení Kinect od společnosti Microsoft. Druhá část práce je věnována popisu implementace a testování zmíněné aplikace.

ABSTRACT

The main task of this bachelor's thesis is a realization of application for controlling the robotic arm through the Kinect device. Application is programmed in C# language using Microsoft Visual Studio 2017 integrated development environment. The first part of the thesis deals with the topics of collaborative robotics, computer vision and Kinect device from Microsoft. The second part is about the description of the implementation and testing of the application.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kolaborativní robotika, počítačové vidění, Kinect, uživatelské rozhraní, strojové učení, Microsoft, 3D kamera, hloubkový obraz, vývojová sada, robotické rameno, sledování kostry

KEYWORDS

Collaborative robotics, computer vision, Kinect, user interface, machine learning, Microsoft, 3D camera, depth image, development kit, robotic arm, skeleton tracking

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SOBOTKA, Pavel. *Spolupráce člověk-stroj – využití počítačového vidění*, Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanu Parákovi. Za odbornou pomoc, časté konzultace, ochotu, přátelskou spolupráci, jeho přístup a nadšení, které mě po celou dobu motivovalo. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která mě během celého studia podporovala.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Romana Paráka a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 21. 5. 2019

.....

Pavel Sobotka

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	KOLABORATIVNÍ ROBOTIKA.....	17
2.1	Současný stav kolaborativní robotiky.....	17
2.2	Senzory kolaborativních a průmyslových robotů.....	21
2.3	Budoucnost kolaborativních robotů.....	23
3	POČÍTAČOVÉ VIDĚNÍ.....	25
3.1	Co je to počítačové vidění.....	25
3.2	Strojové vidění v robotice.....	26
3.3	3D kamery.....	29
4	KINECT V1.....	35
4.1	Barevná kamera.....	36
4.2	Senzor hloubky.....	36
4.3	Motor naklonění.....	37
4.4	Mikrofonní pole.....	38
4.5	LED.....	38
5	ŘEŠENÍ PROBLÉMU.....	39
5.1	Potřebné komponenty.....	39
5.2	Funkce Kinect SDK.....	40
5.2.1	Data barevného obrazu.....	40
5.2.2	Data hloubkového obrazu.....	41
5.2.3	Detekce kostry lidského těla.....	42
5.2.4	Rozpoznávání gest.....	45
5.2.5	Nastavení úhlu sklonu senzoru.....	45
5.3	Vývoj Kinect aplikace.....	45
5.3.1	Zpracování barevného obrazu.....	46
5.3.2	Zpracování hloubkového obrazu.....	47
5.3.3	Zpracování skeleton stream.....	48
5.4	Grafické rozhraní Kinect aplikace.....	52
6	TESTOVÁNÍ.....	53
6.1	Propojení s robotem.....	53
6.2	Rizika a bezpečnost.....	55
7	ZÁVĚR.....	57
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	59
9	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	63
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	65

1 ÚVOD

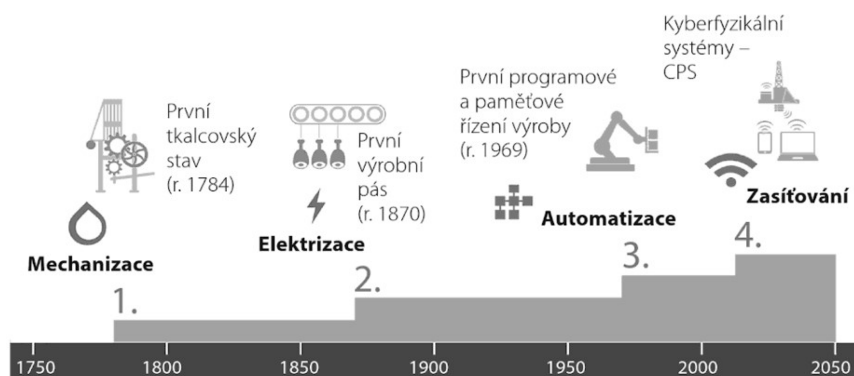
Cílem bakalářské práce je návrh a implementace přirozeného uživatelského rozhraní (NUI) pro ovládání robotického ramene za použití počítačového vidění. Pro aplikaci je použito zařízení Kinect od společnosti Microsoft. Zařízení Kinect je v první řadě doménou herního světa, avšak vývojová sada Kinect for Windows SDK dala prostor vývojářům pro uplatnění Kinectu i mimo tuto oblast. Pomocí Kinectu je možné sledování lidského těla a následná reakce na jeho pohyby a gesta, měření vzdáleností objektů, analýza 3D dat a vytvoření 3D modelu, rozpoznávání lidského hlasu a další. Senzor se takto může využít v mnoha dalších oblastech, jako je například zdravotnictví, vzdělání, armáda a robotika. Úkolem práce je tedy uplatnit počítačové vidění prostřednictvím zařízení Kinect pro reálnou aplikaci v robotice. Návrh grafického uživatelského rozhraní a propojení s robotem, které je následováno testováním aplikace v simulaci a posléze i na reálném robotickém rameni od společnosti ABB.

Úvod práce pojednává o kolaborativní robotice a jejím současném stavu. Seznamuje čtenáře se společnostmi z oboru a praktickým využitím kolaborativních robotů. Dále se práce zabývá počítačovým viděním a jeho využitím v souvislosti s kolaborativní robotikou. Zde jsou představeny známé společnosti na trhu a jejich nejmodernější technologie. Poté je představeno samo zařízení Kinect, které je použito pro realizaci řídicího programu. Následující kapitoly pak popisují samotné řešení aplikace pro řízení robotického ramene. Tyto kapitoly čtenáři vysvětlí, na jakých principech zařízení Kinect pracuje a představí použité funkce vývojové sady. Vše je zakončené kapitolou o propojení s robotem, jeho testováním, shrnutím rizik a bezpečnostních opatřeních.

2 KOLABORATIVNÍ ROBOTIKA

V dnešní době je vývoj lidské společnosti vysoce ovlivněn technickými inovacemi. Nyní je doba čtvrté průmyslové revoluce, tzv. Průmysl 4.0. Na obr. 1. jsou pro názornost na časové ose postupně znázorněny jednotlivé průmyslové revoluce.

Hlavním cílem průmyslu 4.0 je maximální využití automatizace, propojení výrobních, logistických a distribučních systémů. K dosažení těchto cílů bude sloužit kombinace komunikačních technologií (sociální media), informačních technologií (možnosti zpracování a uchování velkých datových souborů), internetu věcí (označení pro síť fyzických zařízení, vybavených elektronikou, softwarem, senzory a další). Tato síť umožňuje propojení jednotlivých zařízení a výměnu dat, robotických prostředků, senzorů, umělé inteligence (UI) a využití materiálů. Díky sítím dochází nejen ke zlepšení komunikace strojů mezi sebou, ale také ke zlepšení spolupráce člověk a stroj. [1]



Obr. 1: Průmyslové revoluce [1]

2.1 Současný stav kolaborativní robotiky

S příchodem Průmyslu 4.0 vzniklo několik nových konceptů, které mění průmyslové hodnoty. Jedním z nich je kolaborativní robotika a s ní i výraz cobot. Slovo cobot vzniklo spojením slov collaborative robot, v překladu spolupracující robot, česky kobot. Tito roboti byli navrženi pro bezpečnou spolupráci člověka a robota. Kolaborativní roboti přichází s novou úrovní automatizace, kdy došlo k odstranění ochranných klecí a sítí a roboti nyní mohou plně a bezpečně operovat v bezprostřední blízkosti lidí a může dojít i k přímému fyzickému kontaktu.

Koboti překonali hrozby klasických automatizovaných robotů ve výrobě a stali se tak bezpečnými a uživatelsky přívětivými objekty, které úzce spolupracují s lidmi při dokončování různých procesů. Tito kolaborativní roboti pomáhají dosahovat nových úrovní automatizace a to dokonce i v malých a středních podnicích. Roboti a koboti našli své využití v provádění opakovaných úloh v čase, jako operace zvedni a polož (*pick and place*) a dalších jednodušších úkolech, kde byli předtím zapotřebí lidé. To

pomohlo k nahrazení lidí při těžkých a opakovaných úkonech, lidé tak mohou svůj potenciál směřovat do úkolů, které robot nezastane. Roboti a koboti mají stále lepší uživatelská rozhraní a jsou tak stále snadněji programovatelní, pracují v rychle se měnícím prostředí, kde jsou díky tomu snadno nasazeni pro více účelů. Po implementaci 3D vizualizace a intuitivního nastavení je možno roboty ovládat na dotykovém tabletu. V různých průmyslových odvětvích, od výroby až po konečnou výrobu, je role robotů a kobotů nepostradatelná. Zvládají všechny kooperační úkoly a procesy s minimálním dohledem. Všechny procesy jsou prováděny s vysokou přesností a stálým tempem. Rychle se integrují s ostatními systémy a platformami. Koboti a průmysloví roboti jsou vyvíjeni tak, aby byli schopni kooperovat nejen s člověkem, ale i s jinými stroji.

Koboti jsou schopni pomáhat člověku nejen na poli výrobní a montážní, ale i ve zdravotnictví, fyzioterapii, domácích pracích nebo logistice. BCG (*The Boston Consulting Group*) výzkum předpovídá, že do roku 2025 zařazení pokročilých robotů zvýší produktivitu až o 30% v mnoha průmyslových odvětvích a sníží celkové náklady na pracovní sílu o 18% nebo více [2].

Jeden z prvních kolaborativních robotů v České republice je kooperující robot LBR iiwa od firmy KUKA v Škoda auto ve Vrchlabí. Jedná se o sedmiosé robotické rameno s nosností až 14 kg a dosah 820 mm (obr. 2). Kobot Kuka slouží pro manipulaci a zakládání řadících pístů do automatické převodovky, které mu jsou lidskými spolupracovníky podávány. Práce s tímto kusem zařízení vyžaduje vysokou přesnost a opakovatelnost. Rameno tak nahradilo pracovníka, který musel manipulovat s touto součástí s neustálou přesností a maximálním soustředěním. Již menší poškození pístu by mohlo způsobit nefunkčnost celé převodovky. LBR iiwa má vysoce citlivé senzory v každé z jeho os a zakládá písty řazení s přesností opakování polohy 0,1 mm. Tyto senzory jsou také schopny reagovat na případný kontakt se zaměstnancem a rameno tak okamžitě zastavit. [3]



Obr. 2: KUKA při kooperaci [4]

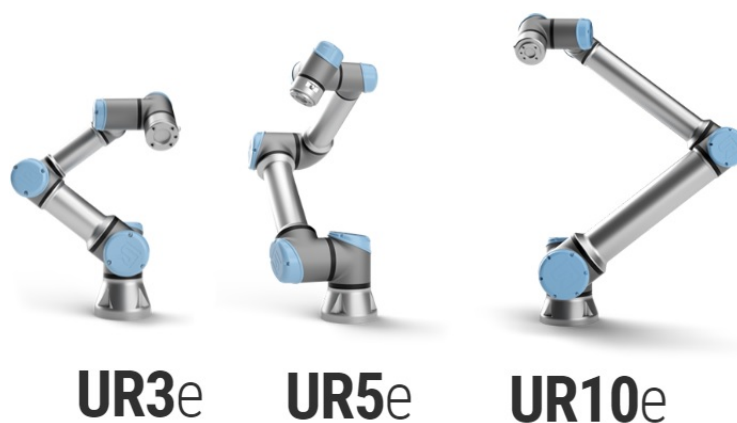
Dalším příkladem kooperace a vývoje v této oblasti je Amazon Robotics. Původně Kiva Systems založena v roce 2003 a v roce 2012 odkoupena Amazonem za

775 milionů dolarů. Dříve museli pracovníci Amazonu chodit po skladu a sbírat jednotlivé položky, což je velice neefektivní. Kiva Systems však zásadně změnil způsob, jakým se lidé a objekty ve skladu pohybují. Jedná se o kooperativního robota, který je přibližně 40 cm vysoký, řízený šesti koly. Robot je navržen tak, aby se byl schopen jednoduše pohybovat pod policemi skladu. Každý robot váží 145 kg a dokáže uzvednout náklad do 315 kg. K nadzvednutí polic dochází pomocí šroubového systému, který dokáže změnit výšku robota o několik centimetrů. Šroubový systém lze vidět na obr. 3.



Obr. 3: Vnitřní uspořádání robota od Amazon Robotics [5]

Na místo toho, aby pracovník chodil po skladu, roboti nadzvednou police se zbožím a dovezou je přímo na dané stanoviště, kde se o ně postará lidský pracovník. Tito autonomní roboti sestávají ze sofistikovaného řídicího softwaru, jazykového vnímání, řízení spotřeby, počítačového vidění, snímání hloubky, strojového učení, rozpoznávání objektů a sémantického porozumění příkazům. Před vyčerpáním energie z baterie je robot schopen sám zajet do nabíjecí stanice. Robot dokáže detekovat překážku před sebou a bezpečně zastavit, případně se vyhnout. Nyní má Amazon ve svých skladech více než 100 000 robotů. Je tedy zřejmé, že se jedná o velmi dobře propracovaný systém, ve kterém dochází ke spolupráci mezi vyšším počtem robotů a člověkem. [6]



Obr. 4: Universal Robots e-Series [7]

Jedním z největších globálních dodavatelů kolaborativních robotů je společnost Universal Robots. Tato společnost je zaměřena na automatizaci v menších podnicích. Snaží se tedy své roboty udělat co nejdostupnější a jednoduše ovladatelné. Universal robots se soustředí na výrobu robotických ramen. Nejnovější sérií je e-Series (obr. 4), která se skládá z modelů UR3e (3 kg zatížení, 500 mm dosah), UR5e (5 kg zatížení, 850 mm dosah) a UR10e (10 kg zatížení, 1300 mm dosah). V České republice byla poprvé představena v Praze 1. srpna 2018. Tato série podle výrobce přináší 5 hlavních přínosů:

1) Bezpečné a kolaborativní

Dokáží převzít namáhavé úkoly, manipulaci s nebezpečnými chemikáliemi, či práce v nepříjemných prostředích. Díky nastavitelným parametrům pro zastavení kobota a detekci kolizí, mohou pracovat bez bezpečnostních zábran.

2) Rychlé nastavení

Koboti jsou kompatibilní s jednofázovým elektrickým napájením. Díky intuitivnímu uživatelskému rozhraní může robot snadno měnit úkol a lehce se tak integruje do výrobní linky.

3) Flexibilní

Koboti jsou lehcí a mohou být tak rychle přemísťováni mezi jednotlivými úkoly. Poskytují tím neomezené způsoby nasazení a automatizace úkolů.

4) Snadné programování

Uživatelské rozhraní umožňuje komukoliv začít rameno programovat bez předchozí zkušenosti programování. Lze také kobota naprogramovat pomocí tažení za jeho zápěstí a naučit ho tak potřebný pohyb.

5) Rychlá návratnost

Společnost Universal Robots zpřístupnila robotickou automatizaci malým a středně velkým společnostem, a zpřístupňuje jim výhody automatizace a kolaborativní robotiky bez nutnosti nákladů spojených s programováním, nasazením a bezpečností. [7]

Další významnou společností na trhu je švédsko-švýcarská multinárodní korporace ABB se sídlem v Zurichu. ABB se pohybuje v oblasti energetiky a

automatizace. Je též předním dodavatelem průmyslových robotů a softwaru pro roboty, vybavení a kompletních aplikačních řešení. Se sídlem v 53 zemích, nainstalovalo více než 400 000 robotů podporovaných nejširší servisní sítí a nabídkou v oboru.



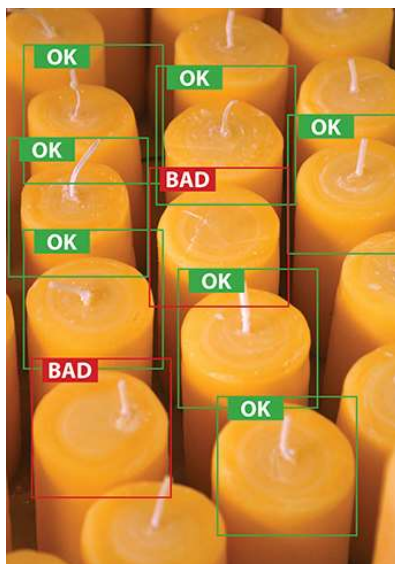
Obr. 5: YuMi od ABB [8]

V roce 2015 na veletrhu v Hannoveru ABB představilo YuMiho (obr. 5). Prvního dvouramenného kolaborativního robota na světě. Robota se dvěma pažemi vyvinuli pro montáž drobných součástek. YuMi znamenal pro ABB další krok do nové éry robotických spolupracovníků, kteří jsou schopni spolupracovat na stejných úkolech s lidmi a zároveň zajistit bezpečnost těch, kteří jsou kolem něj. Zařízení tvoří dvě flexibilní paže, které umožňují vykonávání více úkonů najednou, systém podávání součástek, kamerový systém umísťování součástek a robotické řízení. YuMiho pracovní prostor dosahuje 559 mm s užitečným zatížením 500 g. [8]

2.2 Senzory kolaborativních a průmyslových robotů

Robotické senzory se používají k odhadu stavu a prostředí robota. Senzory dávají robotům hlavně schopnost vidět, dotýkat se, slyšet a pohybovat se. Měří změny v prostředí, které by mohly ovlivnit úlohu robota a zároveň kontrolují výsledky jeho akce. K tomu se využívá algoritmů, které vyžadují zpětnou vazbu od okolí. Senzory rozdělujeme na interní a externí. Interní získávají data o vnitřním stavu robota, zatímco externí zajišťují interakci s okolním světem. Typy senzorů se vždy kombinují s ohledem na potřeby schopností robota. Informace z těchto senzorů je pak nutné sdružovat a zavést do jednoho souřadného systému pro eliminaci šumu a chyb. Zde jsou uvedeny ty nejpoužívanější u průmyslových a kolaborativních robotů.

Jedním z nejstarších a nejdéle používanějších je videokamera s 2D vizí. Pomocí těchto kamer dokáže robot detekovat části a zmapovat jejich polohu tak, aby pak mohl své akce přizpůsobit získaným informacím. Jsou také schopny rozpoznávat vady na výrobcích (obr. 6) pomocí systémů umělé inteligence. Touto problematikou se zabývá napr. startupová firma SANEZOO se sídlem v Brně.



Obr. 6: Hledání defektu svíčky od SANEZOO [9]

V současné době se stále více používají 3D senzory průmyslových robotů. Umožňují snímat objekt v kartézském souřadnicovém systému X, Y, Z. Systém může fungovat na principu dvou videokamer, nebo třetí rozměr získává pomocí laserového skeneru, případně projektoru.

Zatímco kamery dávají robotovi oči, snímače momentu síly mu umožňují hmat. Roboti jsou tak schopni odhadnout sílu, kterou musí použít pro práci s objektem. Tento senzor se nejčastěji nachází mezi nástrojem (koncovým efektozem) a zápěstím robota. Tímto způsobem jsou sledovány všechny síly působící na nástroj.

Senzor na detekci kolizí je jedním z klíčových u kolaborativních robotů. Hlavním úkolem těchto senzorů je zajistit bezpečné pracovní prostředí pro lidské pracovníky. Některé senzory mohou být hmatovým rozpoznávacím systémem, kdy je-li na měkkém povrchu snímán tlak, robot zašle signál, aby omezil nebo zastavil jeho pohyby. Tento druh senzoru může být i přímo zabudovaný do robota. Některé společnosti používají akcelerometry, jiné používají aktuální zpětnou vazbu. V každém případě, když robot zjistí abnormální sílu, nouzově zastaví.

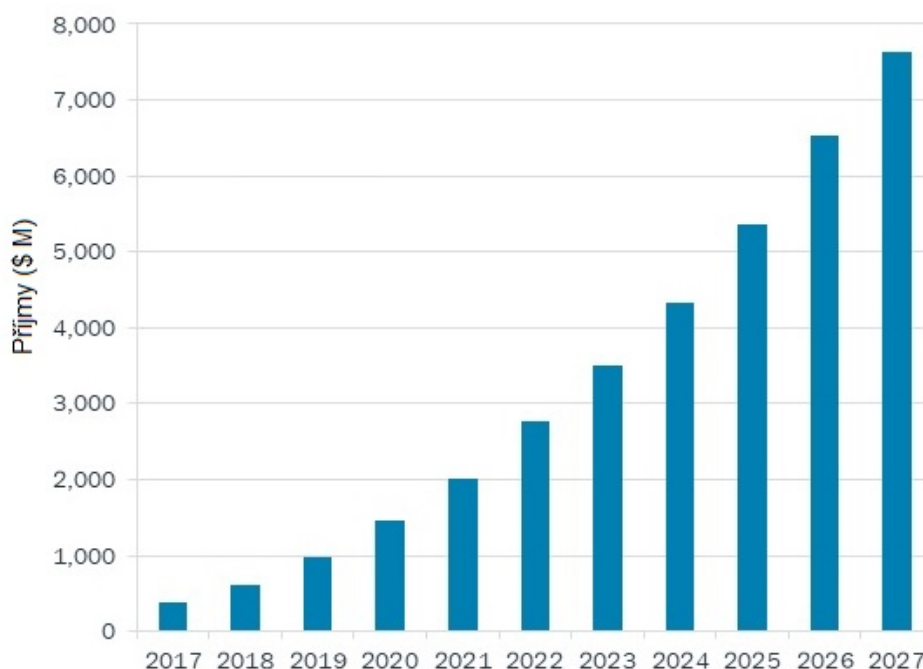
Pro snížení rizik na pracovišti se používají bezpečnostní senzory. Tyto senzory se mohou objevit v mnoha různých provedeních. Od kamer k laserům je bezpečnostní senzor navržen tak, aby robotovi sdělil, že je v jeho blízkosti přítomen člověk. Senzory tak vytvoří virtuální zeď okolo pracovního prostoru robota. Některé bezpečnostní systémy jsou konfigurovány na dvě úrovně. V první úrovni, jak se pracovník dostane do určité vzdálenosti, robot zpomalí. V druhé úrovni se pracovník dostane do pracovního prostoru robota a ten zastaví.

Snímače detekce dílů jsou schopny rozpoznat, zda byla součást správně uchopena, pokud ne, robot uchopení zopakuje. Tyto senzory též umožňují rozpoznat, zda je ruka robota prázdná. [10, 11]

2.3 Budoucnost kolaborativních robotů

Kolaborativní roboti se dnes již stali trendem. Více lidí se postupně dozví o výhodách kolaborativních robotů, zvýší se tak poptávka. Využití kobotů se rozšíří i do středních a menších podniků. Společnost pro výzkum trhu Markets and Markets očekává, že trh kolaborativních robotů vzroste hodnota až na 4,28 miliard dolarů do roku 2023 [12]. Další odhadovaný růst trhu podle Interact Analysis je na obr. 7. Hnací síly tohoto pokroku budou UI (umělá inteligence), IOT (*internet of things* česky internet věcí) a pokročilé senzorové technologie.

Zvýší se produktivita výrobních procesů, přičemž lidé pracující v továrnách budou při určitých činnostech nahrazeni pokročilými koboty, které vykazují vysokou výkonnost a nikdy nekončící schopnost pracovat. [13]



Obr. 7: Odhad ročních příjmů v kolaborativní robotice [13]

3 POČÍTAČOVÉ VIDĚNÍ

3.1 Co je to počítačové vidění

Jde o velmi moderní technologii, která se plně rozvinula až v posledních letech. Používá se k analýze videa v reálném čase. Počítačové vidění se již používá v mnoha oblastech.

- Často používaným je v oblasti medicíny, kde slouží ke zpracování snímků lidského těla, získaných z rentgenu, mikroskopu nebo tomografu. Pomáhá lékařům při diagnostice pacienta a umožňuje jim výrazně zrychlit procesy zpracování obrazových dat.
- Armádní využití počítačového vidění je jednou z největších oblastí. Využívá se od detekce nepřátelských jednotek, vozů až po navádění raket.
- Jedním z novějších oborů je řízení autonomních vozidel a bezpilotních letounů, která se mohou používat na průzkum nebezpečných oblastí nebo v kosmonautice.
- Pro tuto práci je však nejpodstatnější použití v průmyslu, kde je často označováno jako strojové vidění. Získávání dat zde probíhá za účelem podpory výrobního procesu. Může být použito ke kontrole kvality, kde jsou detaily nebo finální produkty automaticky kontrolovány za účelem vyhledání defektů. Také pro určení pozice a orientace předmětů v prostoru, i k zajištění bezpečnosti při kooperaci s člověkem.

Data pro zpracování jsou ve formě digitálního obrazu, který je produkován jedním nebo více obrazovými senzory. Tyto senzory jsou často klasické videokamery, které fungují díky fotografickým zářením citlivým na světlo. Senzory však mohou být doplněny i o snímače vzdálenosti, tomografická zařízení, radary, nadzvukové kamery a další. Výsledná obrazová data jsou pak vzhledem k použitým sensorům 2D obraz, 3D objem nebo sekvence snímků.

Předtím, než může být použita metoda počítačového vidění na obrazová data, je většinou potřeba provést několik kroků k zabezpečení správnosti předpokladů. Jedná se například o zmenšení nebo zvětšení obrazu, redukce šumu, vylepšení kontrastu. Neexistuje však žádná standardní formulace způsobu řešení obecných problémů počítačového vidění. Existují známé metody pro řešení omezených, dobře definovaných úloh počítačového vidění, které jsou často velice specifické pro danou úlohu a málokdy se dají zobecnit na širší spektrum použití. Ve většině praktických aplikací počítačového vidění jsou počítače předem naprogramované člověkem na řešení specifické úlohy. Nyní jsou však algoritmy zahrnující učení stále častější.

Počítačové vidění je více oborová disciplína, která by se dala brát jako podobor umělé inteligence a strojového učení. Zatím nemáme žádnou přesnou definici umělé inteligence, avšak dala by se označit za vědní obor, který se zabývá vývojem algoritmů a strojů vykazujících znaky inteligentního chování. Umělá inteligence se často využívá

pro řešení úloh vyžadujících autonomní plánování samostatných robotů operujících v reálném prostředí. Jakmile robot získá informace o tomto prostředí, je schopný řešit jednotlivé úlohy. Informace o prostředí jsou získávány právě systémem počítačového vidění, který slouží jako zrakový senzor robota. Umělá inteligence a počítačové vidění sdílí téma strojového učení.

Strojové učení se zabývá vývojem umělé inteligence, které se dokáže učit z dat a přizpůsobovat se změnám. Umělou inteligenci představují na počítači běžící algoritmy, jež jsou schopné rozhodovat, či dokonce předpovídat budoucí vývoj na základě vstupních dat.

3.2 Strojové vidění v robotice

Společnost FANUC je předním světovým výrobcem v oblasti průmyslové automatizace. Podle deníků Financial Times se stala za rok 2018 nejziskovější firmou v historii Japonska.

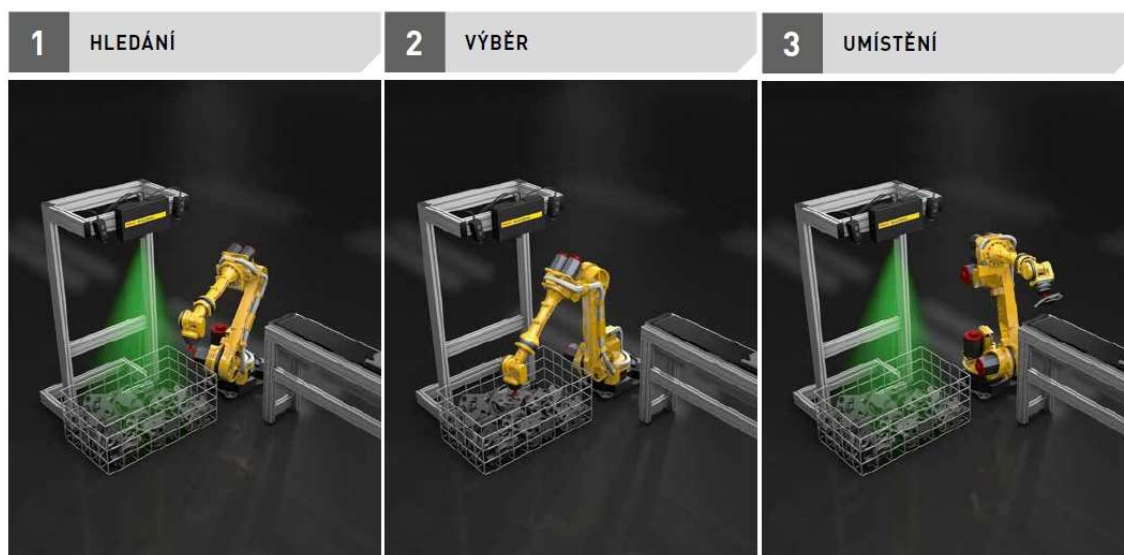
Průmysloví roboti FANUC jako oči používají svůj vlastní systém iRVision. Tento systém je sestavou kamery a softwaru. Slouží pro vizuální detekci výrobků, kdy je průmyslovými roboty využíván především pro montáž produktů, jejich kontrolu, paletizaci a práci typu zvedni a umístni (*pick and place*). Není tedy už potřeba výrobek umisťovat do přesné pozice pro uchopení robotem, protože systém zmapuje výrobek nezávisle. iRVision byl vytvořen s myšlenkou co nejsnadnější instalace. Je plně integrován do robota, nevyžaduje tak další hardware pro nastavení a fungování nebo žádné rozhraní pro externí zařízení. Zapojení funguje i bez komplikovaného programování a je možné ho připojit k jakékoli jiné robotické aplikaci. Systém umožňuje použít všechny typy vidění, od 2D až po 3D.



Obr. 8: FANUC 3D Area Sensor [14]

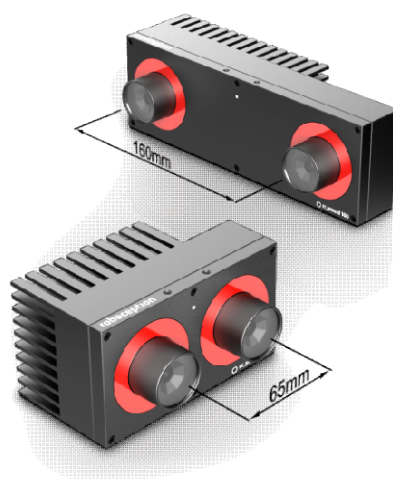
V rámci kamerového systému iRVision lze pro 3D snímání využít FANUC 3D Area Sensor (obr. 8). Tento senzor se nejčastěji využívá pro depaletizaci nebo bin-picking, což je vybírání součástí z koše (obr. 7). K mapování používá vysokorychlostní strukturovanou světelnou projekci a díky snímání dvěma kamerami ze dvou odlišných úhlů si robot v reálném čase poskládá 3D mapu toho co vidí před sebou. Pomocí těchto map systém následně hledá náhodně uspořádané díly. Systém pak vyhodnotí

a rozhodne, který díl si vybere. Do úvahy bere nejenom vzdálenosti, ale i možnosti kolize a podle toho je zvolena nejrychlejší možnost sbírání. Následuje umístění dílu na určenou pozici. Jednou z výhod tohoto senzoru je, že je schopen rozpoznat špinavé, rezavé a mastné součásti s těžko rozpoznatelnými rysy. [15]



Obr. 9: Bin picking pomocí FANUC 3D Area Sensor [15]

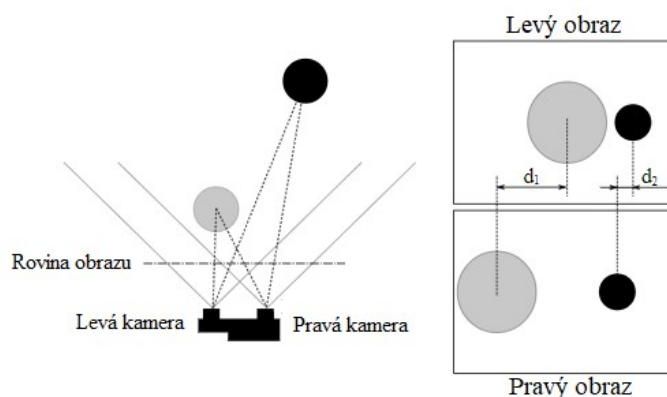
Společnost KUKA je významný německý výrobce průmyslových robotů a řešení pro automatizaci výroby. Kromě hlavního sídla v místě výroby a vývoje v Augsburgu je společnost mezinárodně zastoupena prostřednictvím asi 100 společností.



Obr. 10: Rc_visard senzor ve dvou variantách [16]

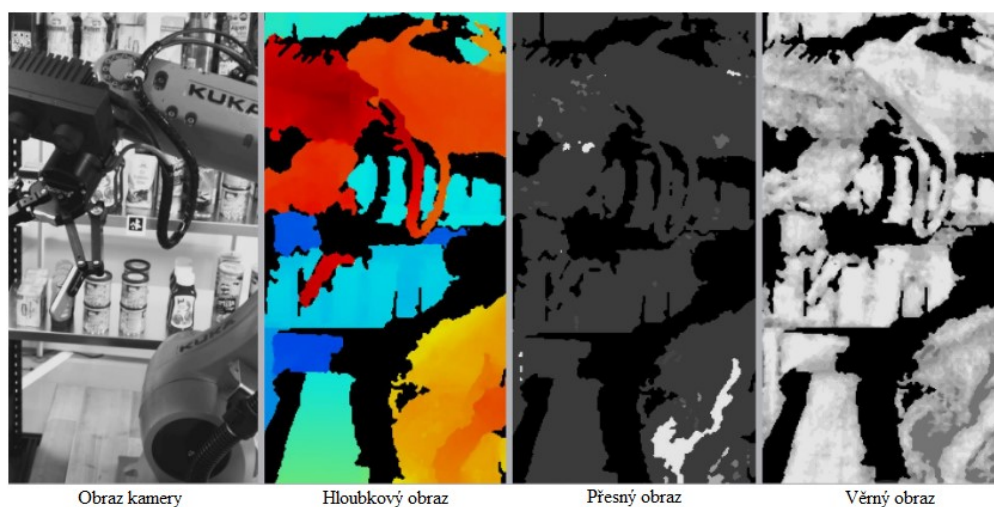
Senzor KUKA_3D Perception zprostředkovává 3D vnímání v reálném čase a umožňuje jak 3D měření, tak i umístění v prostoru. Tento senzor s integrovaným 3D

stereo kamerovým systémem byl navržen firmou Roboception, ve které má KUKA svůj podíl, pod názvem rc_visard. Je to první 3D senzor na světě, který robotům umožňuje vnímat jejich prostředí ve 3D a zároveň sám sebe lokalizovat v prostoru. Se svou integrovanou technologií zpracovává senzor data a obrazy přímo v senzoru a zaznamenává svou aktuální polohu a směr s přesností na milimetry. Tento senzor sestává ze dvou kamer. Vyrábí se ve dvou variantách (obr. 10). Buď jsou kamery od sebe 65 mm pro zpracování objektů ve vzdálenosti menší než 50 cm, nebo jsou kamery od sebe 160 mm pro objekty vzdálenější než 50 cm.



Obr. 11: Fungování snímání z dvou stereo kamer [16]

Při používání senzoru (obr. 11) získáváme 3D informace o scéně porovnáním dvou snímků z dvou kamer, které snímají objekty z různých úhlů pohledu. Hlavní myšlenkou použití páru kamer pro měření hloubky je skutečnost, že body objektů se objevují na různých pozicích ve dvou snímcích kamer v závislosti na jejich vzdálenosti od těchto kamer. Velmi vzdálené body objektů se objevují v přibližně stejném místě v obou snímcích d_2 , zatímco velmi blízké body objektů zaujímají různé pozice v levém a pravém obrazu kamer d_1 . To znamená, že čím větší je rozdíl mezi body ve snímcích, tím blíže je objekt k fotoaparátu.



Obr. 12: Druhy obrazů ze senzoru rc_visard (KUKA_3D Perception) [17]

Tento senzor poskytuje různé druhy obrazů (obr. 12).

- Obráz kamery: Obrázek z levé kamery slouží jako referenční obrázek pro sadu obrazových dat.
- Hloubkový obraz: Vzdálenost od senzoru k objektu je vypočítávána pomocí triangulace hloubkového obrazu.
- Přesný obraz: Obraz přesnosti ukazuje jak přesně je vzdálenost prostředí od senzoru rozeznána.
- Věrný obraz: Věrný obraz ukazuje spolehlivost každé měřené hodnoty pro další kroky zpracování.

Výhodou rc_visard je, že rozpozná své prostředí jak v přirozeném světle venku, tak v uzavřených prostorách se špatným osvětlením. Je také možno pracovat v omezeném prostoru s několika senzory bez vzájemného rušení. Jeho další výhodou je cenová dostupnost. [16, 17]

3.3 3D kamery

3D kamery se nepoužívají pouze pro kolaborativní a průmyslové roboty. Lze je použít pro nespočet různých aplikací. Může se jednat například o skenování objektů, detekci pohybu, rozpoznávání obličejů, využití v herním průmyslu a mnoho dalších. Tyto kamery se pak mohou použít jako NUI (*natural user interface*, česky přirozené uživatelské prostředí). NUI znamená, že pro ovládání dané aplikace používáme nám přirozené prostředí např.: použití vlastního těla jako ovladače a nemusíme se tak složitě učit aplikaci ovládat, je to prostředí přímé a intuitivní. Tyto kamery mohou být vybaveny SDK, tj. *software development kit* (sada vývojových nástrojů), což je nástroj, který umožňuje programování těchto kamer pro individuální využití.

Photoneo

Společnost Photoneo je slovenský startup, který vznikl v roce 2013. Od té doby vzrostl počet zaměstnanců na více než 90 a společnost se rozšířila téměř po celém světě. Jejich hlavním produktem je MotionCam-3D (obr. 13), se kterým získali ocenění VISION Awards 2018 a je zařazen mezi inVISION Top Innovations 2019 (nejlepší inovace pro rok 2019).



Obr. 13: MotionCam-3D [18]

V této době byla vyhodnocena jako 3D kamera s nejvyšším rozlišením a nejvyšší přesností pro skenování v rychlém pohybu na světě. Tato kamera funguje na Photoneo patentované technologii zvané Parallel Structured Light (česky paralelní strukturované světlo). Kamera je schopna kontrolovat objekty pohybující se rychlostí až 40 metrů za sekundu. Má díky tomu široké možnosti uplatnění, kdy preciznost a spolehlivost kamery umožňuje robotům manipulovat s menšími a citlivějšími objekty. Díky schopnosti zaznamenávat rychle se pohybující objekty například v autonomních doručovacích systémech, bezpečnostních systémech a dalších. [18, 19]

Intel RealSense

Společnost Intel Corporation je jedním z největších světových výrobců polovodičových obvodů a dalších zařízení. Intel RealSense technologie je soubor hardwarových a softwarových funkcí, které umožňují interakci se zařízením pomocí 3D kamer. Tyto kamery dávají schopnost počítačového vidění pro mnohá využití např.: autonomní drony, roboty, virtuální realitu, inteligentní domácnosti a dalších zařízení.

Intel RealSense používá pro výrobu kamer 3 různé technologie podle jejich použití.

- **Kódované světlo**

Promítá infračervený vzor na scénu, aby byla umožněna 3D rekonstrukce. Kódované světlo používá známý vzor promítaný na povrchy, aby porozuměl prostředí v prostoru tím, že vyhodnotí nesrovnalosti od vzoru v důsledku deformace.

- **Stereo**

Používá dvojité senzory pro získávání 3D informací z okolí. Funguje podobným způsobem, jak funguje lidské vidění. Hloubka obrazu je vypočítávána pomocí dvou senzorů.

- **Sledovací kamera**

Slouží pro současnou lokalizaci a mapování prostoru.



Obr. 14: Intel RealSense Tracking Camera T265 [20]

Kamera T265 je vybavena právě sledovací technologií (obr. 14). Využívá získané vizuální informace a měřící jednotku spolu se sledovacím algoritmem.

Sledovací kamery umožňují zařízením porozumět jejich vlastní poloze a relativní poloze, což je důležité pro navigaci a vyhýbání překážek. To vše je navrženo pro nízkou spotřebu energie s vysokým výkonem sledování. Kamera je malá o rozměrech 108 x 25 x 13 mm a hmotnosti pouhých 55 g. Slouží hlavně k současné lokalizaci a mapování pro všechny roboty, drony a rozšířené reality.

Všechny tyto kamery je možno programovat pomocí RealSense SDK. SDK umožní extrahovat data z kamery a získat hloubkový obraz. Poté je možné vytvářet vlastní projekty a aplikace. Většina kamer od Intel RealSense je navržena tak, aby byly cenově dostupné široké veřejnosti. [20]

Leap Motion

3D kameru také používá společnost Leap Motion. Tato společnost se zabývá snímáním rukou. Leap Motion ovladač má podobu malého kvádru o délce 8 cm se dvěma infračervenými kamerami. Hlavní uplatnění ovladač našel u brýlí s rozšířenou virtuální realitou (obr. 15), kde díky němu máme detailní a přesné informace o pohybech a pozici našich rukou. Je možné ho však připojit i ke stolnímu počítači nebo laptopu, kdy nám je umožňuje ovládat pomocí vlastních rukou. [21, 22]



Obr. 15: Leap Motion ovladač upevněný na helmě virtuální reality [22]

Microsoft Kinect

Microsoft Corporation je americká nadnárodní technologická společnost se sídlem v Redmondu ve Washingtonu. Vytváří, vyrábí, licencuje, podporuje a prodává počítačový software, spotřební elektroniku, osobní počítače a související služby. V roce 2001 Microsoft vstoupil na trh se svou herní konzolí Xbox.

V roce 2009 byl poprvé oznámen Kinect. Senzor, který snímá pohyb uživatele před obrazovkou a s mikrofonom, který rozuměl hlasovým povelům, prodal Microsoft za prvních šedesát dní od jeho uvedení celkem 8 milionů kusů. Kinect se tak stal nejrychleji prodávaným spotřebním elektronickým zařízením všech dob.

Kinect byl především k herním účelům, ale v roce 2011 byl použit pro řešení problému SLAM (zkratka pro problém souběžné lokalizace a mapování). Ve stejném roce pak Microsoft vydal vývojovou sadu nástrojů (SDK) pro Kinect. Od obou verzí

Kinectu také vyšla verze pro Windows, která byla primárně určena právě pro tvorbu aplikací. [23–25]

Pro řešení této práce byl použit Kinect V1, je to první verze Kinectu, která byla určena pro herní konzoli Xbox 360 a byla jednou z prvních 3D kamer cenově dostupných široké veřejnosti. Více o Kinectu V1 v kapitole 4.



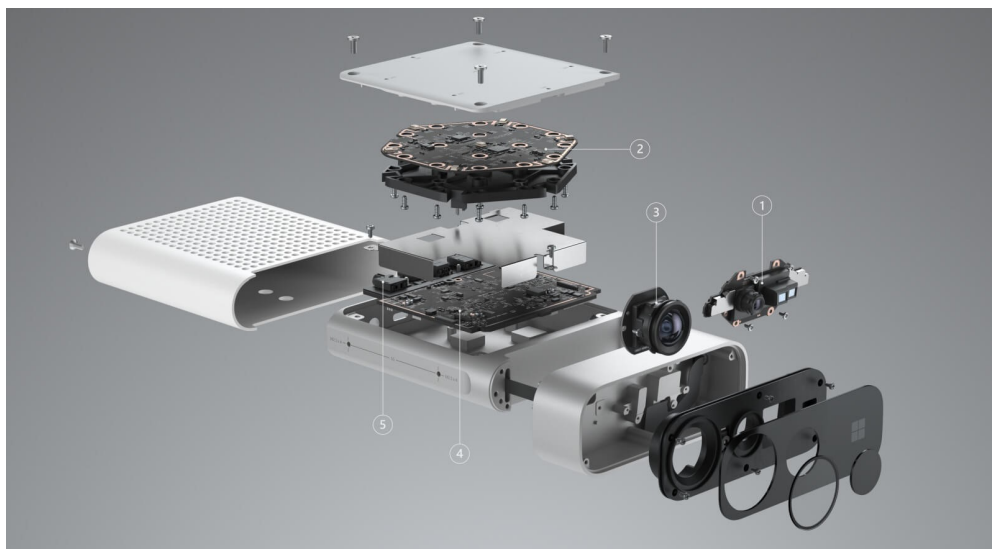
Obr. 16: Kinect V2 [26]

Po první verzi přichází v roce 2013 nová verze Kinectu s výrazně rozšířenými možnostmi a hardwarem Kinect V2 (obr. 16) pro herní konzoli Xbox One. Skládá se z hlavní barevné kamery (obr. 17), která má rozlišení Full HD (1920 x 1080) při 30 snímcích za sekundu. Z prostorové kamery pro měření hloubky, která má rozlišení 512 x 424, a infračerveného vysílače se stejným rozlišením. Zabudovaný má také systém čtyř mikrofónů, který dokáže zaměřit polohu snímaného zvuku. Pro Kinect V2 je tu vývojová sada SDK 2.0, která umožňuje mapování kostry a to až 25 kloubů, mapování rukou a tím rozpoznávání gest i rozpoznání výrazu tváře a další. [26, 27]



Obr. 17: Kinect V2 bez krytu [26]

Microsoft v roce 2017 oznámil ukončení výroby Kinectu. Nyní však Microsoft přichází s novým Azure Kinect DK. Kinect Azure je primárně určen pro vývojáře a předobjednat se dá za \$399.00. Je vybaven pokročilými senzory pro umělou inteligenci, pro zpracování řeči a pro počítačové zpracování obrazu. [28]



Obr. 18: Kinect Azure DK (1) 1megapixelový senzor hloubky (2) pole sedmi mikrofónů (3) 12megapixelová videokamera RGB synchronizovaná s hloubkovým přenosem (4) akcelerometr a gyroskop pro určení pozice senzoru v prostoru (5) externí synchronizační kolíky [28]

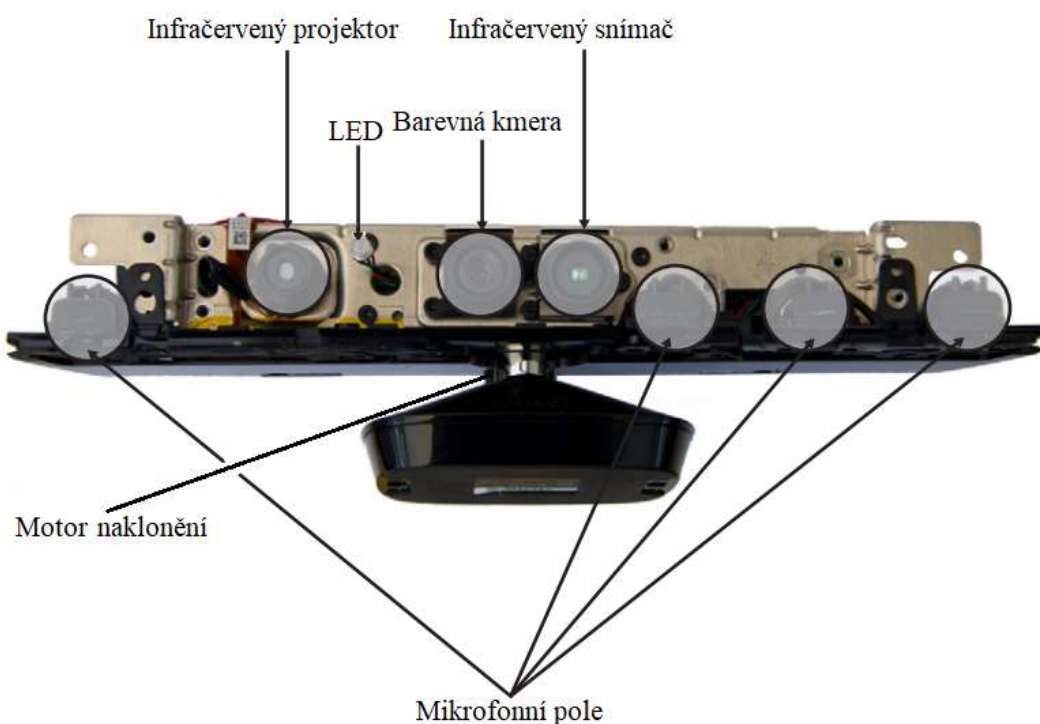
4 KINECT V1



Obr. 19: Kinect V1 [29]

Na obr. 19 je zobrazen Kinect V1. Toto zařízení umožňuje detekci polohy těla, pohybu a hlasu. Tím Kinect poskytuje přirozené uživatelské rozhraní (NUI). Aby toho byl schopen, musí obsahovat komponenty, které detekci umožní. Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z [30–32].

Kinect je zařízení se senzorem hloubky, barevnou kamerou a sadou mikrofonů, to vše je uzavřeno v malé plastové černé skříni. Skříň je připevněna k motoru, který umožňuje naklonění zařízení v horizontálním směru. Kinect senzor obsahuje následující klíčové komponenty (obr. 20):

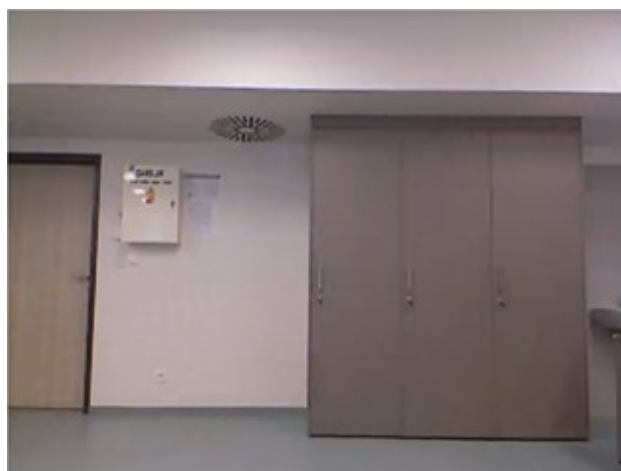


Obr. 20: Vnitřní komponenty Kinectu V1

Kromě výše zmíněných komponent má zařízení Kinect také napájecí adaptér pro externí napájení a USB adaptér pro připojení k počítači.

4.1 Barevná kamera

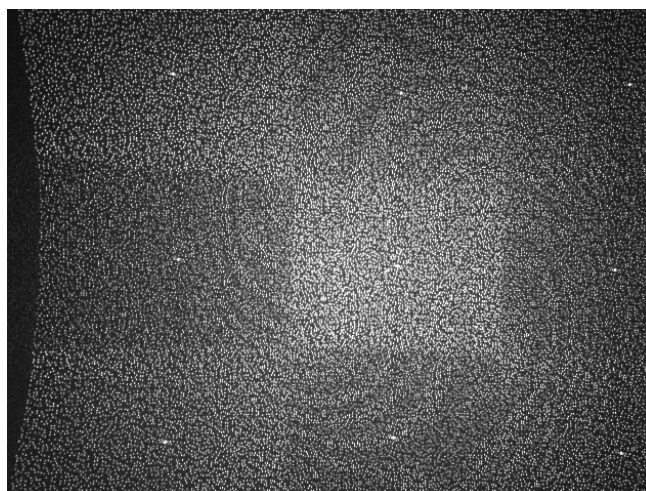
Barevná kamera je zodpovědná za snímání a přenos barevných video dat. Její funkcí je detekovat červené, modré a zelené barvy objektů. Kamera vrací data jako sled snímků. Viditelný rozsah kamery je 43 stupňů svisle o 57 stupňů vodorovně. Následující obr. 21 ukazuje barevný obraz, který byl pořízen pomocí Kinect barevné kamery s rozlišením 640 x 480 pixelů.



Obr. 21: Barevný obraz 640 x 480

4.2 Senzor hloubky

Senzor hloubky se skládá z infračerveného projektoru a infračerveného snímače hloubky. Infračervený projektor před sebe neustále vyzařuje infračervené světlo ve vzoru složeného z teček (obr. 22). Tyto body jsou pro nás obvykle neviditelné, ale je možné zachytit jejich informace o hloubce pomocí infračerveného snímače hloubky.



Obr. 22: Infračervené světlo

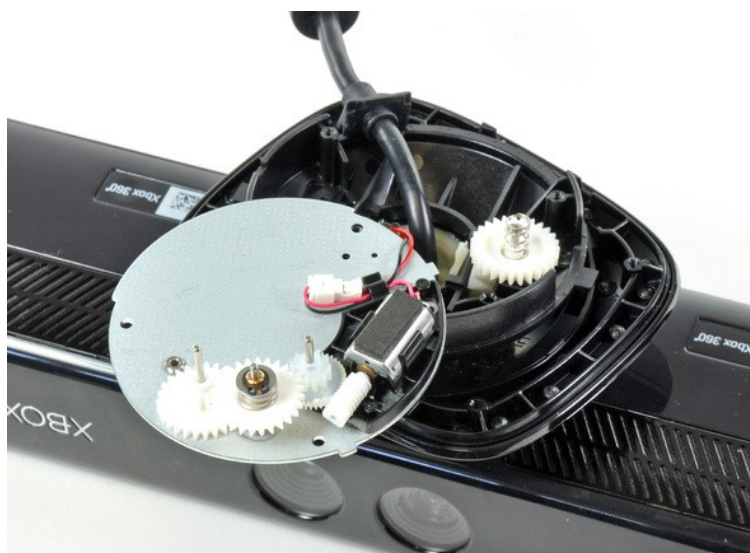
Vzniklá hloubková mapa je vytvořena zcela uvnitř snímače a pak přenesena pomocí USB kabelu do PC. Výsledkem tohoto snímání je pak hloubkový obraz (obr. 23).



Obr. 23: Hloubkový obraz

4.3 Motor naklonění

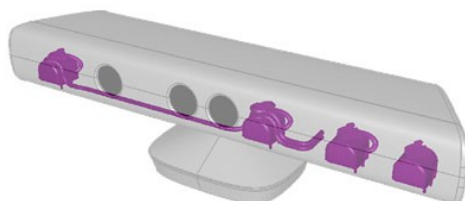
Základna a část těla snímače jsou propojeny malým motorem (obr. 25). Slouží ke změně úhlu Kinectu, k dosažení lepší pozice pro správné snímání polohy lidské kostry v místnosti. Motor se naklápí vertikálně, snímač tak může být posunut nahoru nebo dolů o 27 stupňů.



Obr. 24: Motor naklonění

4.4 Mikrofonní pole

Kinect dokáže detekovat zvuk pomocí mikrofonního pole. Pole mikrofonu se skládá ze čtyř mikrofonů, které jsou umístěny v lineárním pořadí, tři z nich jsou rozmístěny na pravé straně a jeden na levé straně (obr. 26). Účelem mikrofonního pole není pouze nechat zařízení Kinect zachytit zvuk, ale také vyhledat směr zvukové vlny. Další výhodou mikrofonního pole je, že zachycení a rozpoznání hlasu se provádí efektivněji a s potlačením šumu.



Obr. 25: Mikrofonní pole

4.5 LED

Mezi barevnou kameru a infračervený projektor je umístěna dioda LED. Slouží k označení stavu zařízení Kinect. Zelená barva LED indikuje, že ovladače zařízení Kinect byly správně načteny.

5 ŘEŠENÍ PROBLÉMU

Cílem praktické části této práce bylo vytvořit aplikaci, která umožní řízení robotického ramena pomocí pohybů lidského těla za použití 3D kamery. Tato kapitola se zabývá právě řešením tohoto úkolu. Pro řešení úkolu bylo čerpáno převážně z [30–32].

5.1 Potřebné komponenty

Pro vytvoření této aplikace bylo zvoleno vývojové prostředí Microsoft Visual Studio. Byla použita verze Visual Studio 2017 Community, což je bezplatná verze pro studenty a jednotlivce. Jako programovací jazyk byl vybrán C#, který byl do Visual Studia nainstalován jako Microsoft Visual C#, což je implementace jazyka C# od Microsoftu. C# je vysokoúrovňový objektově orientovaný programovací jazyk, též vyvinutý společností Microsoft spolu s platformou .NET Framework. .NET Framework je nejrozšířenější platforma pro osobní počítače s operačním systémem Microsoft Windows. Pro grafickou úpravu aplikace bylo zvoleno WPF (*Windows Presentation Foundation*). WPF je knihovna tříd pro tvorbu grafického rozhraní, která je součástí .NET frameworku. WPF využívá k popisu grafického rozhraní značkovací jazyk XAML.



Obr. 26: Kinect V1 adaptér

Jako počítačové vidění pro snímání lidského těla byla vybrána 3D kamera Kinect V1. Jelikož byl použit Kinect V1, primárně určený pro Xbox, musel být pro jeho použití s počítačem použit adaptér na USB s napájením. Pro programování Kinectu bylo využito Kinect for Windows SDK v1.8.

Kinect for Windows SDK

Jak již bylo zmíněno Kinect for Windows SDK (*Software development kit*) je sada nástrojů pro vývoj aplikací se zařízením Kinect. Tato vývojová sada podporuje nejen programovací jazyk C#, ale také Visual Basic .NET a C++. Vývoj aplikací je díky Kinect SDK zjednodušený a přímočarý. Do počítače také musely být nainstalovány

ovladače zařízení (*Kinect drivers*), aby umožnily operačnímu systému pracovat s Kinectem. Tyto ovladače se nainstalovaly společně s vývojovou sadou. Kinect SDK má rozhraní pro programování aplikací API (*Application programming interfaces*), které je ve formě knihovny. Tato knihovna je složena z množství tříd, objektů a funkcí. Pokud tedy má být vytvořena aplikace, která má používat Kinect, musíme do ní vložit tuto knihovnu ve formě DLL (*Dynamic Link Library – Microsoft.Kinect.dll*). SDK tedy funguje jako rozhraní mezi aplikací a Kinectem. Pokud je tedy potřeba přístup ke Kinectu, odešle aplikace požadavek přes API do ovladače Kinectu, který má přístup k datům snímače. Knihovna tak poskytuje přímou interakci s kamerovými senzory, mikrofonním polem a motorem. Je možné aplikaci rozšířit o rozpoznávání gest pomocí pohybu těla a také umožnit aplikaci rozpoznávání řeči.

5.2 Funkce Kinect SDK

V následujících podkapitolách budou popsány jednotlivé funkce, které byly použity při vytváření aplikace.

5.2.1 Data barevného obrazu

Zařízení Kinect má videokameru, která dodává tři základní barevné komponenty, a to červenou, zelenou a modrou. Tato kamera zachytává tzv.: *color image stream* (tok barevného obrazu), což je v podstatě série snímků odeslaných kamerou. Tento tok pak umožňuje *face tracking* (sledování obličeje) a další funkce.

Snímač Kinect podporuje následující typy formátů barevného obrazu:

- RGB
- YUV
- Bayer

V této aplikaci byl použit právě RGB obraz. Jak název napovídá, jde o barevný prostor složený z *Red-Green-Blue*. Videokamera Kinect umí vrátit tok barevného obrazu RGB s rozlišením 32 bitů na pixel ve dvou různých rozlišeních:

- 640 x 480 pixelů (při 30 snímcích za sekundu)
- 1280 x 960 pixelů (při 12 snímcích za sekundu)

Každý RGB pixel obrazového snímku Kinect je pole o velikosti čtyři a je uspořádáno následujícím způsobem. První tři hodnoty jsou pro *Red* červenou, *Green* zelenou a *Blue* modrou. Čtvrtá hodnota je Alpha, ta udává průhlednost (obr.:27).

Blue	Green	Red	Alpha
------	-------	-----	-------

Obr. 27: Pole pixelu

Maximální hodnota každé barvy je 255 a minimum je 0. Hodnoty z pole je tak možno použít pro nastavení nebo změnu hodnoty barvy.

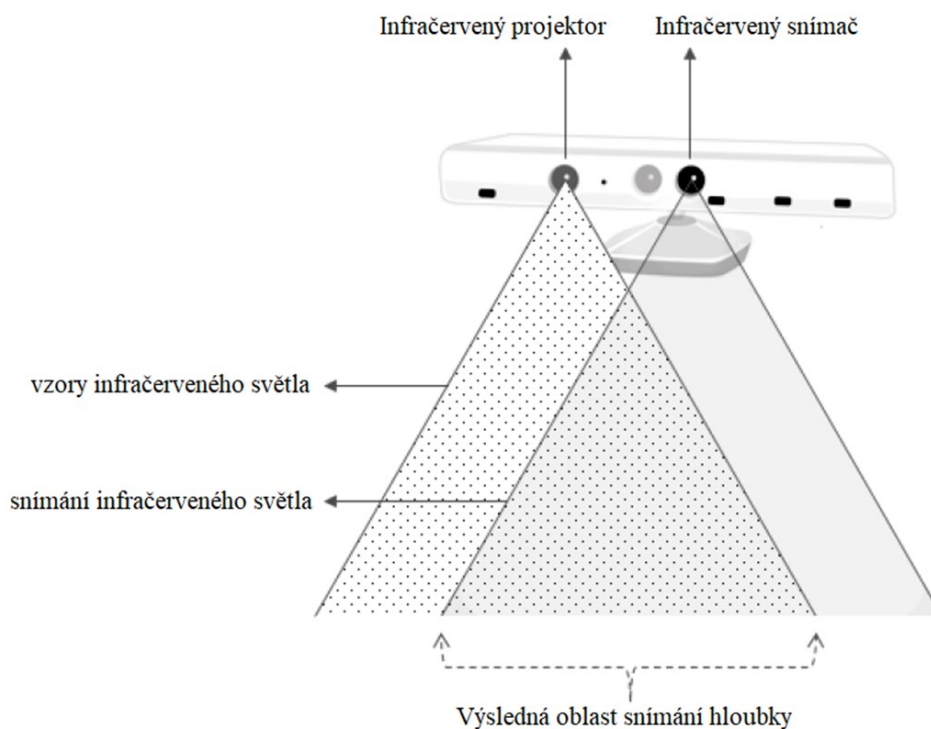
5.2.2 Data hloubkového obrazu

Údaje o hloubce jsou jedním z nejdůležitějších aspektů zařízení Kinect. Jak již bylo zmíněno hloubkový senzor Kinectu sestává z infračerveného projektoru a infračerveného snímače hloubky. Princip hloubkového senzoru a informace senzorem vrácené jsou naprosto odlišné od principu barevné kamery. Na rozdíl od barevného obrazu představuje v datech hloubkového senzoru každý pixel informace o vzdálenosti objektu od senzoru.

Kinect umí vrátit 16 bitové údaje o hloubce, pro které podporují datové toky ve třech různých rozlišeních při 30 snímcích za sekundu:

- 640 x 480 pixelů
- 320 x 240 pixelů
- 80 x 60 pixelů

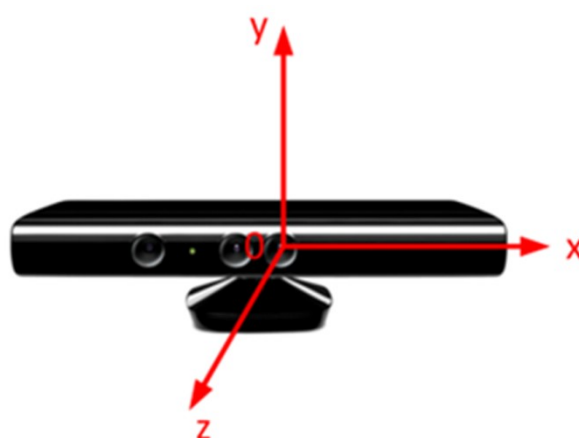
Dva obrazy získané hloubkovým senzorem (vzory infračerveného světla a snímání infračerveného světla) se poté skládají pomocí metody *Stereo triangulace*. Triangulace je analytický algoritmus pro výpočet 3D polohy bodů v obraze. Pro obecnou triangulaci jsou použity dva obrazy pro získání dvou různých pohledů na scénu, což je podobné funkci lidského oka. Porovnáním těchto dvou obrazů se pak vypočítá relativní hloubková informace. Obrázek č. 28 demonstruje, jak vypadá výsledná oblast snímání hloubky triangulací.



Obr. 28: Výsledná oblast snímání hloubky

Pro snímání hloubky musí tedy oba obrazy pracovat společně. U zařízení Kinect to pak funguje následovně. Tečkované světlo z infračerveného projektoru se odráží od objektů a snímač hloubky tyto tečky čte, dále je převádí na informace o hloubce měřením vzdálenosti mezi senzorem a objektem, ze kterého byla tečka odečtena. Tečky jsou uspořádány v určitém vzoru, o kterém má Kinect všechny informace, což pro nás představuje druhý obraz. Kinect potom porovná obraz ze snímače hloubky se vzorem infračerveného projektoru a použije rozdíl mezi těmito dvěma obrazy pro výpočet vzdálenosti. Tento systém je tak schopen vybudovat hloubkovou mapu prostoru před ním.

Pixel hloubky obsahuje vzdálenost mezi zařízením Kinect a objekty před ním v milimetrech a řídí se podle souřadného systému umístěného s osou Z směrem před Kinect (obr. 29).

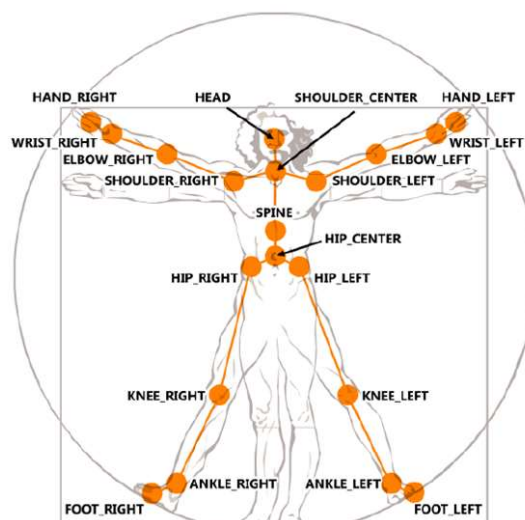


Obr. 29: Souřadný systém pro pixely hloubky [33]

Zařízení Kinect snímá hloubku v rozsahu přibližně od 800 mm do přibližně 4000 mm bez větší ztráty přesnosti. Senzor však může zachytit i informace nad 4000 mm, v takovém případě však bude kvalita dat ohrožena, protože na takovou vzdálenost není senzor postaven.

5.2.3 Detekce kostry lidského těla

Nejvýznamnější funkcí zařízení Kinect je detekce kostry lidského těla (*Skeleton tracking*) a detekci polohy a pohybu těla v prostoru. Kinect při detekci nevrací celou kostru, ale jen soubor jejích kloubů. Pomocí Kinect SDK je tak možno sledovat až šest hráčů a až 20 kloubů pro každou kostru (obr. 30). Podrobně však lze sledovat pouze dva uživatele najednou, pro ostatní ukazuje pouze obecnou pozici v prostoru. SDK také podporuje sledování kostry lidského těla, které sedí.



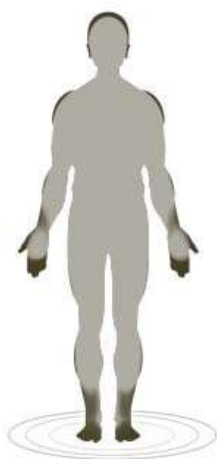
Obr. 30: Rozložení dvaceti kloubů s originálním popisem v angličtině

Rozpoznávání lidské pozice v reálném čase je obtížné a náročné z důvodu různých tělesných pohybů, velikostí, oblečení, výšky a tak dále. Kompletní funkce sledování kostry je tedy založena na hloubkovém zpracování dat, počítačovém učení (*machine learning*) a algoritmech barevného vidění.

Tento problém řeší zařízení Kinect pomocí souboru vzorových dat, které následně porovnává s přijatými daty. Tento soubor vzorových dat používá několik základních modelů postav, které se liší různými výškami, velikostmi, oblečením a několika dalšími faktory. Toto jsou tedy data strojem naučená.

Rozpoznávací proces lze rozdělit do 3 kroků:

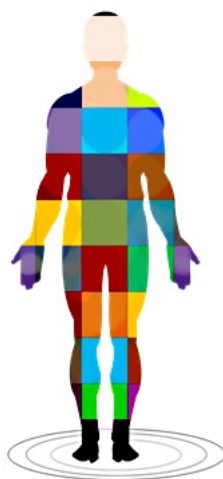
- 1) V prvním kroku Kinect identifikuje objekt lidského těla, což jsou v tomto případě pouze surová data z *depth image* (obr. 31).



Obr. 31: Získaná data z hloubkového obrazu

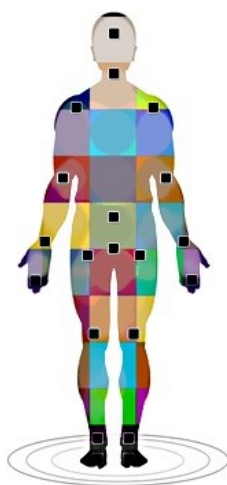
- 2) Data naučená strojem jsou označena jednotlivými částmi těla a porovnávána s příchozími daty hloubky tak, aby bylo možné určit, ke které části těla patří.

Senzor tak začne rozpoznávat lidské tělo. Toto porovnávání je prováděno uvnitř snímače s velmi vysokou rychlostí zpracování. Pro rozpoznání pozice je tedy tělo rozděleno na jednotlivé části tzv. segmenty (obr. 37). Pro rozpoznání podobnosti mezi natrénovanými a přijatými segmenty používá zařízení trénovanou stromovou strukturu. Stromová struktura je široce používaná technika při zpracování a analýze dat známá také jako rozhodovací strom (*decision tree*).



Obr. 32: Tělo rozdělené na segmenty

- 3) Jakmile jsou rozpoznány jednotlivé části těla, senzor umístí kloubní body (*joint points*) do míst s největší pravděpodobností umístění vypočítané z porovnávání dat. S identifikovanými kloubními body a jejich pohybem může senzor sledovat pohyb celého těla. Následující obrázek č. 33 ukazuje sledované klouby různých segmentů těla.



Obr. 33: Sledované klouby různých segmentů těla

- 4) Poloha kloubů je měřena třemi souřadnicemi (X, Y a Z), kde X a Y definují polohu kloubu a Z představuje vzdálenost od senzoru. Pro získání správných souřadnic vypočítá senzor tři pohledy obrazu a to pohled zepředu, pohled zleva a pohled shora. Tímto senzor definuje 3D návrh těla a zahájí sledování jednotlivých kloubů kostry (*skeleton tracking*).

5.2.4 Rozpoznávání gest

Rozpoznávání gest je jednou z charakteristik Kinectu. Umožňuje propojení se zařízením a přirozenou komunikaci pomocí pohybu těla, bez jakéhokoliv zařízení připojeného k lidskému tělu. V aplikaci Kinect Windows SDK neexistuje přímá podpora API, která by rozpoznávala a řešila lidská gesta. Avšak pomocí sledování kostry a zpracování hloubkových dat je možno vytvořit vlastní API gest, které může komunikovat s aplikací. Gesta mohou být ve formě jednoduché akce jako mávání rukou, pohyb zápěstí nebo komplikované akce zahrnující více částí těla. Gesto funguje jako vstup. Na základě tohoto vstupu aplikace provádí určité funkce.

5.2.5 Nastavení úhlu sklonu senzoru

SDK poskytuje přímý přístup k řízení motoru snímače. Změnou úhlu náklonu senzoru je možno nastavit úhel pohledu snímače Kinect podle potřeby. Maximální a minimální hodnota úhlu elevace je v SDK omezena na +27 stupňů a -27 stupňů. Pokud dojde k překročení rozsahu úhlu náklonu, aplikace vyvolá neplatnou operaci.

5.3 Vývoj Kinect aplikace

Kinect Windows SDK funguje jako rozhraní mezi zařízením Kinect a aplikací. Když je potřeba přístup k senzoru, aplikace odešle API volání do ovladače. Ovladač Kinect pak řídí přístup k datům snímače. Ovladače takto přenáší video a audio data ze senzorů a vracejí je do aplikace.

Každá aplikace pracující se zařízením Kinect musí začít jeho spuštěním. Potom co byl v programu Kinect definován jako objekt, je možné zkontrolovat jeho status připojení. Ověří se, zda je Kinect připojen, pokud ano, zařízení se spustí metodou *Start()*. Pokud ne, program otevře okno s chybovou hláškou o nepřipojeném zařízení *No Device Connected* (obr. 34). Tak jako je Kinect při zapnutí aplikace nastartován, je potřeba s vypnutím aplikace jeho práci stopnout pomocí metody *Stop()*.

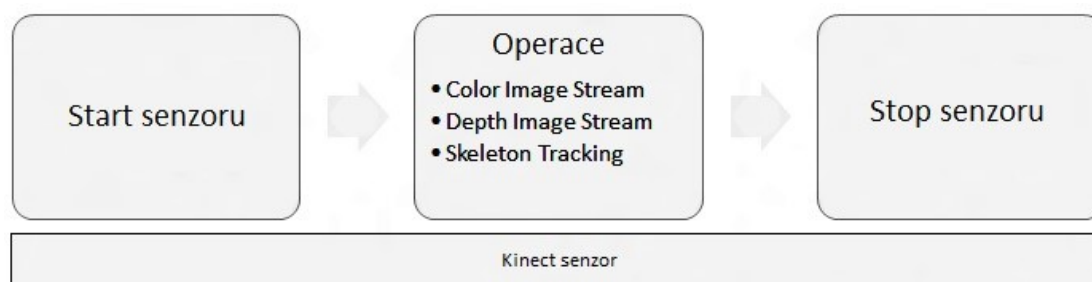


Obr. 34: Okno s chybovou hláškou

Poté co je senzor spuštěn je potřeba povolit *stream channels* pro získání dat. Tyto streamy jsou datové toky, které obsahují data k daným funkcím zařízení Kinect. V rámci Kinect Windows SDK jsou zde tři různé datové proudy barvy, hloubky a skeletu, které jsou reprezentovány typy metod *ColorImageStream*, *DepthImageStream* a *SkeletonStream*. Aby však bylo možné s nimi pracovat, je nutné je povolit (aktivovat) pomocí metody *Enable()*.

Podle toho, jaký je používán tok (*stream*), senzor vrací snímky *image frames*. Pro zachycení těchto snímků je možno použít událostní metodu (*event model*) nebo pomocí explicitního požadavku (*polling model*). Pro zachycení snímku v této aplikaci byl použit způsob *event model*. Při používání tohoto způsobu Kinect odešle snímek do aplikace vždy, když snímač zaznamená nový snímek. K tomu je třeba přihlásit daný tok k události (*event handler*), která obsahuje kód ke zpracování příchozích obrazů. Před přihlášením je tedy nutno zadat druh toku a požadované rozlišení. Po přihlášení bude senzor data odesílat nepřetržitě, dokud nedojde ke zrušení a neodhlášení toku nebo zastavení činnosti senzoru.

Následující schéma na obrázku č. 35 ilustruje průběh aplikace od zapnutí po vypnutí.



Obr. 35: Průběh aplikace

5.3.1 Zpracování barevného obrazu

Tok barevného obrazu (*color image stream*) je nejméně složitý proces, pokud jde o způsob, jakým SDK data vrací a zpracovává. Tok obrazu (*image stream*) není nic jiného než jednotlivé nepohyblivé snímky za sebou.

Typ snímků závisí na vstupních parametrech, jako je rozlišení obrazu, typ toku obrazů a počet snímků za sekundu. Pro barevný obraz v této aplikaci bylo zvoleno RGB rozlišení 640 x 480 pixelů při 30 snímcích za sekundu. Tyto parametry se zadávají v rámci metody *Enable()*.

Zachycení toku obrazu ze senzoru a jeho zobrazení do uživatelského rozhraní lze provést pomocí následujících kroků:

- 1) Povolení toku obrazu daného typu s vybraným formátem obrazu.
- 2) Připojení toku k události.
- 3) Zpracování příchozího toku snímků po snímku.
- 4) Vykreslení snímků na uživatelském rozhraní.

Jakmile je ve třetím kroku vyvolána událost znamená to, že byl ze senzoru poslán nový snímek ke zpracování. Ve čtvrtém kroku je pro zobrazení barevného obrazu v aplikaci nutné zachycená pixel data převést na bajtové pole (*byte array*) a vytvořit bitmapový obrazový zdroj, pomocí kterého je pak obraz zobrazen v aplikaci.

5.3.2 Zpracování hloubkového obrazu

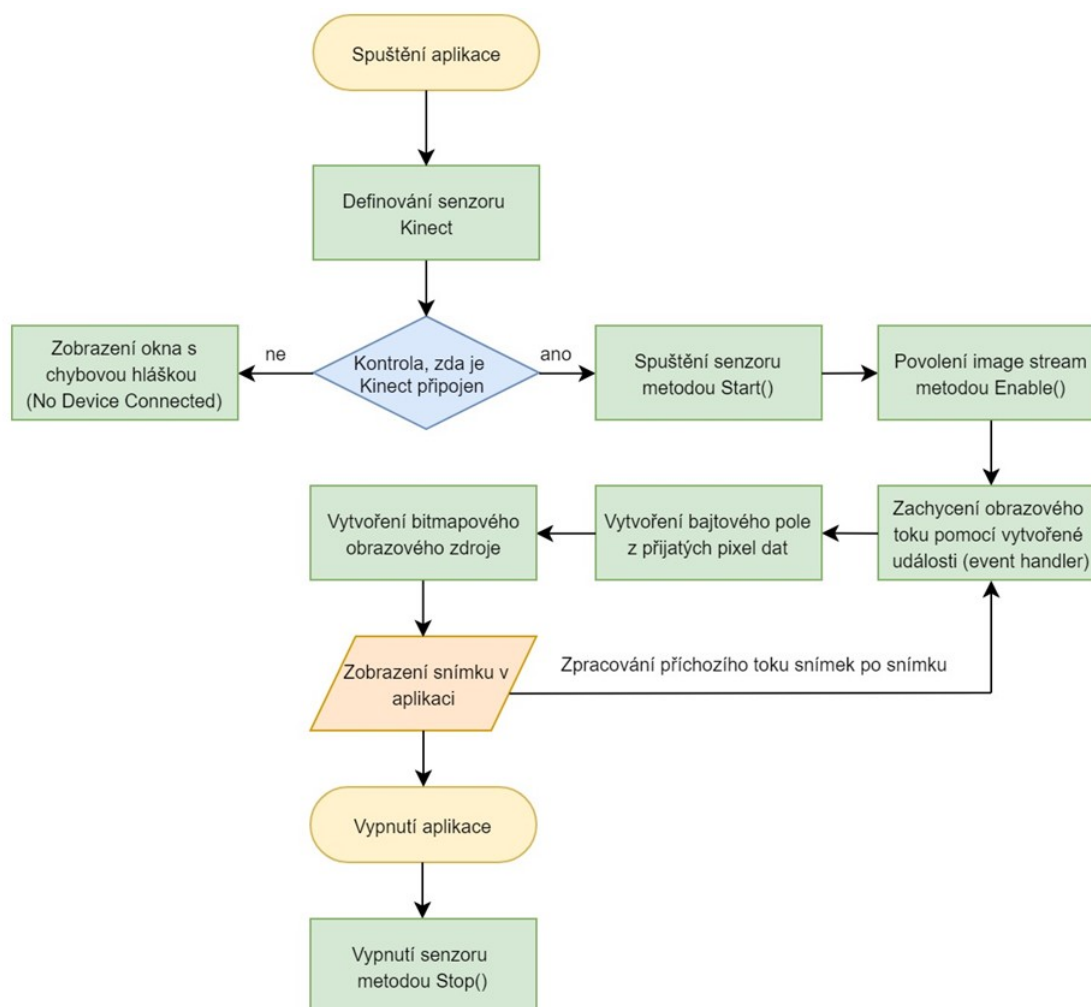
Tok hloubkového obrazu (*depth image stream*) je stejně jako barevný tok tokem jednotlivých nepohyblivých snímků a také prochází stejným procesem zpracování. Avšak na rozdíl od barevného toku obsahují pixely informaci o vzdálenosti objektů od senzoru. Rozlišení obrazu pro tuto aplikaci u hloubkového obrazu bylo zvoleno 640 x 480 pixelů při 30 snímcích za sekundu.

Při zpracování hloubkového obrazu byla nastavena maximální vzdálenost, do které bude senzor vykreslovat obraz na 4000 mm. Minimální vzdálenost pak byla nastavena na 850 mm. Mezi těmito vzdálenostmi je pixelům přidělena intenzita černé barvy podle vzdálenosti. To znamená, že na 850 mm začínáme na bílé a směrem dál dojdeme až na černou ve vzdálenosti 4000 mm. Jiné vzdálenosti než mezi maximální a minimální vzdáleností jsou ponechány bílé. Také pokud senzor rozpozná postavu člověka, vybarví ji zelenou barvou. Opět platí, že čím blíže k senzoru, tím bude zelená barva světlejší. Ukázka takto fungujícího hloubkového obrazu je na obrázku č. 36.



Obr. 36: Hloubkový obraz použitý v aplikaci

Celý proces práce s *image stream*, tedy s tokem hloubkového a barevného obrazu znázorňuje diagram na obrázku č. 37.

Obr. 37: Diagram zpracování *image stream* v aplikaci

5.3.3 Zpracování skeleton stream

Hloubkový obraz nám dodává informace o vzdálenosti objektů od senzoru. Senzor rozpozná člověka, zmapuje pozici kloubů, jejichž vzdálenost od Kinectu změří z hloubkových dat. Tím nám *skeleton stream* (tok kostry) poskytuje jednoduchý přístup k jednotlivým informacím o pozici kloubů.

Zachycení informací ze *skeleton stream* a jeho zobrazení do uživatelského rozhraní se provádí podle stejných kroků jako u *image stream*. Tedy prvně tok povolíme metodou *Enable()*. Do této metody byly přidány parametry pro vyhlazení a zjemnění pohybu kloubů. Proto je snímání kostry mírně opožděné při prudkých pohybech, ale za to plynulé, zjemněné a nedochází tak k náhlým změnám pozice kloubů v prostoru. Dále je také připojena událost pro zpracování snímků po snímku. Skeleton data se však ve zpracování od obrazových dat liší, protože skeleton data nejsou snímky. Dále bude popsáno zpracování těchto dat.

Skeleton data obsahují jednotlivé informace o sledovaném lidském těle, které opět získávají a zpracovávají snímek po snímku. V základním nastavení senzor sleduje 20 kloubů jedné kostry, u nichž rozlišuje tyto tři režimy sledování:

- 1) *Tracked* v tomto režimu má senzor čistý výhled na polohu kloubu a všechny tři souřadnice (x, y, z) jsou zachyceny správně
- 2) *Not Tracked* v tomto režimu senzor nemá výhled na polohu kloubu a nemůže jej sledovat
- 3) *Inferred* v tomto režimu senzor nemá aktuální polohu kloubu, avšak jeho pozice je odhadnuta na základě výpočtů pomocí kloubů s režimem *Tracked*

Třída *Skeleton* obsahuje informace o jednotlivých kloubech, režimu sledování a současné pozici. Pro získání pozice (x, y, z) u vybraného kloubu, se používá struktura *SkeletonPoint*. Pro tuto aplikaci bylo použito sledování pravé ruky a její pozici v prostoru. Pro sledování pravé ruky byl počátek souřadného systému přemístěn do oblasti pravého ramene. Toho bylo docíleno odečtením pozice středu ramen (*ShoulderCenter*) od pozice pravé ruky (*HandRight*) a přičtením či odečtením experimentálně zjištěných hodnot tak, aby odpovídal počátek souřadnicového systému pozici ramene (obr. 38). Takto umístěným souřadnicovým systémem bylo zamezeno závislosti pozice člověka vůči senzoru.

```
SkeletonPoint skeletonPointR = skeleton.Joints[JointType.HandRight].Position;
float xr = skeletonPointR.X;
float yr = skeletonPointR.Y;
float zr = skeletonPointR.Z;
SkeletonPoint skeletonPointS = skeleton.Joints[JointType.ShoulderCenter].Position;
float xs = skeletonPointS.X;
float ys = skeletonPointS.Y;
float zs = skeletonPointS.Z;
var X = (xr - xs - 0.25) * 1000;
var Y = (yr - ys + 0.1) * 1000;
var Z = (zs - zr - 0.15) * 1000;
double Xz = Math.Round(X,0);
double Yz = Math.Round(Y,0);
double Zz = Math.Round(Z,0);
```

Obr. 38: Úprava souřadnicového systému pro sledování pravé ruky

Souřadnicový systém byl umístěn tak, aby směrem k senzoru byl kladný směr osy X doprava, kladný směr osy Y nahoru a kladný směr osy Z směrem ke Kinectu. Výsledné hodnoty souřadnic (X_z , Y_z , Z_z) jsou pak použity pro TCP/IP komunikaci s robotickým ramenem.

Pro komunikaci s robotem bylo také použito rozpoznání gesta levé ruky. Detekce gest závisí na sledovaných kloubech lidské kostry, protože podmínka je definována podle pozice kloubů. Pro rozpoznání gesta byla v této aplikaci použita pozice levé ruky (*HandLeft*) a levého lokte (*ElbowLeft*). Bylo využito vzájemného odečtení pozice v Y směru levého lokte od pozice v Y směru levé ruky (obr. 39). Pokud je tedy výsledná hodnota Y_l větší než nula získá parametr *move* hodnotu 1, pokud Y_l nabude jiné hodnoty, získá parametr *move* hodnotu 0.

```

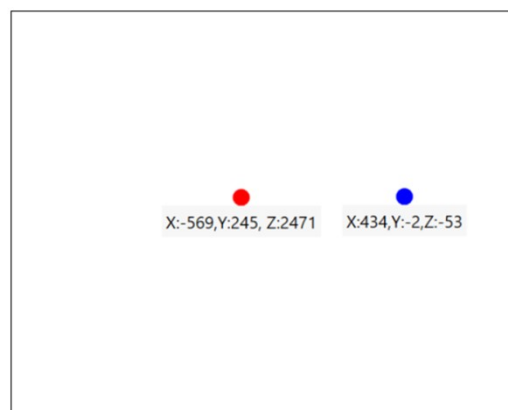
SkeletonPoint skeletonPointL = skeleton.Joints[JointType.HandLeft].Position;
float y1 = skeletonPointL.X * 1000;
SkeletonPoint skeletonPointE = skeleton.Joints[JointType.ElbowLeft].Position;
float ye = skeletonPointE.Y * 1000;
var Y1 = (y1 - ye) * 10;
int move;
string moveWord;
if (Y1 > 0)
{
    move = 1;
    moveWord = "start";
}
else
{
    move = 0;
    moveWord = "stop";
}

```

Obr. 39: Operace pro rozpoznání gesta levé ruky

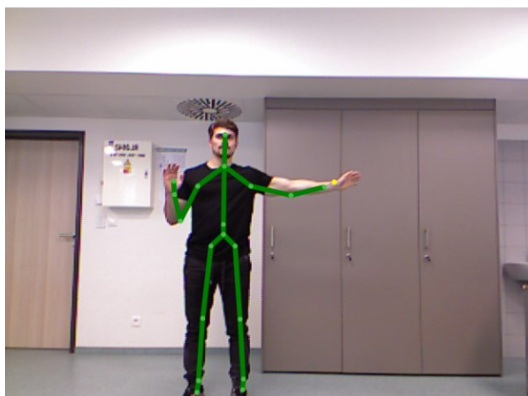
Skeleton tracking je v aplikaci také vykreslen do grafického uživatelského rozhraní. Aby bylo možné sledování kostry vykreslit do 2D prostoru, bylo potřeba metodou *Scaleposition()* převést souřadnice získané ze *SkeletonPoint* do *ColorImagePoints*. To znamená, že metoda převede body do 2D prostoru do stejného rozlišení jako je v aplikaci použito pro barevný obraz.

V prvním vykreslení bylo využito prvku uživatelského rozhraní (*UI element*) ve formě dvou barevných elips vytvořených v xaml. Těmto elipsám byla metodou *MapJointsWithUIElement()* přidělena pozice levé ruky pro červenou a pravé ruky pro modrou elipsu (obr. 40).

Obr. 40: Sledování pozice rukou pomocí *UI element*

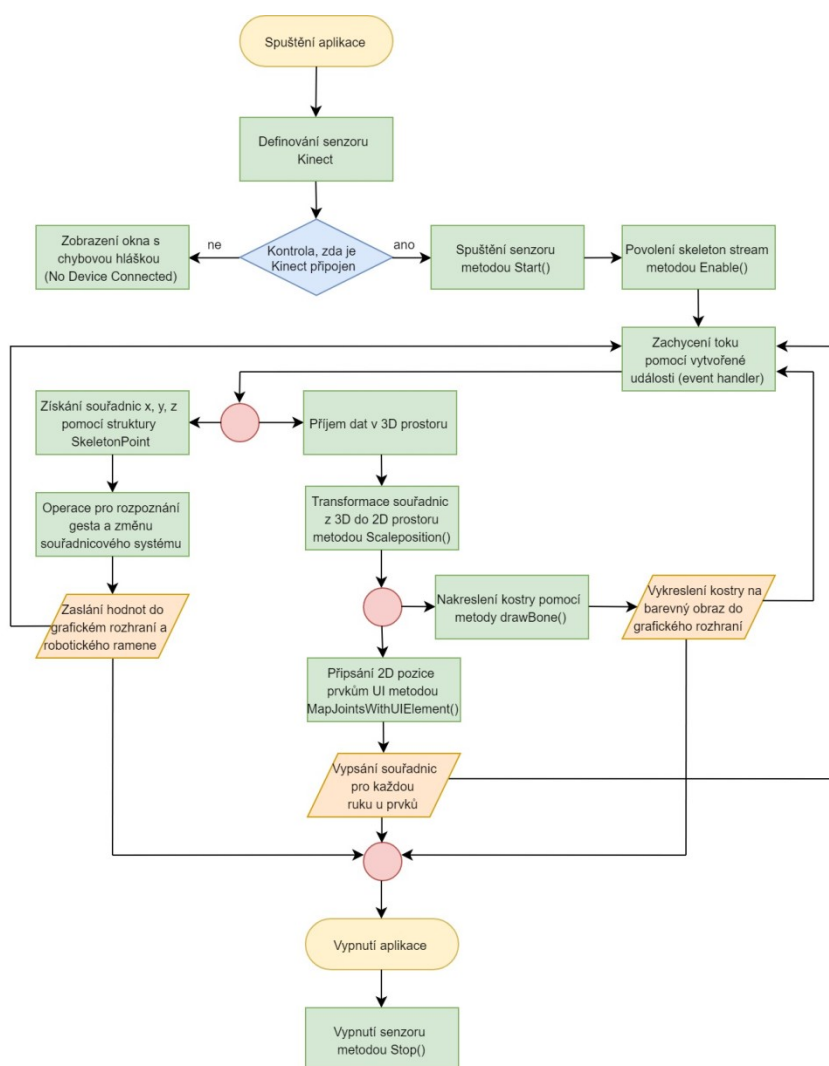
Ve druhém vykreslení byla kostra lidského těla zobrazena na barevném obrazu. Jak již bylo zmíněno, *skeleton tracking* vrací pouze pozice kloubů, to znamená, že kosti mezi jednotlivými klouby musely být dodělané. Prvně však bylo nutné převést pozici kloubů z 3D do 2D prostoru metodou *Scaleposition()* a to do stejného formátu jako je barevný obraz. Kosti jsou pak domalovány mezi klouby metodou *drawBone()*. Klouby v režimu *Tracked* jsou světle zelené a kosti mezi nimi tlustou tmavě zelenou čarou. Pokud je některý z kloubů v režimu *Inferred*, pak je vymalován žlutou barvou a kost

mezi klouby je tenkou šedou čarou. Pokud jsou klouby v režimu *Not Tracked*, nejsou vykresleny. Výsledný obraz lze vidět na obrázku 41.



Obr. 41: Barevný obraz s vykreslenou kostrou

Celý proces zpracování dat ze *skeleton stream* znázorňuje diagram na obrázku 42.



Obr. 42: Diagram zpracování *skeleton stream* v aplikaci

5.4 Grafické rozhraní Kinect aplikace

Grafické rozhraní aplikace sestává ze třech obrazů, ovládání natočení senzoru a vypsání údajů o sledování. Celý design grafického rozhraní lze vidět na obrázku č. 43.



Obr. 43: Grafické uživatelské rozhraní aplikace

Obrazy slouží pro to, aby se člověk lépe umístil před senzor a měl představu o tom, co senzor monitoruje. Grafická stránka aplikace tak pomáhá zlepšit a zpřesnit data snímaná Kinectem. První obraz zobrazuje *skeleton tracking* na barevném obrazu. Pokud se nějaká část těla dostane mimo oblast výhledu Kinectu je hrana obrazu, u které došlo k přesahu vybarvena červeně. Na to byla použita metoda *RenderClippedEdges()*. Druhý obraz je hloubkový, kde je postava člověka vybarvena zeleně. Tento obraz drží člověka u senzoru v maximální vzdálenosti 4 metrů. Pokud vzdálenost překročí, vybarvená postava zmizí. Třetí obraz sleduje pozici pravé a levé ruky. U sledování levé ruky (červený kruh) jsou vypsány její souřadnice se souřadným systémem umístěným v Kinectu. U sledování pravé ruky (modrý kruh) jsou vypsány její souřadnice se souřadným systémem umístěným v oblasti pravého ramene.

V levém dolním rohu jsou vypsány údaje pro robota. Tyto údaje jsou poloha pravé ruky vzhledem k rameni a rozpoznání gesta levé ruky. Pokud je dlaň levé ruky nad loktem, vypíše aplikace *Start*. Pokud je pod loktem, vypíše aplikace *Stop*. Spolu s tím je tam posuvné tlačítko pro ovládání nastavení úhlu sklonu senzoru.

6 TESTOVÁNÍ

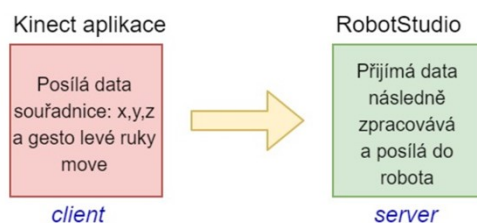
V této kapitole je popsáno propojení Kinect aplikace s robotickým ramenem a následné testování. Také jsou zde popsány možná rizika a bezpečnostní prvky při používání aplikace na reálném robotovi.

6.1 Propojení s robotem

Tato kapitola pojednává o propojení robota s Kinect aplikací. Tato část práce byla psána ve spolupráci s vedoucím bakalářské práce Ing. Romanem Parákem, který navrhl řídicí program pro robotické rameno od firmy ABB.

Pro programování robotického ramene a simulaci byl použit software RobotStudio. Je to software od společnosti ABB, který umožňuje veškeré programování robotů offline na počítači a zvládá také velmi přesné simulace. RobotStudio je založeno na Virtuálním řídicím systému od ABB, což je přesná kopie opravdového softwaru, který řídí roboty ve výrobě. Proto umožňuje velmi realistické simulace s využitím reálných robotických programů a konfiguračních souborů. [34]

Komunikace mezi Kinect aplikací a řídicím programem v RobotStudiu, který posílá data robotovi, probíhá v počítačové síti přes soustavu protokolů TCP/IP. V Kinect aplikaci je pak umístěn client sloužící jako odesílatel, který posílá data serveru do RobotStudia sloužící jako příjemce, podle následujícího schématu na obrázku č. 44.



Obr. 44: Komunikace mezi Kinect aplikací a řídicím programem v RobotStudiu

Řídicí program robotického ramene byl naprogramován tak, aby reagoval na informace přijaté z Kinect aplikace při umístění senzoru podle obrázku č. 45 následovně.



Obr. 45: Umístění senzoru při testování

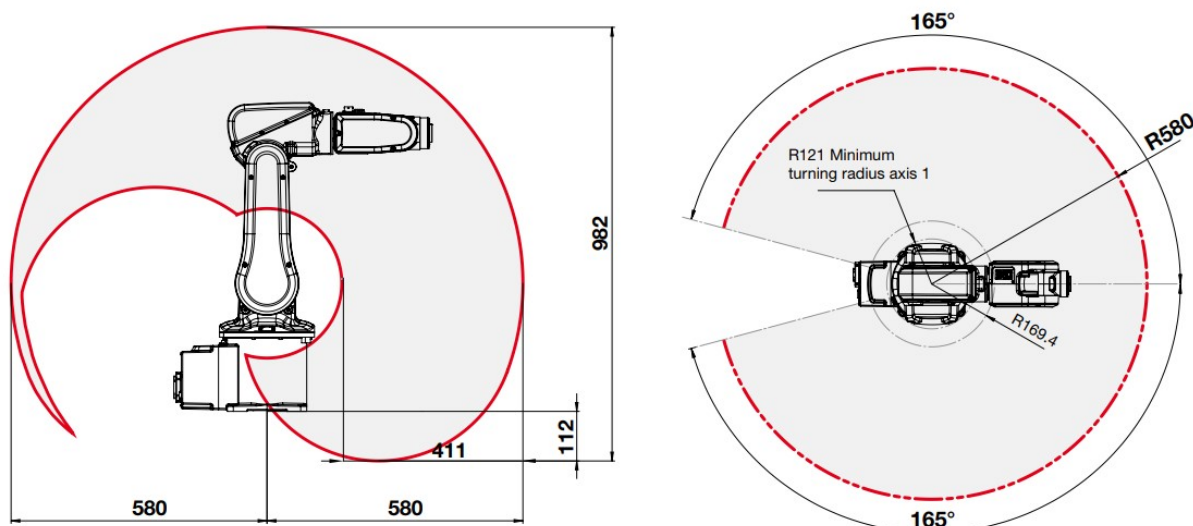
Při takto umístěném senzoru bude robot člověka stojícího před ním v pohybech zrcadlit. Jakmile ruka přesáhne určitou hodnotu v některé z os (x, y, z) aktivuje se pohyb robota tímto směrem, přičemž gestem levé ruky ovládáme, zda má robot přijímat informace a změnit polohu či ne. Pokud je tedy levá ruka nahoře, robot se bude hýbat podle informací z pravé ruky. Pokud je levá ruka dole, robot nebude na pohyby pravé ruky reagovat. Pokud člověk stojící před senzorem umístí svoji pravou ruku dopředu, robot se bude pohybovat směrem k němu. Pokud umístí pravou ruku doprava, robot se též pohybuje, z pohledu člověka před senzorem doprava.

Výsledná aplikace byla nejprve otestována v simulaci RobotStudia. Díky přesným simulacím, které využívají reálné robotické systémy, mohla být aplikace otestována pro více typů robotických ramen (obr. 46).



Obr. 46: Testování pro více typů robotických ramen

Po úspěšném testování v simulaci byla aplikace otestována na reálném robotickém rameni. Pro toto testování bylo použito rameno IRB 120 s řídicím systémem IRC5 compact. IRB 120 je nejmenší šestiosý průmyslový robot společnosti ABB. Váží 25 kg a dokáže manipulovat s břemenem o hmotnosti až 3 kg s dosahem ramene 580 mm. Pracovní prostor IRB 120 je vyznačen na obrázku č. 47.[35]



Obr. 47: Pracovní prostor IRB20 [35]

6.2 Rizika a bezpečnost

Při testování a manipulaci s reálným robotem vznikají různá nebezpečí. Je nutné tak stanovit určité bezpečnostní podmínky a vzít v úvahu všechna rizika.

Při testování na reálném robotickém rameni vypadá umístění robota a senzoru podle obrázku č. 48.



Obr. 48: Umístění robota a senzoru

Robot je umístěn na pracovním stole, kde je také umístěn senzor pro snímání. Ke zranění může dojít, pokud při testování stojí člověk v těsné blízkosti pracovního prostoru robota. Může dojít k poškození robota, stolu nebo senzoru. Toto může být způsobeno třemi hlavními důvody:

- **Chyba řídicího programu.** Špatné zpracování příchozích dat. Může tak dojít k nepředvídatelným pohybům robota.
- **Chyba Kinect aplikace.** Kinect aplikace vyšle chybné informace do řídicího programu. K této chybě může dojít při pohybu více osob před senzorem, při špatném umístění nebo špatné kalibraci senzoru.
- **Lidský faktor.** Pokud robotické rameno ovládá někdo, kdo nebyl seznámen s ovládáním a bezpečnostními prvky robota.

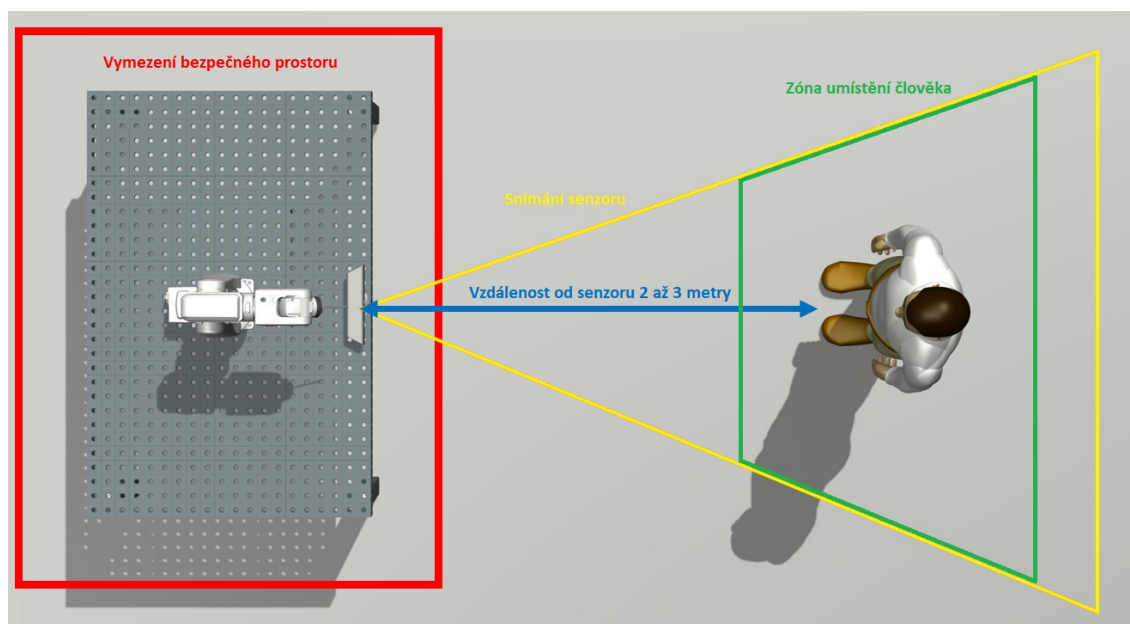
Je tedy nezbytné si pro používání aplikace stanovit bezpečnostní podmínky. Pro bezpečné ovládání je potřeba dvou osob. Obě osoby musí být seznámeny s ovládáním a bezpečnostními prvky. Jedna z osob řídí rameno a stojí před senzorem, druhá pak stojí u jednoho z dvou nouzových tlačítek, která okamžitě zastaví činnost robota. Jedno z tlačítek je umístěno na bedně řídicího systému a druhé na dálkovém ovládání (Teach Pendant) (obr. 49).



Obr. 49: Nouzová tlačítka na řídicím systému IRC5 compact a Teach Pendant [36]

Je také nutné dodržovat bezpečnou vzdálenost od pracovního prostoru robota alespoň 1,5 metrů. Před spuštěním robota se ověří správná činnost Kinect aplikace, správná kalibrace a umístění senzoru. Je nutné, aby před senzorem stál pouze jeden člověk, který rameno ovládá. Pro bezpečné vypnutí prvně vypínáme robotické rameno a teprve poté Kinect aplikaci.

Je možné, že fungování aplikace bude předváděné při příležitosti různých společenských událostí. V tomto případě je nezbytné vymezit bezpečný prostor okolo robota a zamezit pohybu více osob před senzorem. Vymezení bezpečného prostoru, správné umístění člověka před senzorem a vzdálenost od Kinectu jsou znázorněny na obrázku č. 50.



Obr. 50: Znázornění vzdáleností a prostorů

7 ZÁVĚR

Hlavním úkolem bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou kolaborativních robotů, počítačového vidění a vytvoření přirozeného uživatelského rozhraní pro ovládání robotického ramene. První rešeršní část byla zaměřená na oblast kolaborativní robotiky a počítačového vidění. Druhá část se věnovala vytvoření přirozeného uživatelského rozhraní.

Po seznámení se se zmíněnými oblastmi v kapitolách 2 a 3, přichází čtvrtá kapitola, která nám dává nahlédnout do senzoru Kinect a analyzuje ho po mechanické stránce. Po přečtení těchto kapitol má čtenář dostatečný přehled, a tak se následující část zabývá řešením daného problému. Pátá kapitola je zaměřená na tvorbu Kinect aplikace, která získává data pro řízení robotického ramene a jejíž součástí je i grafické rozhraní. Tato část práce se dělí do několika podkapitol. Nejprve jsou představeny všechny potřebné nástroje pro tvorbu aplikace a je vysvětleno, jak funguje Kinect vývojová sada.

Dále pokračuje podkapitola věnující se použitým funkcím (kap. 5.2), které tato vývojová sada poskytuje a vysvětluje jejich fungování. Vysvětluje tedy přijatá data barevného obrazu, který dodává tři základní barevné komponenty, a to červenou, zelenou a modrou. Data hloubkového obrazu jsou jedním z nejdůležitějších aspektů zařízení Kinect. Je zde vysvětleno, na jakém principu fungují a jak jsou používány. Představí, na jakém principu Kinect detekuje kostru lidského těla a jak získává informace o jeho poloze v prostoru. Dalšími použitými funkcemi pak jsou rozpoznávání gest a nastavení úhlu sklonu senzoru.

Podkapitola 5.3 se zabývá vývojem aplikace Kinect a získáním dat potřebných pro ovládání robotického ramene. Popisuje tedy použití funkcí v reálné aplikaci. Nachází se zde i vývojové diagramy, které objasňují fungování aplikace. Také bylo zapotřebí si předem stanovit, jakým způsobem bude robotické rameno ovládáno. Byly zvažovány různé způsoby ovládání, výsledný způsob je podrobně popsán v kapitole 6.1. Dalším krokem byl návrh grafického rozhraní, které se skládá ze třech obrazů, ovládání natočení senzoru a vypsání údajů o sledování. Obrazy slouží pro lepší umístění člověka před senzor a zkvalitnění tak snímaných dat.

V dalším kroku byla Kinect aplikace propojena s robotickým ramenem (kap. 6). Hotová Kinect aplikace komunikuje s řídícím programem robota, který byl navržen vedoucím práce. Po úspěšném propojení proběhla řada testování a to nejprve v simulaci. V simulaci byla aplikace úspěšně otestována pro více typů robota. Před použitím aplikace na reálném robotovi si bylo nutné stanovit možná rizika a zavést bezpečnostní podmínky (kap. 6.2). Poté následovalo úspěšné testování na reálném robotovi. Ovládání ramene neprobíhá *real-time*, ale s mírným zpožděním. To je způsobeno delší odezvou mezi programy. V budoucím rozvoji aplikace by bylo možné přidat hlasové ovládání či použití dalších gest a vylepšit tak ovládání. Také snímání by se dalo zpřesnit s použitím výkonnější kamery avšak dražší. Kód ke Kinect aplikaci lze najít v příloze A spolu s video dokumentací testování.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOL, Jaromír Veber a. *Management inovací*. B.m.: Management Press, Albatros Media a.s., 2017. ISBN 978-80-7261-424-0.
- [2] Takeoff in Robotics Will Power the Next Productivity Surge in Manufacturing. <https://www.bcg.com> [online]. [vid. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.bcg.com/d/press/10feb2015-robotics-power-productivity-surge-manufacturing-838>
- [3] *Časopis Automa Kooperující roboty ve Škoda Auto Vrchlabí založily již milionty pist převodovky DQ 200* [online]. [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/kooperujici-roboty-ve-skoda-auto-vrchlabi-zalozily-jiz-milionty-pist-prevodovky-dq-200-2017_02_0_9827/
- [4] *Továrna ze sci-fi. Už před desítkami let tam uměli složit libovolné auto | Auto | Lidovky.cz* [online]. [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: https://www.lidovky.cz/byznys/auto/tovarna-s-prvky-sci-fi-uz-v-ere-favoritu-mohly-linky-sestavit-libovolny-model.A170905_174916_ln-auto_pave
- [5] *Meet the drone that already delivers your packages, Kiva robot teardown | Robohub* [online]. [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://robohub.org/meet-the-drone-that-already-delivers-your-packages-kiva-robot-teardown/>
- [6] *Amazon: How the World's Most Relentless Retailer will Continue to ... - Natalie Berg, Miya Knights - Knihy Google* [online]. [vid. 2019-03-20].
- [7] *Collaborative robotic automation | Cobots from Universal Robots* [online]. [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/>
- [8] *ABB Robotics - Manufacturer & Supplier of Industrial Robots* [online]. [vid. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/home>
- [9] *SANEZOO Cognitive Cameras and Vision System – SANEZOO brings human like abilities, AI and deep learning to industrial cameras with embedded super-computer.* [online]. [vid. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.sanezoo.com/>
- [10] GUPTA, A. K. a S. K. ARORA. *Industrial Automation and Robotics*. B.m.: Laxmi Publications, 2009. ISBN 978-81-318-0592-3.
- [11] FactoryAutomation.cz. *FactoryAutomation.cz* [online]. [vid. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/>
- [12] *Industrial Robotics is a robot system used for manufacturing by Analysis, Growth and Trends - 2023| MarketsandMarkets* [online]. [vid. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/Industrial-Robotics-Market-643.html>
- [13] SHARMA, Ash. *The Future of Collaborative Robots - Interact Analysis* [online]. [vid. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.interactanalysis.com/collaborative-robots/>

- [14] *Photonics.com: Optics, Lasers, Imaging & Fiber Information Resource* [online]. [vid. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.photonics.com/>
- [15] *FANUC | The Factory Automation Company* [online]. [vid. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/en>
- [16] Roboceptions powerful and high quality 3D Sensor with 3D image processing software. *Roboception* [online]. [vid. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://roboception.com/en/>
- [17] *industrial intelligence 4.0_beyond automation | KUKA AG* [online]. [vid. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>
- [18] Photoneo Focused on 3D. *Photoneo Focused on 3D* [online]. [vid. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.photoneo.com/>
- [19] Forbes. *Forbes* [online]. [vid. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/>
- [20] Intel® RealSense™ Depth and Tracking Cameras. *Intel® RealSense™ Depth and Tracking Cameras* [online]. [vid. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.intelrealsense.com/>
- [21] Leap Motion. *Leap Motion* [online]. [vid. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.leapmotion.com/>
- [22] *How to use Leap Motion with your Oculus Rift | Windows Central* [online]. [vid. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.windowscentral.com/how-use-leap-motion-your-oculus-rift>
- [23] BRYNJOLFSSON, Erik a Andrew MCAFEE. *Druhý věk strojů: Práce, pokrok a prosperita v éře špičkových technologií*. B.m.: Jan Melvil Publishing, 2015. ISBN 978-80-87270-71-4.
- [24] JOWITT, Tom. Tales In Tech History: Microsoft Kinect. *Silicon UK* [online]. 5. leden 2018 [vid. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.silicon.co.uk/e-innovation/microsoft-kinect-history-226781>
- [25] *Wikipedia* [online]. [vid. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.wikipedia.org/>
- [26] JAVŮREK, Karel. Xbox One: technologický rozbor nového hardwaru - 3. kapitola. *Živě.cz* [online]. [vid. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/xbox-one-technologicky-rozbor-noveho-hardwaru/vsudypritomny-kinect-20/sc-3-a-168957-ch-86935/default.aspx>
- [27] RAHMAN, Mansib. *Beginning Microsoft Kinect for Windows SDK 2.0: Motion and Depth Sensing for Natural User Interfaces*. B.m.: Apress, 2017. ISBN 978-1-4842-2316-1.
- [28] *Azure Kinect DK – vývoj modelů AI | Microsoft Azure* [online]. [vid. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://azure.microsoft.com/cs-cz/services/kinect-dk/>

- [29] Wave goodbye to Microsoft's original Kinect for Windows. *Engadget* [online]. [vid. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2014/12/31/oroginal-kinect-discontinued/>
- [30] JANA, Abhijit. *Kinect for Windows SDK Programming Guide*. B.m.: Packt Publishing Ltd, 2012. ISBN 978-1-84969-239-7.
- [31] MILES, Rob. *Start Here! Learn the Kinect API*. B.m.: Pearson Education, 2012. ISBN 978-0-7356-7400-4.
- [32] CATUHE, David. *Programming with the Kinect for Windows Software Development Kit*. B.m.: Pearson Education, 2012. ISBN 978-0-7356-6781-5.
- [33] *Kinect SDK C++ Tutorials - 3. Point Clouds* [online]. [vid. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://homes.cs.washington.edu/~edzhang/tutorials/kinect/kinect3.html>
- [34] *RobotStudio | ABB* [online]. [vid. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/robotstudio>
- [35] *IRB 120 - Průmyslové roboty | ABB* [online]. [vid. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-120>
- [36] *IRC5C - Řídicí systémy | ABB* [online]. [vid. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/ridici-systemy/irc5c>

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Průmyslové revoluce [1].....	17
Obr. 2: KUKA při kooperaci [4].....	18
Obr. 3: Vnitřní uspořádání robota od Amazon Robotics [5]	19
Obr. 4: Universal Robots e-Series [7].....	20
Obr. 5: YuMi od ABB [8].....	21
Obr. 6: Hledání defektu svíčky od SANEZOO [9].....	22
Obr. 7: Odhad ročních příjmů v kolaborativní robotice [13].....	23
Obr. 8: FANUC 3D Area Sensor [14]	26
Obr. 9: Bin picking pomocí FANUC 3D Area Sensor [15].....	27
Obr. 10: Rc_visard senzor ve dvou variantách [16]	27
Obr. 11: Fungování snímání z dvou stereo kamer [16]	28
Obr. 12: Druhy obrazů ze senzoru rc_visard (KUKA_3D Perception) [17]	28
Obr. 13: MotionCam-3D [18].....	29
Obr. 14: Intel RealSense Tracking Camera T265 [20]	30
Obr. 15: Leap Motion ovladač upevněný na helmě virtuální reality [22]	31
Obr. 16: Kinect V2 [26].....	32
Obr. 17: Kinect V2 bez krytu [26].....	32
Obr. 18: Kinect Azure DK [28]	33
Obr. 19: Kinect V1 [29].....	35
Obr. 20: Vnitřní komponenty Kinectu V1	35
Obr. 21: Barevný obraz 640 x 480.....	36
Obr. 22: Infračervené světlo	36
Obr. 23: Hloubkový obraz	37
Obr. 24: Motor naklonění	37
Obr. 25: Mikrofonní pole.....	38
Obr. 26: Kinect V1 adaptér.....	39
Obr. 27: Pole pixelu	40
Obr. 28: Výsledná oblast snímání hloubky.....	41
Obr. 29: Souřadný systém pro pixely hloubky [33].....	42
Obr. 30: Rozložení dvaceti kloubů s originálním popisem v angličtině.....	43
Obr. 31: Získaná data z hloubkového obrazu	43
Obr. 32: Tělo rozdělené na segmenty	44
Obr. 33: Sledované klouby různých segmentů těla	44
Obr. 34: Okno s chybovou hláškou	45
Obr. 35: Průběh aplikace	46
Obr. 36: Hloubkový obraz použitý v aplikaci.....	47
Obr. 37: Diagram zpracování <i>image stream</i> v aplikaci	48
Obr. 38: Úprava souřadnicového systému pro sledování pravé ruky	49
Obr. 39: Operace pro rozpoznání gesta levé ruky	50

Obr. 40: Sledování pozice rukou pomocí <i>UI element</i>	50
Obr. 41: Barevný obraz s vykreslenou kostrou	51
Obr. 42: Diagram zpracování <i>skeleton stream</i> v aplikaci	51
Obr. 43: Grafické uživatelské rozhraní aplikace	52
Obr. 44: Komunikace mezi Kinect aplikací a řídicím programem v RobotStudios	53
Obr. 45: Umístění senzoru při testování.....	53
Obr. 46: Testování pro více typů robotických ramen.....	54
Obr. 47: Pracovní prostor IRB20 [35].....	54
Obr. 48: Umístění robota a senzoru	55
Obr. 49: Nouzová tlačítka na řídicím systému IRC5 compact a Teach Pendant [36].....	56
Obr. 50: Znázornění vzdáleností a prostorů	56

10 SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A. CD-ROM

A. CD-ROM

Tab. 1: Obsah CD

Složka	Soubor
Bakalářská práce	2019_BP_Sobotka_Pavel_191749.pdf
Kód ke Kinect aplikaci	TrackingHand.sln TrackingHand.filefolder
Videa z testování	test_v_simulaci_IRB_6790.mp4 test_v_simulaci_IRB_360.mp4 test_v_simulaci_IRB_120.mp4 video_reálného_robota_IRB_120.mp4

